

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
DEPARTEMENT DE CHIMIE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

ÉTUDE DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES SUR LA QUALITÉ DE L'EAU DE LA RIVIÈRE FOULOU, EN AMONT DU CENTRE DE TRAITEMENT DE DÉCHETS DE NKOLFOULOU

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme des professeurs de
l'enseignement secondaire deuxième grade (Di.P.E.S II)

Par :

CHEBOU Abigaelle
Licenciée en Chimie

Sous la direction
Pr. LAMBI John NGOLUI
Associate professor



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

DÉDICACES

À

Mon père,
KOUNCHOU KOUAM Mafoire

Et

Ma mère,
MOWA Bernadette

CERTIFICATION

Je soussigné, **Pr LAMBI John NGOLUI** certifie que le mémoire intitulé : « **ÉTUDE DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES SUR LA QUALITÉ DE L'EAU DE LA RIVIÈRE FOULOU, EN AMONT DU CENTRE DE TRAITEMENT DE DÉCHETS DE NKOL FOULOU** » est le travail original de **CHEBOU Abigaelle**, réalisé dans le Laboratoire de Chimie des Matériaux de l'École Normale Supérieure de Yaoundé, sous ma supervision.

.....
Pr. LAMBI John NGOLUI

Ph. D. (Ife), CChem., MRSC

Associate Professor

Department of Chemistry

E.N.S. Yaoundé

University of Yaoundé I

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance, ma gratitude et mes sincères remerciements :

- Au **Professeur LAMBI John NGOLUI** qui m'a proposé le sujet et dont, la disponibilité, l'esprit critique, les conseils et la rigueur dans le travail ont été pour moi d'un apport incommensurable et m'ont beaucoup aidés dans la recherche ;
- Au **Docteur NZALI Serge**, mon co-encadreur, qui a fourni les appareils et dont les remarques et les critiques m'ont été d'une grande aide.
- Aux enseignants du Département de Chimie de l'École Normale Supérieure de Yaoundé, pour la qualité de la formation qu'ils m'ont donnés.
- Aux aînés du laboratoire : **M. FEUYIT Gilbert**, **M. TEDJIEUKENG Hypolite**, **Dr. KENFACK Patrice**, **M. MBENE Kenneth** et **M. TUMENTA Gerald** pour les conseils, les explications et l'aide qu'ils m'ont apporté tout au long de ce travail.
- À mes camarades de laboratoire, principalement **TIENTCHEU Béatrice Clémence**, **ZANGHO Linda**, **MAMA ELOUNDOU Germain**, **SUENOU Ernest**, **NOUEMSI Nadège**, **TOUPKA ABDOU Azizi** pour leur esprit d'équipe et de solidarité.
- À mon oncle **M. TCHIDJO Bruno**, mes tantes **Mme BELL Martine** et **Mme MBOUPDA Henriette** ; mes frères et sœurs : **MATSIGAIN Christelle**, **KOUAM Alain**, **SIMEU Innocent**, **KOUNGA Ange** pour leur aide financière, matérielle, spirituelle et leurs encouragements.
- **Mme LAMBI Édith** pour son hospitalité, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	ii
CERTIFICATION	iii
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ	viii
ABSTRACT	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS	x
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiii
CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE ET REVUE DE LA LITTÉRATURE	1
I-1- Introduction générale	2
I-1-1- Problématique, motivation et justification du travail	2
I-1-2- Objectifs du travail	3
I-1-3- Méthodologie de la recherche	4
I-1-4- Plan de travail	4
I-2- Revue de la littérature	5
I-2-1- Principaux types de pollution	5
I-2-1-1- Pollution de l'air	5
I-2-1-2- Pollution des sols	6
I-2-1-3- Pollution de l'eau	6
I-2-2- Origines de la pollution de l'eau	7
I-2-2-1- Sources précises	7
I-2-2-2- Sources non précises	7
I-2-3-2- Pollution par les matières organiques et minérales	8
I-2-3-3- Pollution par les métaux lourds	8
I-2-4- Paramètres d'analyse de la pollution de l'eau	9
I-2-4-1- Paramètres organoleptiques	9
I-2-4-2- Paramètres physico-chimiques	10
I-2-4-3- Paramètres concernant les substances indésirables	14

I-2-4-4- Paramètres concernant les substances toxiques.....	15
I-2-4-5- Pesticides et substances apparentées	17
I-2-4-6- Paramètre biologique : la demande biologique en oxygène (DBO ₅)	17
I-2-4-7- Analyses microbiologiques.....	18
I-2-5- Impact de la pollution des eaux sur l'environnement et la santé	19
I-2-5-1- Sur l'environnement	19
I-2-5-2- Sur la santé.....	20
I-2-6- Centre de Traitement de Déchets de Nkol Foulou	20
I-2-6-1- Localisation du CTD.....	21
I-2-6-2- Caractéristiques climatiques et hydrologie.....	21
CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE.....	23
II-1- Plan d'échantillonnage.....	24
II-1-1- Localisation du point de prélèvement	24
II-1-2- Fréquence de prélèvement.....	25
II-2- Techniques d'échantillonnage et d'analyse.....	25
II-2-1- Prélèvement des échantillons	25
II-2-2- Conditionnement, conservation et entreposage des échantillons.....	26
II-2-3- Méthodes d'analyse.....	26
II-2-3-1- Paramètres organoleptiques.....	26
II-2-3-2- Paramètres physico-chimiques	27
II-2-3-3- Paramètre biologique.....	32
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION	34
III-1 Présentation des résultats obtenus.....	35
III-2- Essais d'interprétation.....	36
III-2-1- Paramètres organoleptiques	36
III-2-1-1- Couleur.....	36
III-2-1-2- Turbidité.....	36
III-2-2- Paramètres physico-chimiques	37
III-2-2-1- Température	37
III-2-2-2- pH.....	38

III-2-2-3- Conductivité électrique	38
III-2-2-4- Sels Totaux Dissous (STD).....	39
III-2-2-5- Oxygène dissous	41
III-2-2-6- Matières en suspension (MES)	41
III-2-2-7- Alcalinité totale	42
III-2-2-8- Demande chimique en oxygène DCO.....	43
III-2-3- Paramètre biologique : la DBO ₅	44
INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES	46
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	48
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	51
ANNEXE : PHOTOS DES APPAREILS DE MESURE.....	56

RÉSUMÉ

Dans cette étude, l'impact des activités humaines sur la qualité de l'eau de la rivière Foulou, en amont du Centre de Traitement de Déchets de Nkol Foulou a été évalué. Dans ce but, trois (03) types de paramètres ont été pris en compte : organoleptiques (couleur et turbidité) ; physico-chimiques (pH, conductivité, température, oxygène dissous, alcalinité, sels totaux dissous, MES et DCO) et biologiques (DBO₅). Les prélèvements des échantillons ont été effectués manuellement pendant la saison de pluie (Octobre) et en saison sèche (Décembre et Janvier) à un point situé en amont de la rivière Foulou. Le pH, la température, les sels totaux dissous et la conductivité ont été déterminés in situ grâce à un multimètre de type Hanna ; l'oxygène dissous a été déterminé à l'aide d'un oxymètre de type Aqualitic et la turbidité grâce à un turbidimètre de type Hanna. Au laboratoire, les matières en suspension (MES) ont été filtrées, séchées ; l'alcalinité déterminée par un dosage ; la DBO₅ et la DCO déterminées, respectivement, par la méthode manométrique et colorimétrique.

Les résultats pour les paramètres suivants ont été obtenus, respectivement, pour les mois d'Octobre, Décembre et Janvier : organoleptique (turbidité) : 47,2 NTU ; 19,4 NTU et 17,2 NTU ; physico-chimiques : pH : 6,8 ; 6,7 et 6,8 ; conductivité : 120 µS/cm, 105 µS/cm et 90 µS/cm ; SDT : 50 mg/L, 40 mg/L et 30 mg/L ; température : 22,9 °C ; 24 °C et 24,3 °C ; oxygène dissous : 9,6 mg/L ; 12 mg/L et 9,6 mg/L ; MES : 35 mg/L , 25 mg/L et 20 mg/L ; alcalinité : 1,274 mmol/L ; 0,890 mmol/L et 0,979 mmol/L ; DCO : 17 mg/L , 15 mg/L et 5 mg/L ; biologique : DBO₅ : 190 mg/L , 140 mg/L et 100 mg/L.

Les valeurs obtenues pour le pH, la température, la conductivité, les MES et la DCO respectent les normes camerounaises des eaux de rejet alors que celles obtenues pour la turbidité et la DBO₅ ne les respectent pas.

Ces résultats indiquent que l'eau de la rivière en amont du Centre de Traitement des Déchets n'est pas influencée par les lixiviats provenant de ce Centre, étant donné que la rivière coule plutôt vers ce Centre. Néanmoins, cette eau est sévèrement polluée par les effluents provenant des champs et des déchets ménagers. Ceci implique que les eaux au point d'étude constituent toujours un danger non seulement pour la santé des habitants autour de la rivière Foulou, mais aussi pour la faune et la flore aquatique.

Mots clés : *Paramètres de caractérisation, Pollution, Normes, Eau de surface, Impact environnemental.*

ABSTRACT

In this study, the impact of human activities on the quality of the water of River Foulou upstream before the Center for the Treatment of Wastes at Nkol Foulou has been evaluated. To achieve this, three (03) types of parameters were taken into consideration : organoleptic (colour & turbidity) ; physico-chemical (pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen, alkalinity, total dissolved salts, suspended matters & COD) and biological (BOD). Samples were collected manually in the rainy season (October) and in the dry season (December & January) at a point upstream just before the Center. The pH, temperature, total dissolved salts (TDS) and conductivity were all measured in situ using a Hanna type multimeter; while the dissolved oxygen and the turbidity were also measured in situ using, respectively, an oxygen Aqualitic type meter and a Hanna type turbid meter. In the laboratory, the suspended matter (SM) was filtered, dried, the alkalinity determined by titrimetry and the Biological Oxygen Demand (BOD) & Chemical Oxygen Demand (COD) determined by manometry & colorimetry.

The results for the following parameters were obtained, respectively, for the months of October, December & January: organoleptic (turbidity) : 47.2 NTU, 19.4 NTU & 17.2 NTU ; physico-chemical : pH : 6.8 , 6.7 & 6.8 ; conductivity : 120 μ S/cm , 105 μ S/cm & 90 μ S/cm ; TDS : 50 mg/L , 40 mg/L & 30 mg/L ; temperature : 22.9 °C , 24 °C & 24.3 °C ; dissolved oxygen : 9.6 mg/L , 12 mg/L & 9.6 mg/L ; SM : 35 mg/L , 25 mg/L & 20 mg/L ; alkalinity : 1.274 mmol/L , 0.890 mmol/L & 0.979 mmol/L ; COD : 17 mg/L , 15 mg/L & 5 mg/L ; biological : BOD : 190 mg/L , 140 mg/L & 100 mg/L.

The values obtained for pH, temperature, conductivity, SM, & COD respect the Cameroonian norms while those for turbidity and BOD do not.

These results indicate that water in the river just above the Center for the Treatment of Wastes is not influenced by the waste effluents from the Center since the river is rather flowing downwards towards the Center. Nonetheless, it is heavily polluted by effluent waste water from nearby farms and homes. This implies that the waters at the point of study still constitute a menace not only to the health of the inhabitants around the River Foulou but also to the aquatic fauna and flora, even though this will be to a lesser extent than if they were directly in contact with effluents from the Center.

Keywords: *Parameters of characterization, Pollution, Norms, Surface water, Environmental impact.*

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADEME	: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
HYSACAM	: Hygiène et Salubrité du Cameroun
CTD	: Centre de Traitement de Déchets
DBO₅	: Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
ISO	: International Organisation for Standardization
MES	: Matières En Suspension
MINMEE	: Ministère des Mines de l'Eau et de l'Énergie
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PED	: Pays En Développement
pH	: Potentiel d'hydrogène
STD	: Sels Totaux Dissous
TDS	: Total Dissolved Salts
UTN	: Unité de Turbidité Néphelométrique
WHO	: World Health Organization

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Schématisation de la rivière Foulou par rapport au CTD de Nkol Foulou.....	24
Figure 2: Point de prélèvement.....	25
Figure 3: Variation de la turbidité en fonction des mois de prélèvement.....	36
Figure 4: Variation de la température en fonction des mois de prélèvement....	37
Figure 5: Variation du pH en fonction des mois de prélèvement.....	38
Figure 6: Variation de la conductivité électrique en fonction des mois de prélèvement.....	39
Figure 7: Variation des STD en fonction des mois de prélèvement.....	40
Figure 8: Variation de la conductivité électrique et des STD en fonction des mois de prélèvement.....	40
Figure 9: Variation de l'oxygène dissous en fonction des mois de prélèvement.....	41
Figure 10: Variation des matières en suspension en fonction des mois de prélèvement.....	42
Figure 11: Variation de l'alcalinité en fonction des mois de prélèvement.....	43
Figure 12: Variation de la DCO en fonction des mois de prélèvement.....	44
Figure 13: Variation de la DBO ₅ en fonction des mois de prélèvement.....	45

Figure 14: Photo du multimètre.....	57
Figure 15: Photo du turbidimètre.....	57
Figure 16: Photo de l'oxymètre.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Qualité visuelle de l'eau en fonction de la turbidité	10
Tableau 2: Minéralisation en fonction de la conductivité	12
Tableau 3: Niveaux de pollution en fonction des valeurs de la DBO ₅	18
Tableau 4: Étalement de l'étude au cours des saisons	25
Tableau 5: Résultats des paramètres évalués	35

CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE ET REVUE DE LA LITTÉRATURE

I-1- Introduction générale

I-1-1- Problématique, motivation et justification du travail

De tous temps et en tous lieux, la production des déchets est inhérente aux activités humaines, qu'elles soient domestiques, agricoles, industrielles ou commerciales. Mais en Afrique, comme partout, c'est avec l'augmentation de la population urbaine qu'elle devient véritablement une problématique publique (Chalot, 2004). Cette croissance de la population urbaine a pour conséquence une augmentation de la consommation et de la production des déchets par habitant, entraînant d'énormes difficultés dans la gestion de l'environnement. Ainsi de nombreuses villes produisent des déchets solides municipaux dont elles ne peuvent pas se débarrasser (Sotamenou et *al*, 2005). Or, la qualité de vie des populations vivant en milieu urbain dépend en majeure partie de la capacité des villes à leur procurer un environnement sain et de qualité.

La plupart des déchets produits dans les grandes villes sont éliminés en décharge et selon leur localisation et leur contexte hydrogéologique, les impacts sanitaires et environnementaux peuvent être importants (Zahrani, 2006). La ville de Yaoundé, capitale du Cameroun avec 1,2 millions d'habitants a, depuis 1979, délégué la gestion de ses ordures ménagères à la société Hygiène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM). 600 à 700 tonnes d'ordures sont collectées par jour pour traitement au Centre de Traitement de Déchets (CTD) de Nkol Foulou situé à environ douze kilomètres du centre-ville de Yaoundé, sur la route de Soa, Département de la Mefou et Afamba (Bessala, 2003). Dès la phase de dépôt, les déchets entament des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques complexes. L'eau qui s'y infiltre draine des substances organiques ou minérales qui peuvent engendrer une pollution des cours d'eau et des eaux souterraines.

Des études d'impacts que peuvent avoir une décharge sur le milieu environnant et principalement les ressources en eau ont été menés dans le monde

(Khattabi et al, 2002) et en Afrique (Djorfi et al, 2010 ; El Kharmouz et al, 2013). Au Cameroun, Ngnikam (2012) a montré que les lixiviats de la décharge de Nkol Foulou, ont une influence sur la qualité de l'eau de la rivière Foulou qui coule en contrebas. Nous avons voulu apporter des informations supplémentaires concernant l'impact réel du Centre de Traitement des Déchets de Nkol Foulou sur la rivière Foulou, et dans le Laboratoire de Chimie des Matériaux de l'École Normale Supérieure, c'est la première fois que nous effectuons un travail en chimie de l'environnement.

La problématique est donc de déterminer le niveau de pollution de l'eau en amont de la rivière Foulou par d'autres activités humaines que les déchets déposés dans le Centre de Traitement de Déchets de Nkol Foulou afin de contribuer à l'assainissement de l'environnement riverain, et de réduire son impact non seulement sur la santé des habitants vivant autour de la rivière, mais aussi sur la faune et la flore aquatique.

Ce travail est donc motivé par notre volonté poussée de contribuer à l'assainissement de cet environnement riverain, et de réduire ainsi l'impact du Centre sur la santé des habitants, la faune et la flore aquatique.

Pour conclure, cette étude est justifiée par les bénéfices que vont tirer les habitants de la zone de Nkol Foulou à l'issue de ce travail.

L'hypothèse de ce travail est que le site de stockage et de traitement des déchets n'a pas d'influence sur l'eau de la rivière qui coule en amont par rapport à la position du site.

I-1-2- Objectifs du travail

Objectif principal : évaluer la qualité de l'eau en amont de la rivière Foulou.

Objectifs spécifiques :

- ❖ Localiser le point de prélèvement des eaux,

- ❖ Effectuer des prélèvements en amont de la rivière Foulou,
- ❖ Réaliser des analyses sur les prélèvements effectués,
- ❖ Évaluer la qualité de cette eau en la comparant aux normes de rejet des eaux usées.

I-1-3- Méthodologie de la recherche

Pour arriver à évaluer la qualité de l'eau, nous allons :

- localiser le point d'échantillonnage en amont à l'aide d'un GPS (Global Positioning System),
- prélever manuellement des échantillons en saison sèche et en saison pluvieuse
- analyser ces échantillons pour déterminer les paramètres organoleptiques (la turbidité), quelques paramètres physico-chimiques (pH, température, sels totaux dissous, conductivité électrique, oxygène dissous, matières en suspension, alcalinité, demande chimique en oxygène DCO), ainsi que les paramètres biologiques (demande biologique en oxygène DBO₅),
- utiliser les normes de rejet des eaux usées au Cameroun (MINEP, 2009) pour comparer les résultats obtenus et déterminer le niveau de pollution.

I-1-4- Plan de travail

Ce travail est réparti en trois chapitres :

Le chapitre 1 présente la problématique, la motivation, la justification du travail, l'hypothèse, les objectifs, la méthodologie de la recherche ainsi que les généralités sur le sujet de notre étude.

Le chapitre 2 parle de l'échantillonnage, du matériel, des réactifs et des méthodes utilisées pour mesurer les différents paramètres.

Le chapitre 3 contient les résultats obtenus et les essais d'interprétation.

Nous terminerons par une conclusion, des recommandations, des perspectives et l'intérêt pédagogique de ce travail.

I-2- Revue de la littérature

L'eau est la substance la plus abondante de notre planète. Elle occupe environ 75 % de la surface du globe terrestre et est d'une importance capitale pour la subsistance des êtres-vivants animaux et végétaux. Nos besoins de plus en plus croissants en eau nous ont fait passer de l'emploi des eaux de source et de nappe à une utilisation plus poussée des eaux de surface (Chocat, 2014). Le boom démographique et le développement de différents secteurs d'activité (industrie, agriculture, élevage, etc.) ont des répercussions sur les ressources en eau, beaucoup plus sur les eaux de surface (cours d'eau, fleuves, rivières, lacs). En effet ceux-ci sont le réceptacle des rejets d'origines diverses qui en altèrent la qualité et entraînent la pollution.

La pollution est la contamination de l'environnement par des substances d'origine naturelle et industrielle ou anthropique, présentes en quantité suffisante pour nuire (Lambi, 2015). Ces substances, qui au-delà d'un certain seuil, et parfois dans certaines conditions développent des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème ou de l'environnement en général sont appelées des polluants.

Il existe trois principaux types de pollution dont notamment la pollution de l'air, de l'eau et des sols, si on considère une classification basée sur le milieu physique de l'environnement.

I-2-1- Principaux types de pollution

I-2-1-1- Pollution de l'air

La pollution de l'air est également appelée pollution atmosphérique. Il s'agit d'un type de pollution caractérisée par une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air, due au rejet dans l'air des substances polluantes qui peuvent mettre en danger la santé humaine, dégrader les écosystèmes et provoquer des nuisances diverses (perturbations des productions agricoles, odeurs gênantes). Ces polluants ont une double origine : naturelle (éruptions

volcaniques, les plantes, etc.) et humaine (les transports, l'incinération à l'air libre des déchets, les industries, etc.). La pollution de l'air a des conséquences pour la santé humaine (picotement des yeux, irritation du nez et de la gorge, troubles respiratoires, aggravation des symptômes d'asthme et dans des cas extrêmes, asphyxie et décès) (ADEME, 2015).

I-2-1-2- Pollution des sols

La pollution du sol peut être diffuse (emploi d'engrais, épandage de pesticides en agriculture) ou ponctuelle (dépôts de déchets, déversement ou fuite de substances dangereuses dans les sols et sous-sols). La pollution des sols peut dégrader les paysages et devenir un problème de santé publique si les polluants atteignent la nappe phréatique ou les cours d'eau avoisinants destinés à l'alimentation en eau potable (Piedrafita, 2007). Elle a aussi des impacts économiques puisqu'elle diminue la productivité de la terre entraînant des pertes pour les agriculteurs (Rainelli, 1996).

I-2-1-3- Pollution de l'eau

L'eau est une substance unique parce qu'elle se renouvelle et se nettoie naturellement en permettant aux polluants de s'infiltrer (par le processus de sédimentation) ou de se détruire, en diluant les polluants au point qu'ils aient des concentrations qui ne sont pas nuisibles. Cependant, ce processus naturel prend du temps et devient très difficile lorsqu'il y a une quantité importante de polluants qui sont ajoutés à l'eau (FEPS, 2007).

La pollution de l'eau dans son sens le plus large est définie comme tout changement défavorable de ses caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines (Moumouni, 2005). La pollution peut être anthropique (c'est-à-dire induite par l'homme) ou d'origine non-humaine.

I-2-2- Origines de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau peut avoir diverses origines parmi lesquelles : l'industrie dont ses sous-produits (produits chimiques et d'hydrocarbures) sont une des sources de pollution de l'eau parmi les plus importantes ; les eaux usées, si elles ne sont pas traitées correctement peuvent être une source de pollution de l'eau. Selon la FEPS (2007), il y a 2 sources principales de pollution : les sources précises et les sources non-précises.

I-2-2-1- Sources précises

Les sources précises incluent les usines, installations de traitements d'eau usées, systèmes de fosses septiques et d'autres sources qui déversent très clairement des polluants dans les sources d'eaux.

I-2-2-2- Sources non précises

Les sources non-précises sont plus difficiles à trouver car on ne peut pas les retracer jusqu'à un emplacement particulier. Elles incluent les écoulements de sédiments, engrais, produits chimiques, déchets d'animaux de ferme, champs, chantiers et mines. L'enfouissement des déchets peut aussi être une source non-précise si l'eau traverse les déchets du site en emportant les polluants, s'infiltrer dans le sol et pollue les eaux souterraines. La pollution causée par les sources non précises (élevages, grandes cultures, décharges d'ordures ménagères et déchets industriels) est encore qualifiée de pollution diffuse (Agence de l'eau Loire Bretagne, 2004)

Sur les sites de décharges, on rencontre essentiellement trois types de pollutions : pollution par les matières organiques et/ou minérales, pollution par les métaux lourds, pollution par les microorganismes (Kehila et *al*, 2007).

I-2-3- Types de pollution de l'eau

I-2-3-1- Pollution par les microorganismes

Plusieurs maladies hydriques sont causées par la consommation des eaux contaminées par les lixiviats qui contiennent des microorganismes pathogènes. Durant la dernière décennie, les problèmes relatifs à l'eau sont devenus de plus en plus vastes, avec l'émergence de nouvelles maladies, d'infections relatives à l'eau et la réémergence d'autres déjà connues comme le choléra (Kehila et al, 2007).

I-2-3-2- Pollution par les matières organiques et minérales

La composition des lixiviats (eaux usées provenant des décharges) est une particularité de l'état des déchets à un certain moment de leur dégradation. La fraction minérale des lixiviats est essentiellement constituée de chlorures, sulfates, bicarbonates, potassium, sodium, et ammonium. La partie organique est liée à l'âge des déchets. Les matières organiques peuvent se retrouver dans les eaux de surface et souterraines quand les conditions minimales d'enfouissement de déchets ne sont pas respectées. Cependant, même si dans certaines décharges on assiste à la mise en place des géomembranes, la durée de vie de ces matériaux soumis à l'agressivité chimique des lixiviats est mal connue. Une éventuelle fuite dans ces membranes peut occasionner la contamination de la nappe phréatique (Kehila et al, 2007).

I-2-3-3- Pollution par les métaux lourds

La migration des métaux lourds dans les sols et l'infiltration vers les eaux, met en jeu un grand nombre de phénomènes : solubilisation à pH acide, complexation par la matière organique de type humique, précipitation à pH basique, rétention des MES (matières en suspension) sur des particules des sols,

adsorption des ions ou des molécules à la surface des grains de matrice poreuse, phénomène d'échange d'ions (Kehila et al, 2007).

I-2-3-4- Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau est due principalement aux sels minéraux et aux composés toxiques.

Les sels minéraux les plus couramment rencontrés sont : les nitrates, les phosphates, les sulfates, les carbonates. Comme conséquence, ils entraînent l'accroissement de la production primaire et le phénomène d'eutrophisation.

Parmi les composés toxiques, on distingue : les métaux lourds tels que le mercure, le plomb, le vanadium, le chrome (VI), l'arsenic, le cadmium ; les pesticides (organochlorés, organophosphorés et organométalliques) ; les substances d'origine industrielle (cyanures, sulfures, etc.) ; les détergents (Moumouni, 2005).

Pour évaluer la qualité d'une eau, il est important d'effectuer certaines analyses.

I-2-4- Paramètres d'analyse de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau est fonction des substances dissoutes qu'elle contient et dont la plupart, ne sont décelables qu'à l'analyse. L'estimation de la qualité physico-chimique d'une eau ne peut s'effectuer par la mesure d'un seul, mais d'un ensemble des paramètres de nature diverses. Des résultats anormaux dans le contrôle de paramètres permettent de déceler et d'évaluer les niveaux de pollution.

I-2-4-1- Paramètres organoleptiques

Ces paramètres tiennent compte de la couleur, l'odeur, la saveur et la turbidité.

La couleur et l'odeur doivent être appréciés au moment du prélèvement. Certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou

l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.). La mesure de la saveur se fait en soumettant des échantillons d'eau de moins en moins dilués à la dégustation d'opérateurs, sans les avaler. Elle doit se faire le plus rapidement possible après le prélèvement. (Rodier, 2009).

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières suspendues qui le troublent. Elle est donc représentative de la transparence d'une eau. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par des particules en suspension (limon, argile, matières animales ou végétales décomposées, matières inorganiques, microorganismes). Leur présence est associée à des pluies abondantes, l'érosion des berges, l'activité humaine ou animale dérangeant le lit d'eau, etc (N'Diaye et al, 2013).

La turbidité est mesurée par différentes méthodes de photométrie de milieux troubles comme la néphélométrie, l'opacimétrie et la turbidimétrie. Elle est exprimée en UTN (Unité de Turbidité Néphélométrique) ou NTU en anglais (CREPA, 2007). La turbidité est un paramètre de non transparence de l'eau qui nous permet de qualifier la qualité de l'eau.

Tableau 1: Qualité visuelle de l'eau en fonction de la turbidité (CPEPESC, 2004)

Valeurs de la turbidité (NTU)	Qualité de l'eau
NTU < 5	Eau claire
5 ≤ NTU ≤ 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

I-2-4-2- Paramètres physico-chimiques

a) pH

Le pH (potentiel hydrogène) indique le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très

alcalin). La valeur médiane correspond à une solution neutre à 25 °C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Le pH est un indicateur de la qualité de l'eau car il permet entre autres de définir son caractère agressif ou incrustant (Moumouni, 2005). Il se mesure à l'aide d'un pH-mètre.

b) Température

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique : plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité d'oxygène dissous diminue. Une température trop élevée des eaux d'une rivière peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissoute pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'auto épuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds (odeurs), la croissance accélérée des végétaux dont les algues (CPEPESC, 2004). Sa valeur est influencée par la température ambiante et par d'éventuels rejets d'eaux usées. La température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme (Moumouni, 2005).

c) Conductivité électrique

La conductivité électrique, exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (micro ou milli Siemens par cm) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle se mesure à l'aide d'un conductimètre. La conductivité est liée à la présence des sels dissous dans l'eau. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée (CREPA, 2007). Le tableau 2 donne le degré de minéralisation d'une eau en fonction de sa conductivité.

Tableau 2: Minéralisation en fonction de la conductivité (Dalhatou, 2008).

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
$\chi < 50$	Très faible
$50 < \chi < 166$	Faible
$166 < \chi < 333$	Moyenne
$333 < \chi < 833$	Peu élevée
$833 < \chi < 10000$	Elevée
$\chi > 10000$	Très élevée

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (De Villers et *al*, 2005).

d) Sels totaux dissous (STD)

Les STD 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 (W.H.O., 2003). Ces corps dissous ont pour origine : le lessivage naturel des roches, l'apport des eaux usées des villes et unités industrielles.

e) Oxygène dissous (O_2)

La concentration en oxygène dissous constitue avec le pH l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière saisonnière et journalière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la pénétration de lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments (Lamizana-Diallo et *al*, 2008). Elle est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par

l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (De Villers et al, 2005). L'oxygène dissous s'exprime en mg/L et se mesure à l'aide d'un oxymètre.

f) Matières en suspension (MES)

Ce sont des très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes,...) arrachées par l'érosion ou apportées par les eaux usées et qui donnent un aspect trouble à l'eau. En trop grande quantité elles constituent une pollution solide des eaux. Les analyses de matières en suspension permettent de connaître la quantité de matière non dissoute, organique ou minérale présente dans l'échantillon. Des teneurs élevées en MES peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique et créer des déséquilibres entre diverses espèces (CREPA, 2007).

Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, et de ce fait être une voie de pénétration de produits toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme.

g) Cations et anions majeurs

Comme autres paramètres physicochimiques en relation avec la structure naturelle des eaux, on a la dureté. La dureté est due à l'existence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} et correspond donc à la teneur globale en ces ions. Les ions sodium Na^+ , potassium K^+ , hydrogénocarbonate HCO_3^- , sulfate SO_4^{2-} , chlorure Cl^- et aluminium Al^{3+} entrent aussi dans la composition naturelle des eaux. Ils s'expriment en mg/L.

h) Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation des composés organiques présents dans l'eau, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant. Elle permet de mesurer la teneur en

matières totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Elle s'exprime en milligramme par litre (mg/L).

I-2-4-3- Paramètres concernant les substances indésirables

Nous citerons principalement ici les nitrates, les nitrites et les phosphates.

- **Nitrates NO_3^- et nitrites NO_2^-**

L'azote contenu dans l'eau se retrouve dans les molécules organiques ou sous la forme minérale. C'est ainsi qu'on distingue l'azote Kjeldhal qui représente l'azote organique (protéines, acides aminés, urée,...) et l'azote ammoniacal ; et l'azote total qui correspond à la somme de l'azote organique, l'azote ammoniacal, les nitrates et les nitrites.

Les nitrates et les nitrites proviennent généralement du lessivage des terres après épandage des engrais, des eaux usées domestiques, de l'industrie chimique et alimentaire. Lors du rejet d'azote organique, les molécules sont d'abord transformées en ammonium NH_4^+ , qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes (Moumouni, 2005).

La teneur en nitrates dans l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. La norme de qualité de l'O.M.S. pour l'eau de boisson est de 50 mg/L pour les nitrates. L'ingestion de nitrates est un facteur de risque potentiel pour la santé humaine. En effet, les nitrates sont réduits en nitrites qui se fixent sur l'hémoglobine à la place de l'oxygène et provoque des difficultés respiratoires chez les enfants (c'est la méthémoglobinémie). Leur caractère cancérigène a été démontré chez l'animal. Un risque existerait pour des adultes normaux pour des concentrations > 100 mg/L (Jestin, 2005). Les nitrates et les nitrites sont quantifiés en mg/L. Les nitrates sont utilisés comme indicateurs de pollution car

ils favorisent la croissance exagérée de la flore aquatique, pouvant entraîner une eutrophisation des cours d'eau.

- **Phosphates (PO_4^{3-})**

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents et engrais. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en ortho phosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques. La quantité de phosphates se mesure en mg/L. Ils constituent aussi un indicateur de pollution car l'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 $\mu\text{g/L}$) (De Villers et al, 2005).

I-2-4-4- Paramètres concernant les substances toxiques

Présents dans l'eau, ils produisent des effets toxiques qu'il est important de connaître. On peut citer :

- **Arsenic (As)**

L'arsenic est utilisé en métallurgie, dans la fabrication du verre et de la céramique, dans les tanneries, dans la teinturerie et dans l'industrie chimique. Son utilisation principale est la fabrication des pesticides et la protection du bois. L'arsenic est connu pour être particulièrement toxique pour l'homme (l'ingestion de 100 mg/L à 150 mg/L est suffisante pour provoquer un empoisonnement grave). En outre, il a un effet cumulatif dans le corps humain et sa vitesse de disparition lente peut conduire à des conséquences graves sur la santé après absorption répétée de doses faibles (DREAL, 2010). C'est une substance minérale de classe A, c'est-à-dire connue pour être cancérigène chez l'homme (Jestin, 2005).

- **Cadmium (Cd)**

Le cadmium est principalement un sous-produit de la métallurgie du zinc, ainsi qu'un résidu des activités de métallisation, de fabrication d'accumulateurs cadmium-nickel, d'alliages métalliques divers, et de fabrication d'acide

phosphorique et d'engrais phosphatés. Chez l'homme, le cadmium est surtout toxique par inhalation ou, plus rarement, par voie digestive (DREAL, 2010).

- **Chrome (Cr)**

C'est un métal très dur utilisé en traitement de surface des métaux pour améliorer leur résistance. Le chrome dénonce aussi la présence d'une tannerie. La forme chrome (VI) et les chromates (CrO_4^{2-}) sont extrêmement toxiques et cancérigènes (Moumouni, 2005 ; De Villers et al, 2005).

- **Plomb (Pb)**

Le plomb se distingue par une série de propriétés originales qui déterminent des emplois spécifiques, à savoir, en particulier, une inertie chimique face aux acides, une forte densité, un faible point de fusion, et une ductilité élevée. Le plomb ne reste généralement pas très longtemps en solution dans les eaux du milieu naturel car, à l'exception de certains sels très solubles comme les acétates et les chlorures, il est insoluble sous forme de carbonate et d'hydroxyde ou très peu soluble sous forme de sulfates (DREAL, 2010).

Les effets du plomb sur la santé sont importants, même pour de faibles expositions, car il est extrêmement toxique. Il a également la particularité de ne pas être éliminé par l'organisme, où il s'accumule tout au long de la vie. Le plomb est principalement responsable du saturnisme, qui provoque des troubles neurologiques et des retards mentaux importants chez les jeunes enfants (Jestin, 2005).

- **Mercure (Hg)**

C'est un métal qui est utilisé dans de nombreuses industries (industrie nucléaire, industrie du gallium, industrie pharmaceutique, tanneries, fabrication d'instruments de mesure, de piles, de tubes fluorescents, d'amalgames dentaires). Les composés mercuriels sont rejetés dans l'environnement sous forme de mercure inorganique ou organique. Parmi eux, il est toutefois reconnu que l'ion mercure méthyl CH_3Hg^+ est le plus dangereux du fait de sa stabilité et

de la facilité avec laquelle il est assimilé par les organismes vivants. L'ion mercure méthyl et d'autres composés organomercuriels sont responsables de l'inhibition de la croissance et de la photosynthèse du phytoplancton pour les concentrations de l'ordre de 0.0001 mg/L. Chez l'homme, le mercure diffuse très rapidement à travers la paroi alvéolaire des poumons sous sa forme élémentaire ou sous forme d'ion mercure méthyl, mais peut également pénétrer dans l'organisme par voie intestinale par consommation de produits contaminés, ou par voie cutanée. Les conséquences d'intoxications au mercure sont très variables selon qu'il s'agisse d'intoxications aiguës ou chroniques : de nombreux organes sont susceptibles d'être gravement affectés et les symptômes concernent le plus souvent le système nerveux, les yeux et les reins (DREAL, 2010).

I-2-4-5- Pesticides et substances apparentées

Les pesticides ou produits phytosanitaires sont essentiellement des produits organiques de synthèse, classés en fonction de l'espèce nuisible qu'ils contrôlent (herbicides, fongicides, insecticides, etc). Leur présence dans les eaux naturelles résulte du ruissellement et du relargage par les sols. L'importance de la contamination dépend de la nature du terrain) du couvert végétal, de la pluviométrie et de la mobilité du produit dans les sols. Les pesticides que l'on retrouve dans les eaux de surface ou souterraines sont à environ 90% d'origine agricole. L'atrazine, herbicide sélectif pour la culture du maïs est le pesticide le plus fréquemment rencontré dans les ressources en eau. La somme de l'ensemble des pesticides détectés ne doit pas dépasser 0,5µg/L (Jestin, 2005).

I-2-4-6- Paramètre biologique : la demande biologique en oxygène (DBO₅)

Les effluents, les eaux usées et les fertilisants qui s'écoulent dans les cours d'eau contiennent des taux élevés de nitrates et de phosphates. Cela aboutit à la sur fertilisation de ces eaux et une augmentation immédiate de la

productivité des microorganismes tels que les algues. Ces algues consomment plus de dioxygène que l'eau ne peut en produire et donc la demande biologique en oxygène de l'eau augmente. Les plantes et animaux qui ne peuvent pas survivre dans ces conditions meurent. Ce phénomène qui conduit à l'extinction de la vie aquatique au détriment des algues est l'eutrophisation (Lambi, 2015).

Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO_5 en mg/L d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20 °C à l'obscurité. La DBO_5 est considérée comme une mesure de la pollution de l'eau par les substances organiques car certains microorganismes utilisent l'oxygène dissous pour les oxyder. Les valeurs de DBO_5 ont les significations suivantes :

Tableau 3: Niveaux de pollution en fonction des valeurs de la DBO_5

DBO_5 (mg/L)	Signification
< 30	Pas de pollution
30 - 80	Pollution moyenne
> 80	Pollution sévère

La différence entre la DCO et la DBO_5 est due aux substances qui ne peuvent pas être dégradées biologiquement (De Villers et al, 2005).

La DCO et la DBO_5 sont des paramètres très utilisés dans le domaine de l'environnement notamment en tant qu'indicateurs de pollution car ils permettent de définir les limites au-delà desquelles les eaux de surface sont trop polluées pour être utilisées pour l'alimentation en eau potable, et ce même après un traitement poussé.

I-2-4-7- Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont pour but de déceler et évaluer la présence dans les eaux de microbes pathogènes dangereux pour l'homme.

Ces analyses reposent sur la recherche dans les eaux de bactéries indicatrices de leur éventuelle contamination fécale, les *Escherichia coli* (*E. coli*) et les Entérocoques. Ces organismes, d'origine intestinale sont naturellement présents dans les déjections animales ou humaines qui peuvent donc se retrouver dans l'eau. Les Entérocoques sont pathogènes de même que certains colibacilles. L'eau potable du robinet doit être exempte de la présence de ces bactéries. Une présence très importante de germes fécaux indique une pollution fécale importante d'origine humaine ou animale (CPEPESC, 2004).

I-2-5- Impact de la pollution des eaux sur l'environnement et la santé

I-2-5-1- Sur l'environnement

La pollution de l'eau a des répercussions néfastes sur les êtres vivants aquatiques. Elle se manifeste de plusieurs façons (Agence de l'eau Loire Bretagne, 2004):

- une diminution de la teneur en oxygène dissous, provoquant dans certains cas des mortalités importantes de poissons ;
- la présence de produits toxiques qui provoquent des effets de deux formes : un effet immédiat conduisant à la mort rapide de différents organismes et un effet différé ou à long terme par accumulation au cours du temps des substances chez certains organismes. Un phénomène de féminisation des mâles chez certaines espèces de poissons a été observé dans de nombreux cours d'eau français dû aux perturbateurs endocriniens (pesticides, médicaments, rejets industriels) ;
- une prolifération d'algues : bien que leur présence soit bénéfique pour la production d'oxygène dissous, la croissance exagérée des plantes due à l'eutrophisation entraîne parfois un déficit d'oxygène et provoque ainsi la mortalité des poissons par asphyxie ;

- une modification physique du milieu : augmentation de la température, la turbidité ;
- la présence de bactéries ou virus dangereux.

I-2-5-2- Sur la santé

La consommation d'une eau polluée a un impact sur la santé humaine et peut provoquer des malaises ou des maladies selon leur origine. Les matières en suspension transportent des polluants et augmentent le risque de contamination. L'exposition excessive à de fortes concentrations en métaux provoque des troubles respiratoires, digestifs, cutanés ou nerveux et même des cancers (arsenic, nickel, chrome). Les pesticides ont des effets mutagènes, cancérigènes causent des troubles de la reproduction et la stérilité. La présence de nitrates et de nitrites dans l'eau est associée à la méthémoglobinémie, notamment chez les enfants nourris au biberon, et peuvent aussi provoquer des cancers (O.M.S., 2004).

Nous avons vu plus haut que l'une des causes de pollution de l'eau est la présence à proximité d'une décharge à ordures ménagères. Celle qui nous intéresse pour notre étude est le Centre de Traitement de Déchets (CTD) de Nkol Foulou.

I-2-6- Centre de Traitement de Déchets de Nkol Foulou

La gestion des déchets solides est un problème dans la quasi-totalité des villes des pays en voie de développement (PED). La préoccupation majeure étant d'améliorer la propreté et la protection de la santé de la population, la plupart des pays opte pour la mise en décharge, qui constitue la solution de traitement des déchets la plus répandue dans le monde entier et la moins coûteuse.

Les déchets mis en décharge sont de trois types : les déchets dangereux, les déchets non dangereux et les déchets inertes (Plateforme Re-Sources, 2015). Les déchets non dangereux sont encore connus sous le terme de déchets ménagers et assimilés (Damien, 2013).

D'après la plateforme Re-Sources (2015), le CTD de Nkol Foulou au Cameroun est une décharge contrôlée ou de bon sens (c'est-à-dire créée avec l'autorisation de l'administration et dont l'aménagement et l'exploitation tiennent compte de la sensibilité du milieu récepteur). Les déchets ménagers qui y sont collectés sont constitués des papiers, cartons, verre, céramique, tissus, cuirs, métaux, gravats, caoutchouc, plastique, bois, matière organique et éléments fins dans des proportions différentes (Ngnikam, 2000).

I-2-6-1- Localisation du CTD

Le CTD de Nkol Foulou est situé à environ 12 km du centre-ville de Yaoundé, dans le département de la Mefou et Afamba, arrondissement de Soa. Le village Nkol Foulou fait partie du bassin versant de la rivière Foulou qui se jette dans l'Afamba (Zahrani, 2006).

I-2-6-2- Caractéristiques climatiques et hydrologie

La position de Yaoundé entre le 2^{ème} et le 4^{ème} degré de latitude Nord lui confère les caractéristiques d'un climat équatorial guinéen. Les températures varient entre 20 °C et 30 °C. La température moyenne annuelle de Yaoundé et de Nkol Foulou se situe autour de 24,5 °C. D'après les données météorologiques disponibles dans la période 1981-2005, février est le mois le plus chaud avec une moyenne de l'ordre de 25,7 °C, tandis que le mois d'août (23,2 °C) est considéré comme le mois le plus frais de l'année.

Le climat est marqué par l'alternance de deux saisons sèches et de deux saisons pluvieuses réparties ainsi:

- Une grande saison sèche de mi-Novembre à mi-Mars ;

- Une petite saison de pluies de mi-Mars à mi-Juin ;
- Une petite saison sèche de mi-Juin à mi-Août ;
- Une grande saison pluvieuse de mi-Août à mi-Novembre.

Les données collectées s'étalent sur une période de 25 ans (1981-2005). La pluviométrie moyenne est d'environ 1 500 mm d'eau /an. Octobre est le mois où il pleut le plus, avec une moyenne de 273 mm et janvier le mois le plus sec de l'année avec une moyenne de 14 mm (Zahrani, 2006).

La végétation naturelle de Nkol Foulou est constituée d'une savane arbustive et de zones de prairies. Le site de Nkol Foulou est situé dans le bassin versant de la Foulou. La rivière Foulou est le milieu récepteur des rejets hydriques de la décharge de Nkol Foulou et des eaux de ruissellement d'origines diverses (MINMEE, 2004). En effet, le jus polluant ou lixiviat issu des décharges peut contribuer à la dégradation de la qualité des sols environnants et, surtout à la contamination des nappes phréatiques par infiltration et des eaux superficielles par ruissellement , s'il n'est pas récupéré et traité avant son rejet dans le milieu environnant (Matejka et al,1994 ; Sotamenou, 2010 ; Ekani, 2015).

Il en ressort de tout ceci que le principal impact de cette décharge sur l'environnement est la pollution et cette situation n'est pas propre à la seule décharge de Nkol Foulou (Djombe, 2013).

CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

II-1- Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage est une opération qui consiste à prélever une quantité d'eau dans le but de faire des analyses qualitatives ou quantitatives.

II-1-1- Localisation du point de prélèvement

L'échantillonnage s'est fait à un point situé en amont du Centre de Traitement de Déchets de Nkol Foulou, à environ 2 km du point de rencontre entre les lixiviats issus du Centre et la rivière Foulou. Les coordonnées GPS (Global Positioning System) du point de prélèvement sont : 03°55.408' Nord et 011°33.929' Est à une altitude de 650 m. Ces coordonnées ont été relevées à l'aide d'un appareil GPS de marque GARMIN. La figure 1 et la figure 2 montrent une schématisation de la rivière par rapport au CTD ainsi qu'une photo du point de prélèvement proprement dit.

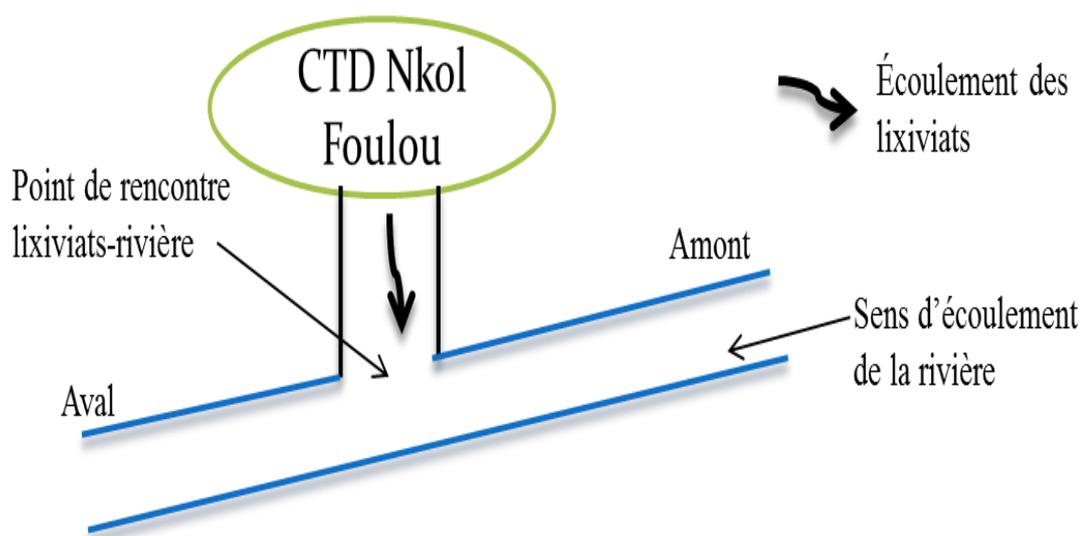


Figure 1: Schématisation de la rivière Foulou par rapport au CTD de Nkol Foulou



Figure 2: Point de prélèvement

II-1-2- Fréquence de prélèvement

Les échantillons ont été prélevés lors de trois campagnes : une en saison de pluie (Octobre 2015) et les deux autres en saison sèche (Décembre 2015 et Janvier 2016).

Tableau 4: Étalement de l'étude au cours des saisons

JAN	FÉR	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DEC
←→			←→			←→		←→			←→
←→									←→		←→
Légende : ←→ : Grande saison sèche ←→ : Petite saison des pluies ←→ : Petite saison sèche ←→ : Grande saison des pluies ←→ : Mois de prélèvement											

II-2- Techniques d'échantillonnage et d'analyse

II-2-1- Prélèvement des échantillons

Le type de prélèvement effectué est un prélèvement manuel directement dans la rivière à l'aide d'une bouteille neuve, préalablement étiquetée à l'aide

d'un marqueur. Au moment du prélèvement, les bouteilles ont été rincées 3 fois avec l'eau à analyser, remplies jusqu'à ras bord de sorte qu'il n'y ait aucune bulle d'air et fermées hermétiquement, le but étant d'éviter les échanges gazeux pouvant modifier les résultats.

II-2-2- Conditionnement, conservation et entreposage des échantillons

Les échantillons prélevés sont conditionnés dans des bouteilles neuves de 1 L en polyéthylène et sont conservés dans une glacière contenant des morceaux de glace pour garantir une conservation proche de 5 °C, dans le but d'empêcher que les microorganismes se développent. Les échantillons conservés dans la glacière sont transportés au laboratoire et gardés dans un réfrigérateur en attendant de subir les analyses ultérieures.

II-2-3- Méthodes d'analyse

Après l'échantillonnage il est question pour nous d'effectuer les analyses pour déterminer les différents paramètres.

II-2-3-1- Paramètres organoleptiques

Le paramètre organoleptique analysé est la turbidité et la méthode utilisée pour sa mesure est la turbidimétrie. Les éléments en suspension dans un liquide absorbent certaines radiations. La turbidité mesure alors l'intensité du faisceau transmis après la traversée du milieu. La mesure s'est faite à l'aide d'un turbidimètre de marque Hanna, modèle AL250t-IR. Pour cela, il faut :

- Mettre l'appareil sous tension
- Remplir le tube de mesure avec l'échantillon et l'essuyer avec un mouchoir propre de façon à ne laisser aucun débris sur la paroi du tube de verre
- Introduire le tube de mesure dans la chambre noire et refermer
- Lire le résultat

La turbidité s'exprime en unité de turbidité néphélobométrique (UTN) ou NTU en anglais.

II-2-3-2- Paramètres physico-chimiques

a) Mesure du pH, la température, la conductivité électrique et les sels totaux dissous.

La température, le pH, la conductivité électrique, les sels totaux dissous ont été mesurés à l'aide d'un multimètre (pH/°C/EC/TDSmeter), de marque Hanna, modèle HI 9811-5. Nous avons immergé l'électrode du multimètre dans la rivière au point où nous avons prélevé les échantillons. En appuyant sur le bouton correspondant à chaque paramètre, les valeurs ont été lues directement après stabilisation.

b) Mesure de l'oxygène dissous

Pour mesurer l'oxygène dissous, nous avons utilisé un oxymètre de marque Aqualitic, modèle PCE-PHD1. Son utilisation est identique à celle du multimètre. La valeur est lue directement sur l'appareil après immersion de l'électrode dans l'eau et stabilisation. Son unité de mesure est le mg/L.

c) Détermination des matières en suspension

La détermination des matières en suspension permet de connaître la quantité de matières non dissoutes, qu'elles soient organiques ou minérales présentes dans un échantillon d'eau. L'eau est filtrée et la masse des matières retenues par le filtre est déterminée par pesée différentielle.

- **Matériel** : les papiers filtre, une fiole à vide de 250 mL, la pompe à vide, un tuyau de connexion, des fioles jaugées, des béciers, l'étuve, une balance électronique de marque AND-200 ayant les caractéristiques suivantes : max = 210 g, min = 0,02 g, e = 0,01 g ; U = 12 V ; I = 0,3 A
- **Protocole**

- Monter le dispositif de filtration sous vide et disposer le papier filtre dans l'entonnoir
- Bien agiter l'échantillon et prélever un volume de 200 mL
- Procéder à la filtration tout en s'assurant que l'eau ne déborde pas le papier
- Récupérer le papier filtre après filtration et le placer dans l'étuve à 110 °C pour enlever l'excès d'eau. Placer en même temps un autre papier filtre considéré comme témoin
- Peser les deux papiers filtre après séchage

Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration de matières en suspension dans l'échantillon. On a la relation suivante :

$$C_{MES} = \frac{M_1 - M_0}{V} \quad (1)$$

C_{MES} : concentration en MES en mg/L

M_1 : masse du papier filtre après filtration en mg

M_0 : masse du papier filtre témoin en mg

V : volume de l'échantillon en litre (L)

d) Détermination de l'alcalinité

L'alcalinité a été déterminée selon la norme EN ISO 9963-1.

L'alcalinité est la capacité quantitative des milieux aqueux à réagir avec les ions H_3O^+ . L'alcalinité totale correspond à la teneur en ions hydrogénocarbonate, carbonate et hydroxyde présents dans l'eau. L'alcalinité composite correspond à la totalité des ions hydroxyde et à la moitié de la teneur en carbonate d'une eau.

Principe : le principe de la manipulation repose sur le dosage colorimétrique de l'échantillon d'eau par une solution d'acide chlorhydrique. L'acide chlorhydrique est étalonné à chaque fois qu'on veut déterminer l'alcalinité ; ceci étant due au fait qu'elle s'évapore et par conséquent sa

concentration varie au cours du temps. La détermination de l'alcalinité s'est donc effectuée en deux étapes : l'étalonnage de la solution d'acide chlorhydrique et la mesure de l'alcalinité de nos échantillons proprement dite.

Produits chimiques : la solution d'acide chlorhydrique HCl, la solution étalon de carbonate de sodium Na_2CO_3 , eau distillée, solution d'indicateur de vert de bromocrésol-rouge de méthyle, solution d'indicateur à la phénolphthaléine, solution de thiosulfate de sodium C ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) $\approx 0,1$ mol/L

Matériel : une balance, un dessiccateur, fiole jaugée de 1000 mL, éprouvette graduée, pissette, pipettes de 25 mL, 100 mL, burette graduée, erlenmeyer de 250 mL, agitateur magnétique, barreau aimanté recouvert de matière plastique

➤ **Étalonnage de la solution d'acide chlorhydrique**

La solution étalon est une solution de carbonate de sodium que nous devons au préalable préparer, de même que la solution d'acide chlorhydrique.

- **Préparation de la solution de carbonate de sodium C(Na_2CO_3) $\approx 0,025$ mol/L**

Sécher 3 g à 5 g de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 250 °C pendant 4h. Laisser refroidir dans un dessiccateur. Dissoudre 2,65 g dans l'eau et diluer dans une fiole jaugée de 1000 mL. Cette solution est stable pendant au moins un mois si elle est conservée au réfrigérateur entre 4 °C et 8 °C.

- **Préparation de la solution d'acide chlorhydrique C(HCl) $\approx 0,10$ mol/L**

Mesurer à l'aide d'une éprouvette graduée un volume de 8,6 ml d'acide chlorhydrique. Verser dans une fiole jaugée de 1000 mL contenant au préalable un peu d'eau distillée. Compléter jusqu'au trait de jauge tout en homogénéisant.

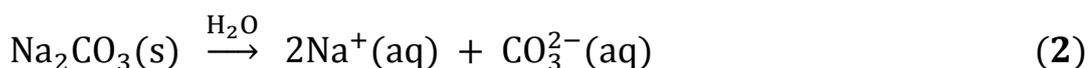
- **Dosage de la solution d'acide chlorhydrique**

• **Protocole**

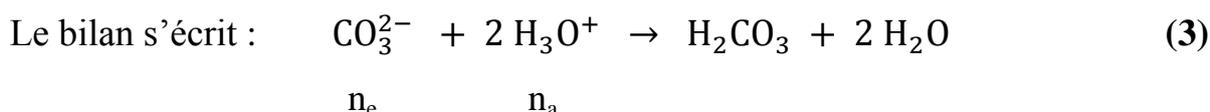
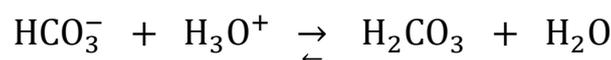
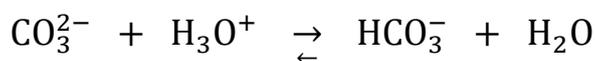
- Introduire à l'aide d'une pipette un volume $V_e = 25 \text{ mL}$ d'une solution de carbonate de sodium à $0,025 \text{ mol/L}$ dans un erlenmeyer de 250 mL
- Ajouter 75 mL d'eau distillée et 3 gouttes de solution indicatrice de vert de bromocrésol- rouge de méthyle
- Titrer avec la solution d'acide chlorhydrique contenue dans la burette jusqu'à disparition de la couleur bleue verdâtre. Noter le volume V_A d'acide consommé.
- En utilisant 100 mL d'eau, effectuer un dosage à blanc selon le même mode opératoire. Noter le volume V'_A d'acide.

• **Expression des résultats**

En solution aqueuse, le carbonate de calcium se dissocie selon l'équation suivante :



Les ions CO_3^{2-} vont réagir avec la solution d'acide chlorhydrique



D'après les relations mole à mole, on a

$$n_e = \frac{n_a}{2} \quad (4)$$

d'où
$$C_e V_e = \frac{C_A(V_A - V'_A)}{2} \quad (5)$$

V'_A étant le volume utilisé pour doser les ions HO^- provenant de la dissolution dans l'eau du carbonate de sodium : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{HO}^- \quad (6)$

Or
$$C_e = \frac{m_e}{MV_T} \quad (7)$$

Il vient donc
$$C_A = \frac{2m_e V_e}{MV_T(V_A - V'_A)} \quad (8)$$

Avec $V_T = 1 \text{ L}$ et $M = M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = 106 \text{ g/mol}$, on obtient donc l'expression finale de la concentration :

$$C_A = \frac{m_e V_e}{53(V_A - V'_A)} \quad (9)$$

C_A : concentration réelle en mol/L de la solution d'acide chlorhydrique

m_e : masse en gramme de Na_2CO_3 pris pour la préparation de la solution étalon

V_e : volume de la solution étalon prise pour le titrage (en mL)

V_A : volume d'acide versé lors du titrage (en mL)

V'_A : volume d'acide en mL versé lors du titrage à blanc

➤ **Mesure de l'alcalinité**

- Eliminer tout chlore libre présent en ajoutant 0,1 mL de la solution de thiosulfate de sodium pour 200 mL d'échantillon.
- Introduire à l'aide d'une pipette, 100 mL d'échantillon (volume V_o) dans un erlenmeyer et ajouter 0,1 mL de solution d'indicateur de phénolphtaléine.
- Aucune coloration rose n'étant observée, considérer l'alcalinité composite comme nulle.
- Ajouter ensuite 4 gouttes de solution d'indicateur de vert de bromocrésol-rouge de méthyle et titrer avec la solution d'acide chlorhydrique jusqu'au changement de couleur de vert bleu à gris. Noter le volume total V_{HCl} d'acide consommé

L'alcalinité totale est donnée par la formule

$$A_T = \frac{C_A \times V_{\text{HCl}} \times 1000}{V_o} \quad (10)$$

A_T : est la capacité à réagir avec les ions H^+ , exprimée en mmol/L

C_A : est la concentration réelle en mol/L de la solution d'acide chlorhydrique utilisée

V_o : est le volume en mL de la prise d'essai ($V_o = 100 \text{ mL}$)

V_{HCl} : est le volume en mL de la solution d'acide chlorhydrique consommé pour atteindre l'équivalence.

e) **Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)**

Pour la mesure de la DCO, les échantillons ont été envoyés au laboratoire IRINA Environnement. La méthode utilisée est connue sous le nom de micro méthode de digestion ou méthode par colorimétrie au dichromate à reflux fermé.

- **Principe**

Les tubes fermés contiennent tous les réactifs nécessaires et il suffit d'introduire un volume précis d'échantillon, sur le dosage spectrométrique de l'oxydant consommé. Cette micro méthode minimise la consommation de réactifs, réduit l'espace requis et les équipements à un bloc de réacteur qui effectue la digestion de 8 échantillons en un seul temps. La détermination de la DCO à l'aide de ces tubes est d'une extrême simplicité: tous les réactifs nécessaires sont prédosés dans la cuvette de mesure. Les tubes DCO se présentent par boîte de 25 et sont disponibles pour les 3 gammes : 0-150 ppm, 0-1500 ppm et 0-15000 ppm. Dans ce travail, on a utilisé les tubes importés commercialisés et correspondant à la gamme de concentration 0-1500 ppm.

- **Interférence**

L'interférence des chlorures est réduite, mais pas totalement éliminée par l'ajout de sulfate de mercure (II), ce qui conduit à la formation du chloromercurate (II) soluble et peu oxydable.

II-2-3-3- Paramètre biologique

❖ **Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅)**

L'analyse de la DBO₅ s'est effectuée au Laboratoire de Biotechnologie Végétale et Environnement du département de biologie végétale de l'Université de Yaoundé I. La détermination de la demande biologique en oxygène s'est faite par la méthode dite « manométrique » avec des manomètres OxiTop à affichage

numérique et ceci, à l'aide d'un appareil à DBO_5 de marque Hach (modèle 2173B).

Dans des bouteilles à DBO_5 (type OxiTop) ont été introduits des volumes déterminés d'eau. Ensuite l'inhibiteur de nitrification y a été ajouté et l'ensemble de ces bouteilles a été incubé pendant 5 jours consécutifs à 20 °C. Pendant cette période d'incubation, les bactéries utilisent l'oxygène présent dans la partie supérieure de la bouteille pour oxyder les matières organiques présentes dans la solution et rejettent le CO_2 . Celui-ci est fixé par les cristaux d'hydroxyde de potassium présents dans la cupule placée en capuchon sur chaque bouteille. La dépression d'air dans la bouteille, est ainsi captée par un capteur logé dans le bouchon OxiTop qui l'affiche en valeur numérique. La valeur de la DBO_5 est lue directement sur l'afficheur numérique. Elle s'exprime en mg/L.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1 Présentation des résultats obtenus

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5 :

Tableau 5: Résultats des paramètres évalués

Paramètres	Unités	Octobre 2015 (Saison de pluie)	Décembre 2015 (Saison sèche)	Janvier 2016 (Saison sèche)	Normes de rejet des eaux au Cameroun
Heure de prélèvement	-	8h52min	16h57min	15h40min	-
Turbidité	NTU	47,2	19,4	17,2	5
Température	°C	22,9	24	24,3	30
pH	-	6,8	6,7	6,8	6-9
Conductivité électrique	µS/cm	120	105	90	< 400
STD	mg/L	50	40	30	-
Oxygène dissous	mg/L	9,6	12	9,6	-
MES	mg/L	35	25	20	40
Alcalinité totale	mmol/L	1,274	0,890	0,979	-
DCO	mg/L	17	15	5	< 100
DBO₅	mg/L	190	140	100	< 30

Remarque : les paramètres en rouge sont ceux qui sont supérieures à la norme.

III-2- Essais d'interprétation

III-2-1- Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques évalués dans le cadre de notre travail sont la couleur et la turbidité.

III-2-1-1- Couleur

Lors des prélèvements, nous avons remarqué que l'eau en Octobre avait une couleur marron foncé, qui devenait de plus en plus claire lorsqu'on était en saison sèche. Ce changement de coloration peut être due au fait qu'en saison sèche, il n'y a plus de pluies qui apportent des substances et des particules qui donnent leur couleur à l'eau.

III-2-1-2- Turbidité

Les résultats obtenus pour la turbidité sont illustrés à la figure 3.

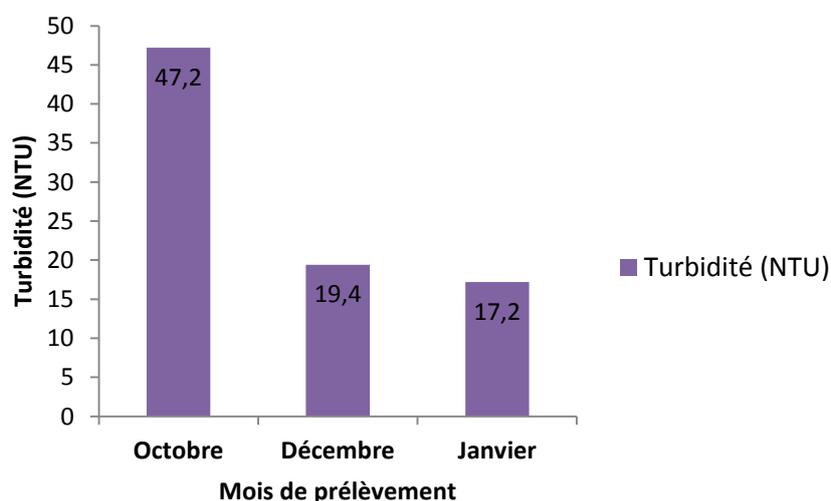


Figure 3: Variation de la turbidité en fonction des mois de prélèvement

La turbidité décroît considérablement de Décembre (47,2 NTU) à Janvier (17,2 NTU). Ceci peut s'expliquer par le fait que, en saison pluvieuse

(Décembre), les précipitations lessivent les sols et drainent les particules dans l'eau. Ces particules en suspension seraient donc responsables de cette forte turbidité. Ces particules sont : argiles, limons, sable, matières organiques, microparticules, etc. En saison sèche, la turbidité diminue ce qui corrobore l'observation selon laquelle au moment des prélèvements l'eau avait un aspect plus clair que lors de la première campagne. Sur la base du tableau 1, on peut dire que notre eau est légèrement trouble (CPEPESC, 2004). Ces valeurs de turbidité sont très élevées par rapport à la norme de rejet qui est de 5 NTU. Ce qui indique que l'eau peut être polluée.

III-2-2- Paramètres physico-chimiques

III-2-2-1- Température

La température varie selon un rythme saisonnier et augmente de 22,9 °C en saison pluvieuse à 24,3 °C en saison sèche comme nous le montre la figure 4.

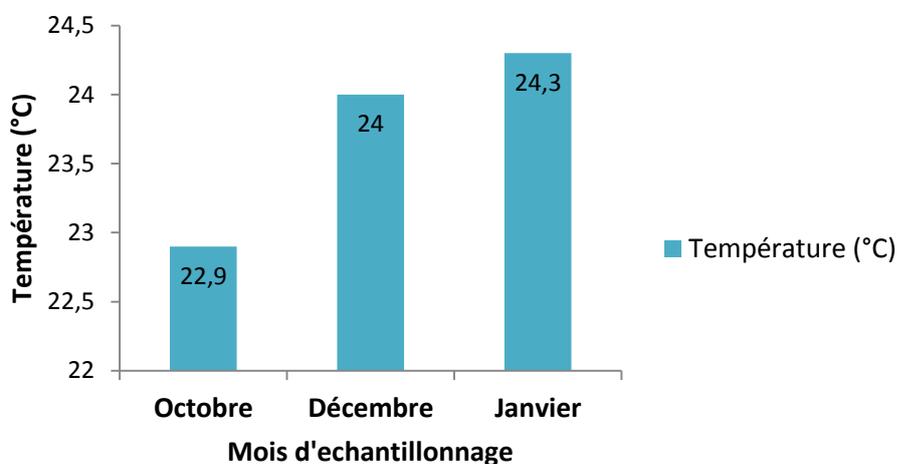


Figure 4: Variation de la température en fonction des mois de prélèvement

L'augmentation de la température est due au fait que la rivière Foulou est une eau de surface et elle est donc influencée par le climat et les variations de la température ambiante. Le maximum est enregistré au mois de Janvier, en pleine

saison sèche. Les valeurs de température sont conformes à la norme de rejet dont la température limite est de 30 °C.

La température n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme. L'élévation de température favorise le phénomène d'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation de la matière en suspension ; mais elle peut aussi être nuisible pour les poissons en favorisant la mortalité de certaines espèces (Moumouni, 2005).

III-2-2-2- pH

Les valeurs obtenues sont illustrées à la figure 5.

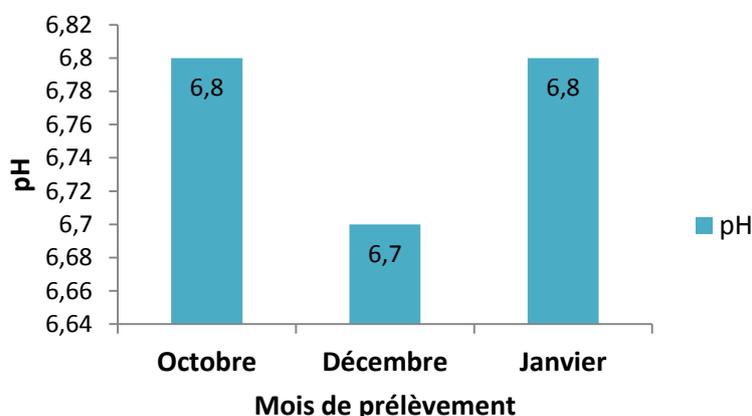


Figure 5: Variation du pH en fonction des mois de prélèvement

Le pH, qui varie entre 6,7 et 6,8 se rapproche de la neutralité (pH = 7). Dans la plupart des eaux naturelles, le pH varie en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Les résultats obtenus pour le pH varient peu et étant voisins de 7, laissent supposer que l'eau de la rivière traverse des terrains pauvres en calcaire ou siliceux. Les valeurs du pH sont conformes à la norme et sont caractéristiques des eaux où la vie se développe de manière optimale.

III-2-2-3- Conductivité électrique

Les résultats obtenus pour la conductivité électrique sont illustrés à la figure 6.

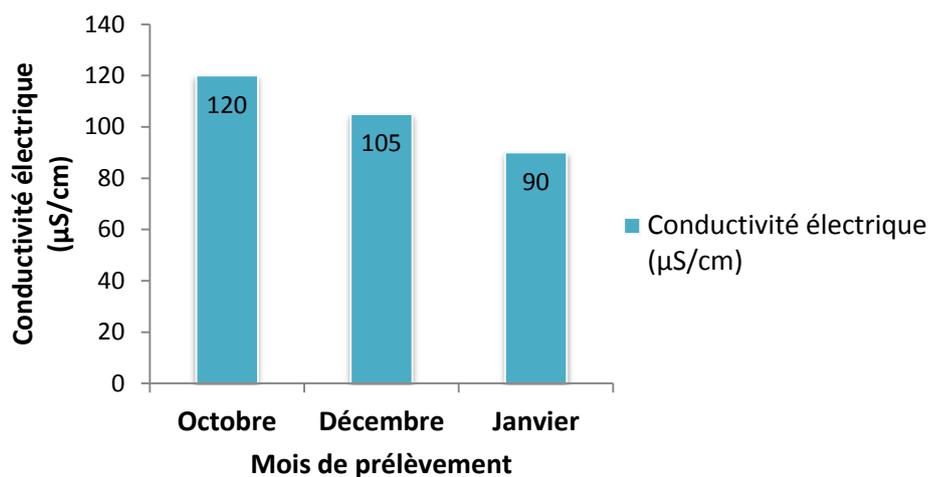


Figure 6: Variation de la conductivité électrique en fonction des mois de prélèvement

La conductivité d'une eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. Les valeurs de la conductivité diminuent lorsque l'on passe de la saison de pluie (120 µS/cm) à la saison sèche (90 µS/cm). Cette diminution de la conductivité peut être due au fait qu'en saison pluvieuse, les eaux de pluie qui tombent lessivent les sols, transportent les ions au cours de leur cheminement et se déversent dans la rivière, raison pour laquelle la conductivité est élevée. En saison sèche, il y a moins d'eaux de ruissellement qui entrent dans l'eau, ce qui peut expliquer la faible conductivité. Les résultats obtenus montrent que la conductivité respecte la norme de rejet qui est de 400 µS/cm. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau. Notre eau est faiblement minéralisée car la conductivité est comprise entre 50 µS/cm et 166 µS/cm (tableau 2).

III-2-2-4- Sels Totaux Dissous (STD)

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 7.

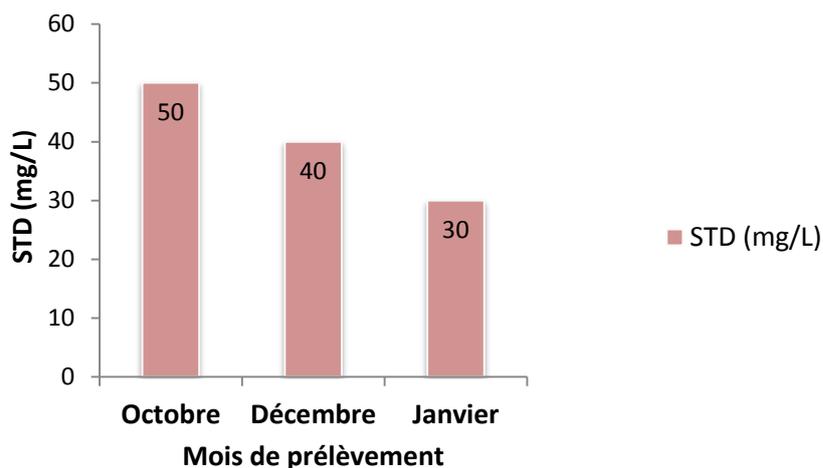


Figure 7: Variation des STD en fonction des mois de prélèvement

Les STD renseignent sur la teneur en sels de l'eau. La teneur en sels totaux dissous diminue lorsqu'on va de Décembre (50 mg/L) à Janvier (30 mg/L). En effet, pendant la saison pluvieuse, une grande quantité de sels sont apportés par les eaux de ruissellement ; à la période estivale, il y a diminution de la quantité des sels car les eaux de ruissellement qui étaient principalement à l'origine de leur apport dans l'eau ont diminué. Nous remarquons également que l'évolution des STD est la même que celle de la conductivité car lorsqu'il y a beaucoup des sels dissous dans l'eau, il y a plus d'ions et la conductivité augmente. On peut le constater sur la figure 8.

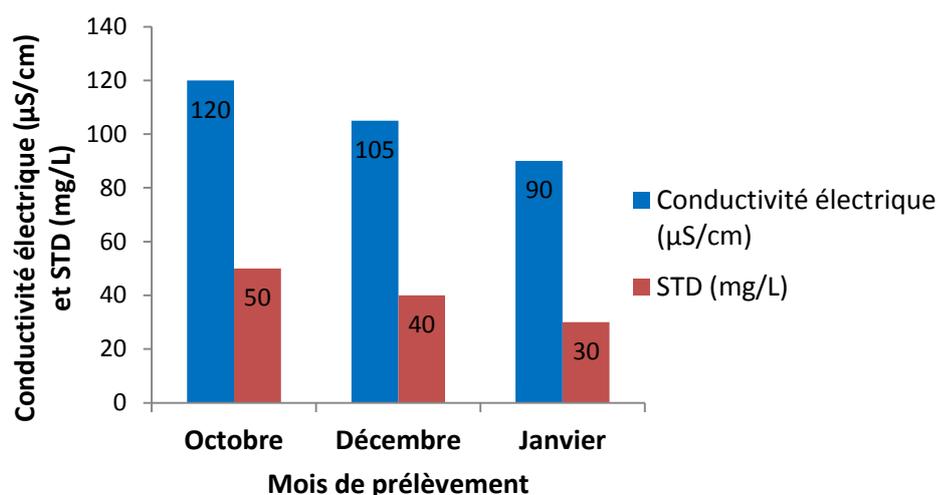


Figure 8: Variation de la conductivité électrique et des STD en fonction des mois de prélèvement

III-2-2-5- Oxygène dissous

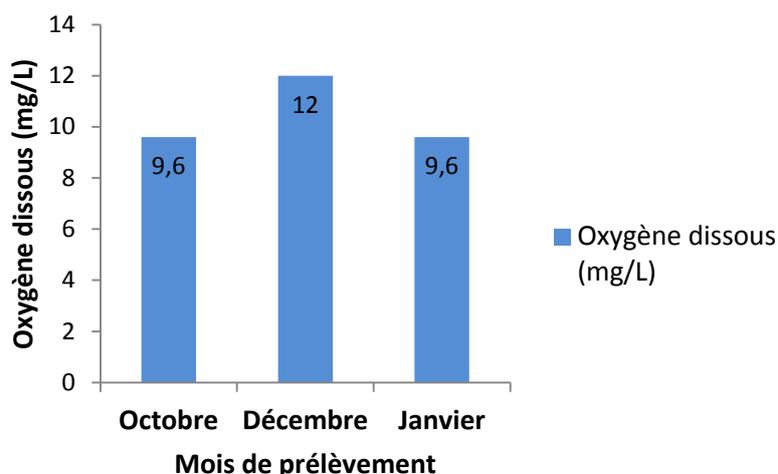


Figure 9: Variation de l'oxygène dissous en fonction des mois de prélèvement

On constate que l'oxygène dissous augmente de 9,6 mg/L en saison pluvieuse à 12 mg/L en saison sèche. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, en saison pluvieuse, l'eau de pluie apporte les matières en suspension dans l'eau et la dégradation des matières organiques par les microorganismes consomme l'oxygène dissous de l'eau et entraîne sa diminution. En début saison sèche (Décembre) l'oxygène dissous est élevé pourrait être dû au fait que la dégradation de la matière organique ne soit pas plus intense. La diminution de la teneur en oxygène dissous de Décembre à Janvier peut être attribuée à l'augmentation de la température, car la solubilité de l'oxygène diminue lorsque la température augmente.

Les valeurs obtenues pour l'oxygène dissous sont supérieures aux normes pour la vie aquatique (MDDEFP, 2013) qui est de 5 à 8 mg/L.

III-2-2-6- Matières en suspension (MES)

Les résultats obtenus pour les matières en suspension sont représentés dans la figure 10.

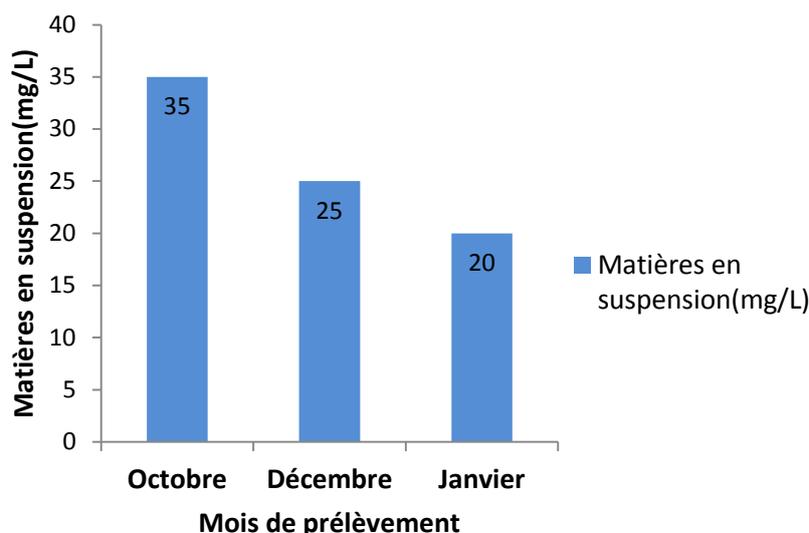


Figure 10: Variation des matières en suspension en fonction des mois de prélèvement

Les matières en suspension comprennent les matières minérales et organiques contenues dans l'eau. Elle varie selon les saisons et le régime d'écoulement de l'eau. On remarque que les matières en suspension diminuent quand on passe de la saison de pluie (35 mg/L) à la saison sèche (20 mg/L). Ceci peut être dû à la diminution des particules qui troublent l'eau et qui sont apportées en saison de pluie par les torrents. Des teneurs élevées en MES peuvent empêcher la pénétration des rayons solaires, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique. Les valeurs obtenues sont inférieures à la norme de rejet qui est de 40 mg/L.

III-2-2-7- Alcalinité totale

Les résultats obtenus pour l'alcalinité sont illustrés dans la figure 11.

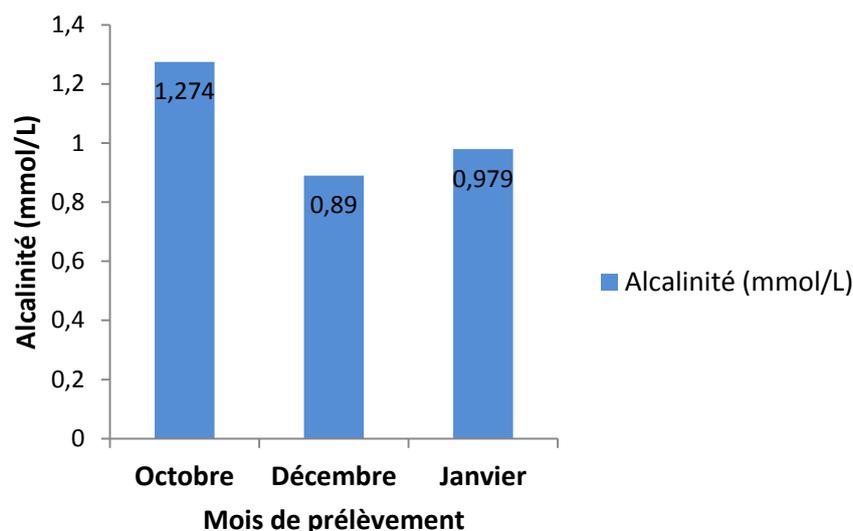


Figure 11: Variation de l'alcalinité en fonction des mois de prélèvement

Nous remarquons que l'alcalinité est plus élevée au mois d'Octobre (1,274 mmol/L). En effet, en saison de pluie, les torrents transportent les ions et les déversent dans l'eau. Ces ions seraient responsables de l'augmentation de l'alcalinité. Les valeurs d'alcalinité sont plus faibles en saison sèche car il y a moins d'eau de ruissellement qui apportent des ions qui contribuent à l'alcalinité.

Puisque le pH de notre eau est inférieure à 8,3, l'alcalinité totale mesure la teneur en ions bicarbonates, les ions carbonate et hydroxyde étant ultra minoritaires. Les bicarbonates proviennent essentiellement de la dissolution du CO₂ originaire de l'atmosphère et dans les sols ou même encore de l'action de la couverture végétale. En effet, par la photosynthèse, les plantes autotrophes arrachent le CO₂ atmosphérique et le relâchent dans le sol à travers les racines. L'alcalinité serait aussi élevée en Octobre car il y a plus de végétation cette période et la photosynthèse est plus intense.

III-2-2-8- Demande chimique en oxygène DCO

Les résultats de la DCO sont illustrés par la figure 12.

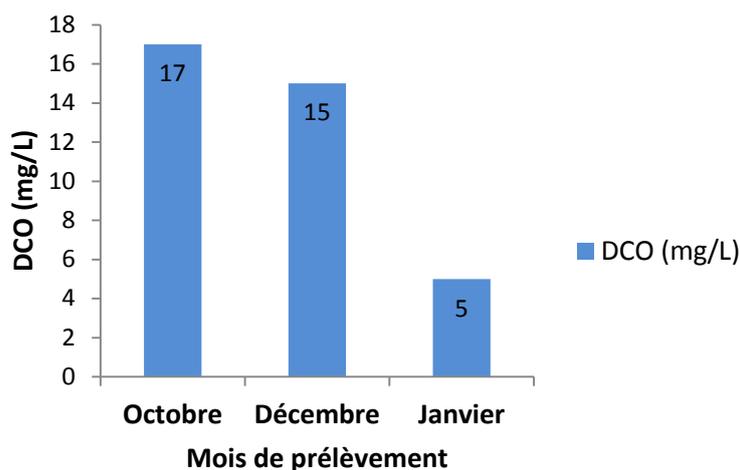


Figure 12: Variation de la DCO en fonction des mois de prélèvement

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. On remarque que la DCO diminue de Décembre (17 mg/L) à Janvier (5 mg/L). Cette variation peut être attribuée au fait que pendant la saison des pluies, les eaux de ruissellement lessivent les champs et transportent une grande quantité de matières organiques et minérales qui se retrouvent dans l'eau. Leur oxydation alors nécessite plus d'oxygène. En saison sèche, les eaux de ruissellement n'apportent plus beaucoup de matières d'où la diminution de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation. Les valeurs obtenues sont également conformes à la norme de rejet des eaux usées (< 100 mg/L).

III-2-3- Paramètre biologique : la DBO₅

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation de dioxygène (O₂). Les résultats obtenus sont consignés dans la figure 13.

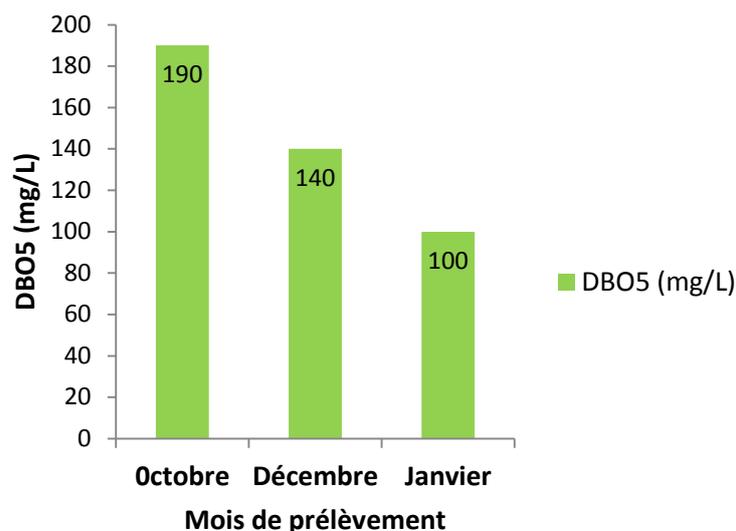


Figure 13: Variation de la DBO₅ en fonction des mois de prélèvement

On constate que la DBO₅ diminue de la saison pluvieuse (190 mg/L) à la saison sèche (100 mg/L). En saison pluvieuse, les eaux de pluie drainent des particules dans la rivière, en plus des feuilles mortes, troncs d'arbre et d'autres matières issus du milieu environnant qui tombent dans l'eau. Les matières organiques biodégradables sont décomposées par les microorganismes entraînant une surconsommation d'oxygène. Les matières organiques provenant des champs et des déchets ménagers sont responsables de la forte DBO₅. En saison sèche, la DBO₅ diminue car il y a moins de matières organiques apportées par les eaux de ruissellement.

La mesure de la demande biologique en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables, donc son degré de pollution ou sa qualité. La DBO₅ est supérieure à la norme de rejet des eaux au Cameroun qui recommande moins 30 mg/L pour ce paramètre. Nous pouvons dire que cette eau est polluée par les matières organiques.

INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES

La rédaction d'un mémoire est un travail d'initiation à la recherche qui contribue au renforcement des capacités didactiques, au développement et à l'acquisition des savoirs, savoir-faire théoriques et expérimentaux. En tant que future enseignante de chimie, ce travail m'a permis de :

- Développer un esprit critique, d'analyse, et de synthèse lors de l'exploitation des documents et nécessaires pour mieux préparer les leçons ;
- D'assimiler certaines techniques de laboratoire telles que la pesée, la filtration sous vide, le dosage et de maîtriser les règles de sécurité qui me permettront de mieux préparer et conduire les séances de travaux pratiques ;
- D'acquérir plus de connaissances dans le domaine de l'environnement afin de mieux sensibiliser les élèves sur la pollution, les dangers liés à la consommation d'une eau souillée et les actions à poser pour protéger notre environnement ;
- Maîtriser l'outil informatique, ce qui m'aidera dans la préparation des cours, la confection des épreuves, des fiches de travaux dirigés et de travaux pratiques.

**CONCLUSION GÉNÉRALE
ET
PERSPECTIVES**

Il était question pour nous dans ce travail de localiser le point d'échantillonnage en amont de la rivière Foulou et d'y effectuer des prélèvements en saison pluvieuse et saison sèche. Ensuite de faire des analyses sur les échantillons d'eau prélevés et d'évaluer la qualité de l'eau en comparant les résultats obtenus aux normes de rejet des eaux usées au Cameroun.

Nous avons pu identifier la rivière et définir un point de prélèvement dont les coordonnées GPS sont 03°55.408' Nord et 011°33.929' Est à une altitude de 650 m. Les échantillons ont été prélevés manuellement ; certains paramètres ont été mesurés directement sur le terrain à l'aide d'appareils appropriés et d'autres ont été déterminés sur les échantillons conservés au laboratoire. Ces paramètres sont répartis en trois groupes : organoleptiques (couleur, turbidité), physicochimiques (température, pH, conductivité électrique, oxygène dissous, sels totaux dissous, MES, alcalinité et DCO) et biologique (DBO₅).

Les résultats obtenus ayant montré que seules les valeurs de la turbidité et de la DBO₅ sont supérieures aux normes, nous pouvons donc dire que le Centre de Traitement de Déchets n'a pas un impact sur la qualité de l'eau au point de prélèvement parce que ce point est situé en amont de la décharge, et que notre eau est polluée par les matières organiques, provenant des champs, des débris d'animaux, de végétaux et des déchets ménagers qui sont transportés dans l'eau. Ces matières organiques peuvent troubler l'eau, empêcher la pénétration de la lumière dans l'eau et entraîner la diminution de l'oxygène dissous nécessaire à la vie aquatique.

Nous recommandons donc :

- aux populations, de ne pas utiliser cette eau pour la boisson, pour la toilette,
- à HYSACAM, de mettre en place un système de traitement des lixiviats avant leur rejet dans la nature,

- au Ministère de l'Environnement de mettre en place des structures de traitement des lixiviats et de valorisation des déchets, de veiller à ce les effluents issus du Centre de Traitement de Déchets de Nkol Foulou respectent les normes de rejet des eaux usées au Cameroun, pour limiter leurs effets sur l'environnement.

Pour l'amélioration de ce travail, nous envisageons :

- d'étendre la zone d'étude, d'augmenter le nombre de points de prélèvement et de prélever des échantillons régulièrement pendant un an
- d'analyser les anions et cations majeurs
- d'analyser les métaux lourds et les pesticides
- de faire des analyses microbiologiques afin de savoir si cette eau contient les microorganismes pathogènes susceptibles de provoquer des maladies ou des microorganismes indicateurs d'une pollution d'origine fécale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME (2015) La pollution de l'air extérieur, les enjeux : comprendre et améliorer la qualité de l'air. Édition Mai 2015, Paris, 15p. ISBN 978-35838-988-4.

Agence de l'eau Loire Bretagne (2004) Cahier pédagogique N°2 : la pollution et l'épuration de l'eau, disponible sur www.prenons-soi-de-leau.fr consulté le 01 Septembre 2015.

Bessala N. (2003) Cameroun collectivités locales et gestion déléguée des déchets : cas de Yaoundé au Cameroun (2 – 6 décembre Yaoundé - Cameroun) à la Société Hygiène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM).

Chalot F. (2004) De l'amont vers l'aval : l'émergence d'une filière de gestion des déchets adaptée aux villes africaines. Synthèse et analyse des actions relatives aux déchets dans Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain, pp. 45-69.

Chocat B. (2014) L'eau va-t-elle manquer ? LGCIE-INSA Lyon, disponible sur http://www.graie.org/eaumelimelo/IMG/pdf/l_eau_va-t-elle_manquer_def_cle09c658.pdf

CPEPESC (Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères) (2004) Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux et commentaires. Disponible sur <http://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html> mis à jour en Octobre 2010.

CREPA (2007) Contrôle et suivi de la qualité des eaux urbaines, protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. 43p.

Dalhatou S. (2008) Etude des propriétés physico-chimiques des eaux de sources du Cameroun : cas de la source « Zibi » à Mendong (Yaoundé), mémoire de D.I.P.E.S. II, UY I, 60p.

Damien A. (2013) Guide du traitement des déchets, réglementation et choix des procédés. Dunod, Paris, 6^{ème} édition, 461p.

DE Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C. (2005) Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Bruxelles Environnement, fiche documentée, 16 pages. Disponible sur : http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Eau_2.PDF

- Djombé G. (2013)** Incidences de la décharge de Nkolfoulou à Yaoundé sur son écosystème et la santé humaine. Conférence internationale Africa 2013 sur l'Ecosanté, Université de Yaoundé I. 13p.
- Djorfi S., Foufou A., Majour H., Belloulou L., Hani A., Djabri L. (2010)** Impact de la décharge publique de Annaba sur la qualité des eaux de la plaine de l'Oued Zied. Communication Science et Technologie, N°8, pp. 151-157
- DREAL** (Direction Régionale de l'environnement, de l'Aménagement et du Logement) (2010) Principaux paramètres de caractérisation de la pollution des eaux et de leurs incidences sur l'environnement. Disponible sur <http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html> mis à jour le 09 Septembre 2010, consulté le 14 Juillet 2015.
- Ekani K.A. (2015)** Caractérisation des lixiviats et eaux environnantes de la décharge de Nkol Foulou, mémoire de DI.P.E.S. II, UY I, 83p.
- El Kharmourz M., Sbaa M., Chafi A., Saadi S. (2013)** L'étude de l'impact des lixiviats de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc oriental) sur la qualité physicochimique des eaux souterraines et superficielles. Larhyss Journal, N°16, pp. 105-119.
- FEPS** (Fondation de l'Eau Potable Sure) (2007) La pollution de l'eau disponible sur http://www.safewater.org/pdfs/resources_know_the_facts_pollution_eau.pdf consulté le 23 Août 2015.
- Jestin E. (2005)** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation des denrées alimentaires. Agence de l'eau Seine-Normandie. 34p.
- Kehila Y., Aina M., Mezouari F., Matejka G., Mamma D. (2007)** Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus solides dans les PED vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ? Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre.
- Khattabi H., Lotfi A., Lovy C., Mania J. (2002)** Évaluation de l'impact des lixiviats d'une décharge d'ordures ménagères sur la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'un ruisseau de Franche-Comté. Déchets-Sciences et Techniques. N°24, pp 1-4.
- Lambi Ngolui J. (2015)** Notes de cours chimie de l'environnement UE CHM 501. ENS Yaoundé I.

- Lamizana-Diallo M.B.,** Kenfack S., Millogo-Rasolodimby J. (2008) Évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso – Le cas du Massili dans le Kadiogo. Sud Sciences et Technologies. N°16, pp 23-28.
- Matejka G.,** Rinke M., Mejbri R., Bril H. (1994) Pollution engendrée par un lixiviat de décharge d'ordures ménagères ; bilan hydrique et caractérisation. Environmental Technology. Vol 15, pp313-322
- MDDEFP** (Ministère du développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs) (2013) Critères de qualité de l'eau de surface, 3^e édition, Quebec, Direction du suivi de l'état de l'environnement. pp.173-360.
- MINEP** (Ministère de l'Environnement et la Protection de la Nature) (2009) Normes environnementales et procédures d'inspection des installations industrielles et commerciales au Cameroun, Cameroun, République du Cameroun, 116 p., disponible sur <http://www.minep.gov.cm>.
- MINMEE** (2004) Évaluation des impacts environnementaux de la décharge contrôlée de Nkol Foulou (SOA). Yaoundé : Ministère des Mines de l'Eau et de l'Energie, 62p.
- Moumouni Djermakoye, M.H.** (2005) Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Thèse de doctorat, université de Bamako, 135p.
- N'Diaye D.A.,** Thiam O., Kankou M.O., Khalib I.N. (2013) Turbidité et matières en suspension dans l'eau : application à l'évaluation des métaux contenus dans l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. Larhyss Journal, N°14, pp 93-105.
- Ngnikam E.** (2000) Évaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : Analyse du cas de Yaoundé au Cameroun. Thèse LAEPSI. Lyon : INSA de Lyon, 363 p.
- Ngnikam E.,** Zahrani F., Naquin P., Djeutcheu B.K., Gourdon R (2012) Évaluation des impacts environnementaux d'un centre de stockage de déchets ménagers en activité sur la base de la caractérisation des flux de matière entrants et sortants : Application au site de Nkol Foulou, Yaoundé, Cameroun. Déchets sciences et techniques, N°61, pp 18-29.

- O.M.S. (2004)** Directives de qualité de l'eau de boisson. Recommandations. Volume 1, 3^{ème} édition. Genève. 110p.
- Piedrafita Carnicer M-V. (2007)** La pollution ponctuelle des sols : le cas des stations-service dans la région de Bruxelles-Capitale. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade académique de Diplômée d'Études spécialisées en Gestion de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles, 154p.
- Plateforme Re-sources (2015)** Situation des décharges dans la gestion des déchets en Afrique et dans les Caraïbes. Présentation synthétique de l'état des lieux et des retours d'expérience. Disponible sur www.plateforme-re-sources.org.
- Rainelli P. (1996)** Pollution des sols : problèmes économiques. Étude et Gestion des sols, N°4, pp 307-320.
- Rodier J. (2009)** L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 9^{ème} éd. Dunod, Paris. 1579p.
- Sotamenou J. (2010)** Le compostage : une alternative soutenable de gestion publique des déchets solides au Cameroun. Thèse présentée pour l'obtention d'un doctorat nouveau régime en Sciences économiques. Université de Yaoundé II Soa. 364p.
- Sotamenou J., Kamgnia Dia B., Parrot L. (2005)** La décentralisation pour une gestion efficace des déchets solides municipaux de la ville de Yaoundé. Université de Yaoundé II - Soa, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Yaoundé.
- W.H.O. (2003)** Guidelines for drinking water quality: total dissolved solids in drinking water, 8p. disponible sur www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf consulté le 20-05-2016.
- Zahrani F. (2006)** Contribution à l'élaboration et validation de protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets (CSD) dans les pays en développement. Application à deux CSD : Nkol Foulou (Cameroun) et Essaouira (Maroc). Thèse de doctorat, INSA de Lyon. Ecole doctorale de Chimie de Lyon, 281p.

**ANNEXE : PHOTOS DES APPAREILS DE
MESURE**



Figure 14: Photo du multimètre



Figure 15: Photo du turbidimètre



Figure 16: Photo de l'oxymètre