

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEURE

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE

DÉPARTEMENT DE CHIMIE



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace-Work-Fatherland

MINISTRY OF HIGHER
EDUCATION

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

**LABORATOIRE DE CHIMIE DES MATÉRIAUX DE L'ÉCOLE
NORMALE SUPÉRIEURE DE YAOUNDE**
*MATERIALS CHEMISTRY LABORATORY OF THE HIGHER TEACHER
TRAINING COLLEGE, YAOUNDE*

**ÉTUDE DE L'IMPACT DU CENTRE DE TRAITEMENT DES
DÉCHETS DE NKOLFOULOU SUR LA QUALITÉ DE L'EAU DE
LA RIVIERE FOULOU EN BORDURE DUDIT CENTRE**

*Mémoire présenté au Département de Chimie de l'École 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*

Présenté Par :

ZANGHO DOUNGUE TSAFACK Linda

Licenciée en Chimie

Matricule : CM04-07SCI0650

Encadreur:

Pr. LAMBI John NGOLUI
Ph. D. (Ife), CChem., MRSC
Associate Professor
Department of Chemistry
E.N.S. Yaoundé

Co-Encadreur:

Dr. NZALI Serge
Chargé de cours
FASA/UDS

Juin 2016

DÉDICACE

En mémoire de mon papa,

M. ZANGHO PIERRE

Et

À

ma maman,

Mme TSAGUE CATHÉRINE

CERTIFICATION

Je soussigné, **Pr. LAMBI John NGOLUI**, certifie que le mémoire intitulé «**ÉTUDE DE L'IMPACT DU CENTRE DE TRAITEMENT DES DÉCHETS DE NKOLFOULOU SUR LA QUALITÉ DE L'EAU DE LA RIVIERE FOULOU EN BORDURE DUDIT CENTRE** » est le travail original de **ZANGHO DOUNGUE TSAFACK Linda**, réalisé dans le Laboratoire de Chimie Inorganique de l'Ecole Normale Supérieure, Université de Yaoundé I, 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 particulièrement à remercier :

❖ **Pr. LAMBI John NGOLUI**, mon directeur de mémoire, qui mérite toute ma reconnaissance ;

❖ **Dr. NZALI Serge**, co-directeur de mémoire, qui a rendu ce travail possible ;

❖ Tous les enseignants du Département de Chimie et de Physique de l'ENS de Yaoundé pour la formation qu'ils m'ont données ;

❖ L'équipe du Laboratoire de Chimie des matériaux de L'ENS : **FEUYIT Gilbert** pour le temps qu'il m'a accordé et pour son tempérament, sa sympathie qui fait de ce laboratoire un lieu de travail agréable, **Dr. KENFACK Patrice** ; **TEDJIEUKENG Hyppolite**, **MBENE Kenneth** pour leurs conseils et leur collaboration. ;

❖ **M. TUMENTA Gerald**, qui m'a aidé lors de la phase pratique de ce mémoire, et pour ses précieux conseils ;

❖ Mes camarades de laboratoire et autres, avec qui j'ai traversé deux années au laboratoire : **NOUEMSI Nadège**, **MAMA Germain**, **SUENOU Ernest**, **TCHIENCHEU Beatrice**, **CHEBOU Abigaëlle** ;

❖ Mes frères et sœurs, **ZANGHO Aurelien**, **ZANGHO Junior**, **NGUEUKEU Carine**, **ZANGHO Michelle**, **TSAGUE Ange**, **NOUMBOUWO Leina**, pour leurs encouragements dans le cadre de l'élaboration de ce travail ;

❖ Les familles **NOUMBOUWO** et **TANKEU**, pour leurs conseils et leur assistance multiforme et permanent qui ont rendu ce travail moins difficile à mener ;

❖ **Mme LAMBI Edith**, pour son accueil et son hospitalité pendant la rédaction de ce travail ;

A tous ceux qui, de près ou de loin m'ont encouragé ou ont contribué à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	ii
CERTIFICATION	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
RÉSUMÉ.....	ix
ABSTRACT	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xi
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE ET REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	1
1.1 INTRODUCTION GÉNÉRALE	2
1.1.1 Problématique, motivation et justification et hypothèse de l'étude.....	2
1.1.2 Objectif général	3
1.1.3 Objectifs spécifiques	3
1.1.4 Méthodologie	4
1.1.5 Organisation du travail.....	4
1.2 REVUE DE LA LITTERATURE.....	5
1.2.1 Définition de quelques termes.....	6
1.2.2 Différents types de pollution des eaux.....	6

1.2.2.1 Pollution chimique	6
1.2.2.2 Pollution organique	7
1.2.2.3 Pollution physique.....	7
1.2.2.4 Pollution microbiologique	7
1.2.3 Paramètres de caractérisation de la pollution.....	8
1.2.3.1 Paramètres organoleptiques	8
1.2.3.2 Paramètres physico-chimiques.....	9
1.2.3.3 Paramètres relatifs aux substances indésirables	11
1.2.3.4 Paramètres concernant les substances toxiques	14
1.2.3.5 Paramètre biologique	18
1.2.4 Impacts de la pollution des eaux	21
1.2.4.1 Plan écologique	21
1.2.4.2 Plan économique.....	22
1.2.4.3 Plan de la santé.....	22
1.2.5 Présentation de la décharge a ordure de Nkol Foulou	23
1.2.5.1 Localisation du CTD	24
1.2.5.2 Climatologie.....	25
1.2.5.3 Hydrographie	26
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	28
2.1 PRODUITS CHIMIQUES ET MATÉRIELS UTILISÉS	29
2.1.1 Produits chimiques	29
2.1.2 Verrerie et appareillage	29
2.2 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE	30

2.2.1 Localisation du point de prélèvement.	30
2.2.2 Fréquence de prélèvements	30
2.3 TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE.	31
2.3.1 Prélèvement des échantillons.	31
2.3.2 Conditionnement, conservation et entreposage	32
2.3.3 Méthode d'analyse	32
2.3.3.1 Paramètres organoleptiques	32
2.3.3.2 Paramètres physico-chimiques.....	33
2.3.3.4 Paramètre biologique	39
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION	41
3.1 PARAMÈTRES ORGANOLEPTIQUES	43
3.1.1 Couleur	43
3.1.2 Odeur	43
3.1.3 Turbidité	43
3.2. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	44
3.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH).....	44
3.2.2 Conductivité (EC)	45
3.2.3 Sels totaux dissous (STD)	46
3.2.4 Température (T)	48
3.2.5 Oxygène dissous.....	49
3.2.6 Matières en suspension (MES)	50
3.2.7 Alcalinité(A_T)	51
3.2.8 Demande chimique en oxygène (DCO)	52

3.3 PARAMÈTRE BIOLOGIQUE.....	53
3.3.1 Demande biochimique en oxygène(DBO_5).....	53
 INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE	55
 CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	57
 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	60
 ANNEXES	64

RÉSUMÉ

Dans cette étude, l'impact du centre de traitement des déchets de Nkol Foulou sur la qualité de l'eau de la Rivière Foulou en bordure dudit centre a été évalué. Dans ce but, trois (03) types de paramètres ont été pris en compte : organoleptiques (couleur, odeur et turbidité) ; physico-chimiques (pH, conductivité, température, oxygène dissous, alcalinité, sels totaux dissous et DCO) et biologique (DBO₅). Les prélèvements des échantillons ont été effectués manuellement pendant la saison de pluie (Octobre) et en saison sèche (Décembre et Janvier) au point de rencontre entre un ruisseau contaminé par les lixiviats et la rivière Foulou. Le pH, la température, les sels totaux dissous (STD) 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, la matière en suspension (MES) a été filtrée et puis séchée, l'alcalinité a été déterminé par un dosage, les DBO₅ et DCO ont été déterminés par la méthode manométrique et colorimétrique

Les résultats pour les paramètres suivants ont été obtenus, respectivement, pour les mois d'Octobre, Décembre et Janvier : organoleptiques (la turbidité) : 744 NTU, 166 NTU et 514 NTU ; physico-chimiques : pH : 7,6 , 6,9 et 7,0; conductivité : 1750 µS/cm, 140 µS/cm, 380 µS/cm ; SDT : 1060 mg/L, 60 mg/L et 180 mg/L; température : 25,2 °C , 23,7 °C et 25,1 °C ; oxygène dissous : 6,1 mg/L, 11,2 mg/L et 7,8 mg/L; MES : 900 mg/L, 540 mg/L et 320 mg/L; alcalinité : 15,19 mmol/L, 7,84 mmol/L et 1,157 mmol/L; biologiques : DBO₅ : 730 mg/L, 620 mg/L et 210 mg/L; et DCO : 379 mg/L, 372 mg/L et 33 mg/L.

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

Les résultats obtenus suggèrent que les différents polluants retrouvés dans cette rivière influencent la qualité de l'eau, constituant 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 : lixiviats, paramètres de caractérisation, pollution, normes, impact environnemental.

ABSTRACT

In this study, the impact of the Centre for the Treatment of Wastes at Nkol Foulou on the quality of the water of River Foulou bordering the Centre on one side has been evaluated. To achieve this, three (03) types of parameters were taken into consideration: organoleptic (colour, odor & turbidity); physico-chemical (pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen, alkalinity & total dissolved salts) and biological (BOD & COD). Samples were collected manually in the rainy season (October) and in the dry season (December & January) at the junction between the stream contaminated by the waste effluents and the River Foulou itself. 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, oxygen Aqualitic type and Hanna type turbid meters. In the laboratory, suspended matter (SM) was filtered and then dried, the alkalinity determined by titrimetry and the biological oxygen demand (BOD) and 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) : 744 NTU, 166 NTU & 514 NTU ; physico-chemical : pH : 7,6 , 6,9 & 7,0; conductivity : 1750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ & 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$; TDS : 1060 mg/L, 60 mg/L & 180 mg/L; temperature : 25,2 °C , 23,7 °C & 25,1 °C ; dissolved oxygen : 6,1 mg/L, 11,2 mg/L & 7,8 mg/L; SM : 900 mg/L, 540 mg/L & 320 mg/L; alkalinity : 15,19 mmol/L, 7,84 mmol/L & 1,157 mmol/L; biological : BOD : 730 mg/L, 620 mg/L & 210 mg/L; and COD : 379 mg/L, 372 mg/L & 33 mg/L.

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

These results suggest that the different pollutants found in the river have an influence on the water quality, thus constituting a menace not only to the health of the inhabitants around the River Foulou but also to the aquatic fauna and flora

Keywords: waste effluents, parameters of characterization, pollution, norms, environmental impact.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CTD	: Centre de traitement des déchets
DBO₅	: Demande Biologique En Oxygène
DCO	: Demande chimique en oxygène
HYSACAM	: Hygiène et Salubrité du Cameroun
NTU	: Nephelometric turbidity unit
MDDEF	: Ministère du développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs
MES	: Matière en suspension
MINEP	: Ministère de l'environnement et de la protection de la nature
pH	: potentiel d'hydrogène
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
STD	: Sels Totaux Dissous
UCV	: Unité de couleur vraie
WHO	: World Health Organization

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photo du CTD à proximité du fleuve.....	24
Figure 2 : Répartition mensuelle des précipitations et des températures de la ville de Yaoundé	26
Figure 3 : Photographie de la zone d'échantillonnage	30
Figure 4 : Technique de prélèvement des échantillons.	32
Figure 5 : Évolution de la turbidité en fonction des saisons	44
Figure 6 : Évolution du pH en fonction des saisons	45
Figure 7 : Évolution de la conductivité en fonction des saisons	46
Figure 8 : Évolution de la STD en fonction des saisons	47
Figure 9 : Relation entre la conductivité et les solides totaux dissous	48
Figure 10: Évolution de la température en fonction des saisons.....	48
Figure 11: Évolution de l'oxygène dissous en fonction des saisons.....	49
Figure 12: Évolution de la MES en fonction des saisons	50
Figure 13: Évolution de l'alcalinité en fonction des saisons	52
Figure 15: Évolution de la DCO en fonction des saisons	52
Figure 14: Évolution de la DBO ₅ en fonction des saisons	53
Figure 16: Relation entre DBO ₅ et DCO	54
Figure 17: Multimètre	65
Figure 18: Turbidimètre	65
Figure 19: Lixiviats issus du centre de traitements.....	66
Figure 20: Matériel de récupération	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Effet d'un excès ou d'une pénurie de quelques minéraux sur la santé humaine	5
Tableau 2: Qualité de l'eau en fonction de la turbidité.....	9
Tableau 3: Récapitulatif des paramètres à tenir en compte lors de la caractérisation de la pollution d'une eau	18
Tableau 4: Etalement de l'étude au cours des saisons	31
Tableau 5: Présentation des résultats	42

CHAPITRE I :
INTRODUCTION GÉNÉRALE ET REVUE DE LA
LITTÉRATURE

1.1 INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1.1 Problématique, motivation et justification et hypothèse de l'étude

Au Cameroun, la production des déchets est en augmentation constante suite à sa croissance démographique (4 % par an) et à son urbanisation. La ville de Yaoundé qui compte près de 2 millions d'habitants produit en moyenne 1200 tonnes d'ordures ménagères par jour (Bessala, 2003). Le traitement d'ordures ménagères notamment, reste très peu développé en dehors de la mise en décharge sauvage, quasi généralisée par les communes camerounaises. Cette méthode de stockage des déchets ne peut plus perdurer au regard des importants dommages qu'elle engendre sur l'environnement (pollution des eaux souterraines et superficielles, pollution des sols, impact sur la santé humaine, émission des gaz à effet de serre) (El-Fadel, 1997). À l'intérieur des décharges sauvages, les déchets déversés ne sont que rarement totalement inertes et de nombreuses réactions physico-chimiques et biologiques interviennent à la fois entre le déchet et le milieu dans lequel il se trouve (roche, sol, nappes, eaux de percolation etc.), mais également au sein même des déchets d'origines diverses. L'évolution des déchets en décharge et leurs interactions avec le milieu extérieur conduisent à la dispersion de flux polluants, essentiellement à travers l'émergence du lixiviats qui résulte de la mise en solution par voies physico-chimiques et biologiques des éléments polluants dans les eaux de percolation. Cette eau se charge de substances organiques et minérales et donne naissance aux lixiviats (Thonarth et al, 1997).

L'Étude des risques de pollutions des eaux par les lixiviats issus des décharges n'a pas commencé aujourd'hui. Depuis 1960, certains auteurs (Waterton et al., 1969 ; Matter et al., 1979) ont montré dans leurs travaux que la pollution de la nappe par la décharge est quasiment indétectable, d'autres (Ragle et al., 1995 ; Howardken et al., 1996) ont montré la présence d'un réel danger

sur de nombreuses décharges étudiées aux pays de Galles et au Canada. Au Cameroun, au laboratoire de Chimie des Matériaux de l'École Normale Supérieure de Yaoundé, c'est la toute première fois que nous évaluons la qualité d'une eau en bordure d'un centre de traitement de déchets afin de ressortir son influence sur l'environnement et la santé.

La problématique de cette étude est donc de déterminer le niveau de pollution de la rivière Foulou par les déchets déposés dans ce centre de traitement afin de contribuer à l'assainissement de cet environnement riverain et de réduire son impact non seulement sur la santé des habitants autour de cette rivière mais aussi sur la faune et la flore aquatique.

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

Pour conclure, on peut dire que cette étude est justifiée par les bénéfices que vont tirer les habitants de cette zone (Nkol Foulou) à la fin du travail.

L'hypothèse de travail est la suivante : les sites d'enfouissement des déchets polluent les eaux de surface et constituent un danger pour la santé humaine et l'environnement.

1.1.2 Objectif général

Notre étude a pour objectif principal de rechercher les formes de pollutions contenues dans cette rivière et d'évaluer leur impact non seulement sur la santé des habitants autour de cette rivière mais aussi sur la faune et la flore aquatique.

1.1.3 Objectifs spécifiques

- Localiser le centre de traitement de déchets ;
- Effectuer les prélèvements sur l'eau à proximité du centre de traitement des déchets ;

- Réaliser des analyses organoleptiques, physico-chimiques et biologiques sur les prélèvements effectués ;
- Comparer les résultats obtenus avec la norme des eaux camerounaises en vue de déterminer la qualité des eaux de la rivière Foulou.

1.1.4 Méthodologie

- le Centre de traitement de déchets sera localiser en utilisant le GPS;
- l'eau de la rivière à proximité du centre de traitement des déchets sera prélever manuellement ;
- les paramètres organoleptiques (turbidité), physico-chimiques (pH, conductivité, température, alcalinité, matières en suspension, sels totaux dissous, oxygène dissous et DCO), les paramètres biologiques (DBO_5) seront évalués ;
- les normes camerounaises des eaux de rejets (MINEP, 2009), seront utilisées en comparaison des résultats obtenus.

1.1.5 Organisation du travail

Le mémoire sera subdivisé en trois chapitres suivis d'une conclusion générale.

Le chapitre 1 présente la problématique, la motivation, la justification, l'hypothèse les objectifs, la méthodologie les généralités de ce travail.

Le chapitre 2 présente les produits chimiques et les matériels utilisés, le plan d'échantillonnage, les techniques d'échantillonnages et d'analyses.

Le chapitre 3 présente dans l'ensemble les résultats trouvés ainsi que leurs interprétations.

1.2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

L'eau est le patrimoine humanitaire le plus précieux. Sans elle, la vie sur terre n'existerait pas. Elle est essentielle à la croissance de toute chose sur notre planète. Elle subit des pollutions d'origines diverses. Les enjeux environnementaux et sanitaires liés aux pollutions dans les milieux aquatiques sont au cœur de nombreux débats de société et la prise de conscience de la nécessité de réduire la pollution est de plus en plus importante. En effet, les polluants toxiques (cadmium, arsenic, plomb, chrome...) ont des impacts non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine. Les conséquences sanitaires peuvent être importantes, voire même mortelles (Tableau 1). Par exemple, dans les années 1950-1960, au Japon, une pollution au cadmium dans les rivières a déclenché de nombreux troubles rénaux et osseux, entraînant une importante mortalité dans les populations de ces régions (Boucheseiche et al, 2002)

Tableau 1: Effet d'un excès ou d'une pénurie de quelques minéraux sur la santé humaine (ROBERT, 1996).

Élément chimique	Pénurie	Excès
Chrome (Cr)	Artériosclérose	Nécrose tubulaire des reins
Cuivre (Cu)	Anémie, croissance réduite, perte d'élasticité des artérioles	Cirrhose hépatique D, Désordre du métabolisme du cuivre
Fluor (F)	Ostéoporose, ostéoscicrosis	Fluorose dentale,
Fer (Fe)	Anémie	Irritation gastro-intestinale
Magnésium (Mg)	Balance d'électrolytes perturbés	Muscles
Phosphore (P)	Faiblesse, mal aux os	Blessures des reins, du foie
Potassium (K)	Hypokaliémie,	Diarrhée, néphrotoxicité
Zinc (Zn)	Appétit et croissance réduit	Irritabilité

On estime que 3.400.000 personnes meurent chaque année de MTH (Maladies à transmissions hydriques), dont la moitié est des enfants de 5 ans (Lamins, 2014).

1.2.1 Définition de quelques termes

- La pollution : c'est la dégradation d'un milieu naturel par des substances chimiques, déchets industriels ou ménagers (Diabaté, 2010).
- Un polluant : c'est toute substance présente en quantité supérieure à la concentration naturelle ou prévue par les normes nationales ou internationales (Nkot, 2015).
- Les déchets ménagers : ce sont les ordures et les eaux usées issues des travaux de ménage (reste de cuisine, eaux issues de la lessive, nettoyage) (Diabaté, 2010).
- L'environnement : c'est le substrat et tous ceux qu'il abrite à savoir l'eau, l'air (l'ensemble des éléments physiques, chimiques ou biologiques, naturels) (Diabaté, 2010).
- L'urbanisation : c'est la concentration croissante de la population dans des agglomérations de type urbain (Diabaté, 2010).

1.2.2 Différentes types de pollution des eaux

1.2.2.1 Pollution chimique

La pollution chimique est due à la présence des produits chimiques dans l'eau. Les cours d'eau sont extrêmement vulnérables aux substances toxiques telles que les métaux lourds (Fer, Plomb, Nickel, Cuivre, Zinc etc.), les acides, les solvants, le polychlorobiphényle (PCB) et les produits issus de l'extraction minière (Nkot, 2015). Ces substances peuvent non seulement tuer instantanément, mais elles s'accumulent aussi lentement dans les alluvions et les sols des plaines d'inondation et atteignent parfois la nappe phréatique. Elles peuvent aussi s'accumuler le long de la chaîne alimentaire et provoquer des

mutations et stérilités de la faune, conduisant de manière irréversible à l'entière destruction du milieu naturel.

1.2.2.2 Pollution organique

C'est l'ensemble des cadavres et des excréments. En quantité raisonnable, ils sont nécessaires à l'écosystème, car ils sont recyclés par la nature. En quantité astronomique, comme c'est le cas dans les égouts..., ils sont une source de pollution ([http:// www. 5 types de pollutions. html](http://www.5typesdepollutions.html)). Cette pollution augmente la turbidité des eaux et crée un phénomène d'eutrophisation avec une diminution de la quantité d'oxygène dissous. Ces modifications environnementales ont de profondes conséquences sur les populations d'un milieu (disparition d'espèces, prolifération d'autres espèces) (Nkot, 2015).

1.2.2.3 Pollution physique

La pollution physique retire à l'eau ses qualités utilitaires, esthétiques provoquant dans certains cas la mort des poissons et par ricochet des Hommes (Nkot, 2015). Ce type de pollution s'observe par les manifestations suivantes :

- la variation de la température ;
- modification de la coloration ;
- les MES totales qualifient les particules non dissoutes et sont responsables de la présence de la turbidité.

1.2.2.4 Pollution microbiologique

La contamination microbiologique est une forme de pollution de l'eau engendrée par la présence de microorganismes pathogènes tels que les virus, des parasites ou des bactéries que l'on trouve par exemple dans des excréments d'animaux et humains. Elle présente un risque pour la santé humaine (infection aux yeux, aux oreilles et à la peau, problème gastro-entérique, hépatites, méningites) et entraîne des restrictions d'usage (baignade, activités nautiques). Les majeurs problèmes sus-cités sont quasi inexistantes dans les pays développés

grâce au soin apporté à la qualité de l'eau et à l'aménagement des zones humides (Environnement, Risque & Santé, 2002).

1.2.3 Paramètres de caractérisation de la pollution

Une eau potable peut être définie comme une eau qui, lorsqu'elle est bue de façon permanente, ne présente aucun risque pour la santé. Les paramètres à prendre en compte lors de leur caractérisation sont classés tels que suit :

1.2.3.1 Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont relatifs à la couleur, la saveur, l'odeur et la transparence de l'eau. Ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe : une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être parfaitement consommable.

a) Couleur

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. L'élimination de la couleur s'accompagne également de celles de certaines matières organiques indésirables (Précurseurs de composés halo formes). Cette élimination devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau (Maiga, 2005).

b) Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à

des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre et s'exprime en NTU (www.lentech.fr/applications/potable/normes-oms-eau-potable.html)

Tableau 2: Qualité de l'eau en fonction de la turbidité

Turbidité	Qualité
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

1.2.3.2 Paramètres physico-chimiques

Ces critères sont en relation avec la structure naturelle des eaux. Il s'agit des caractéristiques que l'eau a pu acquérir lors de son parcours naturel, mais aussi de la température, de la conductivité et du pH de celle-ci.

a) Potentiel d'hydrogène (pH)

Ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Le pH (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions H^+ : $pH = - \log [H^+]$. L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7. Le pH doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique. Dans chaque milieu naturel, les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant : > 7 en régions calcaires où les eaux sont basiques car fortement minéralisées, < 7 en région de sous-sol primaire, ou eaux sont acides (www.lentech.fr/applications/potable/normes-oms-eau-potable.html)

b) Conductivité (EC)

C'est la quantité d'électricité transportée d'une électrode à l'autre à travers une section de 1 cm^2 , d'un conducteur ayant une différence de potentiel de 1V/cm. Elle permet d'estimer le degré de minéralisation d'une eau et est liée à la

force ionique. Elle est proportionnelle à la teneur en sels dissous (TDS). Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Payne, 1986).

c) Sels totaux dissous (STD)

Les sels totaux dissous 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. Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de sources naturelles et aussi bien des activités humaines. Les eaux minérales ont un taux élevé de solide dissous parce qu'elles ont traversé des régions où les roches contiennent beaucoup de sel. Une concentration très basse de STD donne un goût fade à l'eau qui est indésirable pour beaucoup de personne, de forte quantité de solide dissous peuvent corroder les tuyaux et donner un goût métallique à l'eau, par contre, une forte concentration de STD révèle la présence des polluants nuisibles comme le fer, le manganèse, le sulfate, l'arsenic dans l'eau (<http://www.who.int/watersanitation/health/dwa/chemical/tds.pdf>).

d) Température (T)

La température est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Elle joue un rôle primordial dans la distribution des espèces, aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières. Elle influence beaucoup de phénomènes physico-chimiques tels que le pouvoir auto épuratoire d'une eau polluée, la solubilité des gaz, la conductivité et le pH (Leynaud, 1968). La plupart des réactions chimiques vitales sont ralenties voire arrêtées par un abaissement important de température.

e) oxygène dissous (O_2)

L'oxygène dissous est indispensable à la vie aquatique : Plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité d'oxygène dissous diminue. La présence

d'oxygène dissous dans les eaux est primordiale pour la vie aquatique. Elle favorise le processus d'autoépuration des cours d'eaux avec le concours des microorganismes (Le Pimpec, 2002). En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène c'est l'asphyxie des poissons. (7 mg/L pour les salmonidés ,3 mg/L pour les carpes).

f) Matière en suspensions (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales.....) (Merabet , 2010).

g) Alcalinité de l'eau (A_T)

C'est la quantité totale de base dans l'eau. Ces bases pouvant être des hydroxydes de carbonates, des bicarbonates. La quantité totale de carbone organique dépend des concentrations en calcium et magnésium (Banton et Bangoy ,1997). Elle s'exprime en mg/L de $CaCO_3$. Elle permet de définir la dureté de l'eau qui elle s'exprime en degré Français ($1^\circ F = 10 \text{ mg/L de } CaCO_3$).

1.2.3.3 Paramètres relatifs aux substances indésirables

On appelle substances indésirables les substances dont la présence est tolérée tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil (exemple : fluor et nitrates). On trouve parmi elles aussi bien des substances dont l'effet se limite à un désagrément pour l'utilisateur (traces de rouille sur le linge dues à une concentration

excessive en fer) que celles qui peuvent avoir une incidence sur la santé (teneur excessive en nitrates).

a) Fluorures (F⁻)

Comme la plupart des métalloïdes, le fluor n'est jamais rencontré sous sa forme moléculaire libre. Il apparaît comme constituant du fluorure de calcium, de la cryolite, des fluorures de sodium et d'aluminium, et de diverses roches sédimentaires. Les fluorures ne se trouvent généralement pas d'une façon naturelle en quantité dangereuse dans les eaux superficielles ; néanmoins, on peut trouver, de manière exceptionnelle, certaines eaux naturelles présentant des teneurs en fluor atteignant jusqu'à 10 mg/L. La présence de fluorures en quantité notable dans l'eau est susceptible de provoquer des effets toxiques importants sur les organismes aquatiques. Les symptômes d'intoxication présentés par les poissons correspondent à un état apathique et anorexique avec sécrétion accrue de mucus. Par ailleurs, les fluorures induisent des modifications de la composition du sang des poissons ; notamment, la teneur en protéines du sérum diminue lors d'une intoxication. Les effets des fluorures sur les organismes aquatiques sont fonction de nombreux paramètres, et en particulier des concentrations en calcium, en magnésium et en chlorures du milieu. On admet en général que des concentrations en fluorures de l'ordre de 1,5 à 2,0 mg/L sont sans effet sur la faune et la flore aquatique (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

b) Zinc (Zn)

Vis-à-vis des poissons et des autres organismes aquatiques, le zinc présente une toxicité variable selon la dureté de l'eau. Ainsi, pour une espèce donnée, la concentration létale est de 0,3 mg/L dans une eau contenant 1 mg/L de calcium alors qu'elle est supérieure à 2 mg/L sur 96 heures pour la même espèce dans une eau contenant 50 mg/L de calcium. L'effet toxique n'est en général pas

immédiat et un poisson soumis à une pollution accidentelle par le zinc peut ne mourir que quelques jours après (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

c) Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates des eaux souterraines et des cours d'eau proviennent :

- principalement d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés.
- en second lieu des rejets des stations d'épurations (transformation de la matière organique en nitrates). Certaines installations sont complétées par des traitements de dénitrification avant rejet.
- du milieu naturel, pour 3 et 7 mg/L. Seulement, une quantité suffisante pour nourrir la vie aquatique des cours d'eau. (au delà c'est l'indigestion, le développement des algues, l'eutrophisation)

Les nitrates posent un problème en raison de leur trop grande introduction dans les eaux par l'agriculture industrielle. Dans l'eau les nitrates (NO_3^-) sont quantifiés en mg par litre (mg/L). Bien que les nitrates soient énormément moins toxiques que les nitrites, il ne doit pas y en avoir plus de 50 mg/L, dans l'eau du robinet. En effet une fois consommés, ils peuvent évoluer en nitrites dans l'estomac puis se transformer en nitrosamines toxiques et réputées cancérigènes. Chez les poissons adultes, la toxicité des nitrates semble très faible. Il n'en est pas de même sur les œufs ou les larves dont la mortalité serait multipliées par deux selon les espèces. (www.lentech.fr/applications/potable/normes-oms-eau-potable.html)

d) Cuivre (Cu)

Le Cuivre est utilisé dans le domaine de la métallurgie, dans l'industrie électrique, le textile, les tanneries, l'industrie photographique, le traitement de surfaces, la fabrication des insecticides. La toxicité du cuivre varie en fonction des espèces et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau ; elle dépend en particulier de la température, de la concentration en oxygène dissous, de la

dureté et de la quantité de dioxyde de carbone libre. En présence d'une eau dure, une grande partie du cuivre sera précipitée sous forme de composés insolubles et, en particulier, de carbonate (on estime que des concentrations comprises entre 0,1 et 1 mg/L en eau dure sont sans danger pour la plupart des poissons, tandis que ces mêmes concentrations ont pour conséquence des effets toxiques sur de nombreuses espèces en eau peu calcaire). Le cuivre n'a pas d'effet cumulatif chez l'homme et les intoxications sont exceptionnelles (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

1.2.3.4 Paramètres concernant les substances toxiques

Les normes retenues pour ce groupe de substances, tels que le plomb et le chrome, sont calculées en tenant compte de la "marge d'incertitude" adoptée en toxicologie, c'est-à-dire qu'elles fixent des limites sensiblement inférieures aux seuils considérés comme acceptables. Les teneurs tolérées sont extrêmement faibles, parfois de l'ordre du millionième de gramme par litre (arsenic, cyanure, hydrocarbures aromatique).

a) Chrome (Cr)

Le Chrome provient habituellement du rejet des eaux usées industrielles. Le chrome (VI) est très mobile dans les organismes vivants, où il peut inhiber la chaîne des réactions de la respiration, ou encore jouer le rôle d'agent mutagène en modifiant la structure des bases d'ADN. Comparativement à la forme hexavalente, il est admis que la forme trivalente est sans danger significatif pour l'alimentation en eau potable, la faune et la flore aquatique. A très faible concentration, le chrome trivalent semble même avoir une fonction biologique bien établie, intervenant en tant que constituant essentiel des systèmes métaboliques de nombreux organismes vivants (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

b) Cadmium (Cd)

Les divers composés du cadmium présentent des effets toxiques très variables selon leur solubilité et, donc, leur facilité d'assimilation par l'organisme. Ainsi, le chlorure de cadmium, soluble, apparaît plus toxique que le sulfure de cadmium très insoluble. La toxicité du cadmium vis-à-vis du poisson est assez mal connue. Les effets observés au cours des tests dépendent fréquemment de l'animal testé, de son âge, de la composition de l'eau, et de la température. Les seuils correspondant aux effets toxiques observés varient entre 0,01 et 10 mg/L. Chez l'Homme, le cadmium est surtout toxique par inhalation ou, plus rarement, par voie digestive (de l'ordre de 5% des quantités ingérées). En revanche, aucun effet significatif n'a été mis en évidence par voie cutanée. Le principal danger du cadmium réside dans son effet cumulatif, il peut entraîner, notamment, des lésions des tissus rénaux se traduisant par une protéinurie, ainsi qu'une pathologie osseuse dénommée "maladie d'Itaï-Itaï" (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>)

c) Cyanures (CN⁻)

Les Cyanures sont analytiquement absents dans les eaux naturelles. Leur présence est liée aux rejets d'activités industrielles spécifiques (cokeries, hauts fourneaux, traitements de surfaces, pétrochimie, ...) Bien que la toxicité soit généralement exprimée sous forme d'ions cyanures, il est reconnu que la forme la plus toxique est la forme non dissociée (HCN). En pratique donc, l'effet toxique est peu marqué au delà de pH =10, mais devient très important en deçà de pH = 8 (c'est-à-dire dans le domaine habituel de pH des eaux superficielles). La toxicité devient également marquée lorsque la température croît ou lorsque la teneur en oxygène dissous du milieu diminue. Chez les poissons, les cyanures inhibent l'enzyme permettant le transfert de l'oxygène du sang vers les tissus. La toxicité est variable selon la minéralisation et les espèces (une concentration

de 0,2 mg/L en CN, par exemple, constitue une concentration létale moyenne pour 50 % des individus sur une durée comprise entre 10 minutes et 5 jours suivant les auteurs pour la truite arc-en-ciel (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

d) Mercure (Hg)

Le Mercure, en raison de propriétés physiques et chimiques très particulières, 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, de la soude, du chlore et de l'eau de Javel par électrolyse, ...). Les composés mercuriels sont rejetés dans l'environnement sous forme de mercure inorganique ou organique. Tous les composés mercuriels sont, dans une certaine mesure, toxiques. Parmi eux, il est toutefois reconnu que le méthylmercure est le plus dangereux du fait de sa stabilité et de la facilité avec laquelle il est assimilé par les organismes vivants : en particulier, il s'accumule dans la chair des poissons et des crustacés jusqu'à des concentrations de 2000 à 10 000 fois celles du milieu environnant. L'ion méthylmercure 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. En ce qui concerne la faune piscicole, les concentrations létales pour des effets mesurés sur des durées de plusieurs semaines ou plusieurs mois sont d'environ 0,1 mg/L pour la plupart des espèces. Chez l'homme, le mercure diffuse très rapidement à travers la paroi alvéolaire des poumons sous sa forme élémentaire ou sous forme de méthylmercure, mais peut également pénétrer dans l'organisme par voie intestinale, notamment par consommation de produits contaminés (sels mercuriques, dérivés organiques), ou par voie cutanée (organo-mercuriels). 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 (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>)

e) 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 (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>)

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. Les micro-organismes responsables des phénomènes de dégradation des matières organiques sont sensibles au plomb dès 0,1 mg/L. La toxicité vis-à-vis des poissons est variable selon la minéralisation des eaux (toxicité maximale dans les eaux peu calcaires) et l'espèce étudiée. Comme le mercure, le plomb est susceptible de donner des composés toxiques par combinaison avec un radical organique (substances issues d'un phénomène de méthylation ou d'éthylation). Chez l'homme, les deux grandes voies d'assimilation du plomb sont les voies digestive et pulmonaire. La manifestation du saturnisme est conditionnée par la longue rétention du plomb dans l'organisme, ce qui en fait un poison typiquement cumulatif (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

f) Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO ou demande chimique en oxygène représente tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène, en particulier les sels minéraux oxydables (sulfures, sels de métaux) et la majeure partie des composés organiques, biodégradables ou non. Elle nous renseigne de cette manière sur la charge organique totale des eaux (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

1.2.3.5 Paramètres biologique

L'eau doit être exempte de bactéries et de virus pathogènes. En revanche, la présence en petite quantité de germes banals est admise, car l'eau est un milieu naturel : une vie bactérienne inoffensive et limitée y est normale.

a) Demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène en 5 jours est la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Ce paramètre est utilisable soit pour quantifier la charge polluante organique de l'eau, soit pour évaluer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel (toute matière organique biodégradable rejetée va entraîner une consommation d'oxygène au cours des procédés d'autoépuration), soit pour évaluer l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration d'un rejet par un procédé biologique (<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>).

Tableau 3: récapitulatif des paramètres à tenir en compte lors de la caractérisation de la pollution d'une eau

	PARAMETRES	FORMULE	UNITE
	<i>Paramètres Organoleptiques</i>		
1	Coloration (après filtration)		mg/L échelle Pt
2	Odeur, saveur		
3	Turbidité		NTU

Paramètres physico-chimiques

1	pH		-
2	Température		°C
3	Solides totaux dissous	TDS	mg/L
4	Conductivité électrique	EC	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
5	Matières en Suspension	MES	mg/L
6	Oxygène dissous (Taux de saturation en oxygène dissous)	O ₂	mg/L (% O ₂)
7	Potassium	K ⁺	mg/L
8	Sodium	Na ⁺	mg/L
9	Calcium	Ca ²⁺	mg/L
10	Magnésium	Mg ²⁺	mg/L
11	Hydrogénocarbonates	HCO ₃ ⁻	mg/L
12	Dureté totale		°F
13	Sulfates	SO ₄ ²⁻	mg/L
14	Chlorures	Cl ⁻	mg/L
16	Aluminium total	Al ³⁺	mg/L

Paramètres concernant les substances indésirables

1	Nitrates	NO ₃ ⁻	mg/L
2	Nitrites	NO ₂ ⁻	mg/L
3	Fluorures	F ⁻	mg/L
4	Argent	Ag	mg/L
5	Fer ferreux	Fe ₂ ⁺	mg/L
6	Fer ferrique	Fe ₃ ⁺	mg/L
7	Fer total	Fe	mg/L
8	Manganèse	Mn	mg/L
9	Zinc	Zn	mg/L

10	Bore	B	mg/L
11	Béryllium	Be	mg/L
12	Cobalt	Co	mg/L
13	Nickel	Ni	mg/L
14	Vanadium	V	mg/L
15	Cuivre	Cu	mg/L
16	Phénols (Indice phénol)		mg/L
17	Sulfure d'Hydrogène	H ₂ S	mg/L
18	Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/L
19	Azote total	N total	mg/L
20	O-Phosphates	PO ₄ ³⁻	mg/L
21	Phosphore total	P total	mg/L
<i>Paramètres concernant les substances toxiques</i>			
1	Arsenic	As	mg/L
2	Cadmium	Cd	mg/L
3	Chrome total	Cr	mg/L
4	Plomb	Pb	mg/L
5	Sélénium	Se	mg/L
6	Mercure	Hg	mg/L
7	Cyannure	CN	mg/L
8	Nickel	Ni	mg/L
9	Baryum	Ba	mg/L
10	Antimoine	Sb	mg/L
11	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	HAP	mg/L
12	Demande chimique en Oxygène	DCO	mg/L

Paramètres biologiques

1	Demande Biochimique	DBO ₅	mg/L
	Oxygène en 5 jours		
2	Carbone Organique Total	COT	mg/L

1.2.4 Impacts de la pollution des eaux

De nombreuses activités humaines, qu'elles soient industrielles, chimiques, agricoles, voire domestiques, sont responsables de la dégradation de l'environnement. Elles ont des répercussions sur trois plans majeurs :

1.2.4.1 Plan écologique

Qu'elles soient chimiques, physiques ou biologiques, les pollutions entraînent des modifications du milieu.

a) Altération des milieux

Les substances chimiques (métaux lourds, perturbateurs endocriniens, etc.) et les effets physiques (chaleur, lumière, radioactivité) d'une part affaiblissent les organismes et leur capacité à se reproduire et d'autre part altèrent les conditions du milieu (pH, oxygène, ultra-violets...).

b) Modification de présence des espèces

L'ensemble de ces modifications engendre alors la disparition et l'apparition locales de certaines espèces et le développement de certains organismes au dépendant d'autres. L'introduction d'espèces invasives accroît encore plus ces déséquilibres.

c) Appauvrissement de la biodiversité et impact sur l'homme.

Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement des écosystèmes. L'affaiblissement et la disparition des services écologiques

rendus par ces écosystèmes (mécanismes d'épuration, stabilisation des sols, etc.) génèrent une dégradation généralisée du milieu de vie aussi bien pour les organismes que pour l'homme et ses activités.

1.2.4.2 Plan économique

La pollution chimique peut engendrer de nombreuses perturbations qui à plus ou moins long terme, ont des effets néfastes sur l'économie. Ces atteintes peuvent toucher les organismes vivants, les écosystèmes ainsi que les humains et leurs activités. On peut citer entre autres :

- l'augmentation du cout des traitements de potabilisation ;
- l'exploitation des milieux aquatiques (piscicultures, loisirs,...) seront entravés ;
- le développement industriel et agricole sera freiné.

1.2.4.3 Plan de la santé

L'eau non traitée ou polluée est responsable de maladies graves chez l'homme, bien souvent mortelles dans les pays en voie de développement. L'eau véhicule des virus, des bactéries, des parasites, des micro-organismes végétaux ou animaux, qui peuvent provoquer des maladies graves, voire mortelles pour l'être humain. Ces maladies liées à l'eau insalubre sont appelées maladies hydriques. On dénombre de nombreuses maladies véhiculées par les micro-organismes présents dans l'eau on peut citer :

- la schistosomiase, qui est une maladie hydrique considérée comme la deuxième infection parasitaire après le paludisme ;
- les amibes, qui provoquent de fortes diarrhées entraînant une déshydratation qui peut s'avérer mortelle ;
- la fièvre typhoïde, qui provoque des troubles digestifs et de fortes fièvres ;
- la bilharziose, responsable de troubles du foie, des intestins et de la vessie, dues à un petit ver qui se développe dans les eaux stagnantes ;

- l'onchocercose, qui engendre la cécité les eaux stagnantes sont également les habitats des moustiques qui propagent la dengue ou le paludisme ;
- le trachome, qui est une maladie infectieuse des yeux qui peut provoquer une cécité après des infections répétées ;
- l'hépatite A et E entraînent une infection et une inflammation du foie
- le choléra ... La liste des maladies est longue, et la mortalité due aux maladies hydriques est très élevée. Dans le monde, environ 6 millions d'enfants meurent tous les ans de gastro-entérites hydriques. C'est véritablement la pauvreté qui est responsable de toutes ces maladies et ces décès liés à l'eau : manque d'eau, assainissement inexistant ou insuffisant, mauvaise hygiène, pas de fabrication d'eau potable, peu d'accès aux soins et structures médicales inexistantes (<http://www.vedura.fr/environnement/0/maladies-liées-a-Eau>).

1.2.5 Présentation de la décharge a ordure de Nkol Foulou

A la charge des collectivités, l'enlèvement et le traitement des ordures ménagères, dont la production est rythmée par l'accroissement de la population et l'urbanisation, sont au cœur de la stratégie urbaine de préservation de l'environnement (Bessala, 2003).

Pour mener à bien sa tâche de collecte et de transport des ordures ménagères, le service d'exploitation d'HYSACAM a subdivisé la ville en 40 circuits de collectes. Cette division prend en compte le découpage administratif de la ville (sept arrondissements), la densité des populations, le standing de vie, et surtout le pourcentage de voie carrossable. Cette sectorisation permet aujourd'hui à l'entreprise d'atteindre un taux de couverture estimé à 65-70 % dans la capitale

Le déploiement de plus de 1000 récipients de collecte de capacité respectives (360 L, 770 L, 6 m³, 16 m³), la mobilisation d'environ quatre vingt véhicules spécialisés à la typologie des voies (en majeure partie non bitumée) et surtout la mobilisation d'un effectif de 1000 hommes, travaillant en continu 24 h /24 et 7 j/7 permet à l'entreprise de collecter en moyenne 1000 tonnes d'ordures ménagère par jour. Ces ordures sont acheminées pour traitement à la Décharge Contrôlée de Nkol Foulou située à environ 12 Km de la capitale, sur la route de Soa (Département de la Mefou et Afamba). Cette décharge est entrée en exploitation depuis l'année 1998. Bien que le contrat d'exploitation de la décharge préconise la mise en décharge par enfouissement, le souci majeur de préservation de l'environnement impose de diversifier les techniques de traitement et de contrôler les effluents (Bessala, 2003).



Figure 1: Photo du CTD à proximité du fleuve

1.2.5.1 Localisation du CTD

Le CTD de Nkol Foulou se situe dans la commune de Soa sur la route

reliant cette commune à la ville de Yaoundé (figure 1). Les villages Nkol Foulou I et Nkol Foulou II et Nsan sont les deux villages les plus proches au CTD. Selon l'Institut National des Statistiques, la population de ces deux villages est passée de 539 habitants en 1987 (recensement de 1987) à 693 habitants dont 366 femmes et 327 hommes. Le niveau de vie de cette population est moyen à faible. La principale activité est l'agriculture, et la récolte des fruits tels que les bananes plantain et les fruits exotiques. (Zharani, 2006).

1.2.5.2 Climatologie

La ville de Yaoundé, se situe dans une zone de climat sub-équatorial à tendance tropicale. Il est doux toute l'année. Les températures varient entre 20 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.

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.

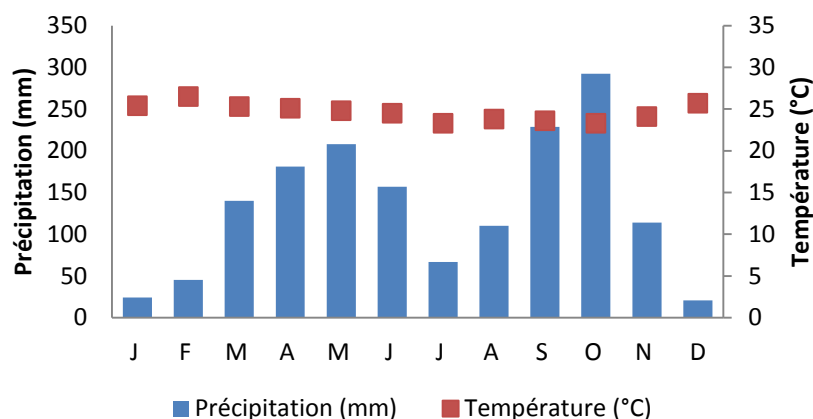


Figure 2: Répartition mensuelle des précipitations et des températures de la ville de Yaoundé (source station de Nkolbisson et station de l'aéroport militaire de Mvan, 2010-2012) (Mboe., 2012)

L'humidité relative de l'air ambiant a atteint une valeur maximum de 85 % au mois d'août avec un minimum de 72 % dans le même mois. (Zharani, 2006).

1.2.5.3 Hydrographie

Le site de Nkol Foulou est situé dans le bassin versant de la Foulou, avec un réseau hydrographique simple, composé de quelques affluents localisables (Ototong, Ebengui, Akoo, Voumndi, etc.). Ces affluents se transforment en torrents en période de grandes pluies. Plusieurs aménagements et constructions ont été réalisés dans le bassin de la Foulou tels que le CTD de Nkol Foulou, l'université de Yaoundé II à Soa, des routes et des quartiers résidentiels. La rivière Foulou s'écoule vers l'Afamba, qui se jette dans la Sanaga. Elle est le milieu récepteur des rejets hydriques de la décharge de Nkol Foulou et des eaux de ruissellement d'origine diverses (MINMEE, 2004).

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Ce chapitre présente les produits chimiques et les matériels utilisés, le plan d'échantillonnage, les techniques d'échantillonnages et d'analyses.

2.1 PRODUITS CHIMIQUES ET MATÉRIELS UTILISÉS

2.1.1 Produits chimiques

Les produits chimiques utilisés au cours de cette étude sont de qualités analytiques. Ils ont été utilisés sans purification préalable. Toutes les solutions ont été préparées avec de l'eau distillée à une température de 25 °C.

- L'acide chlorhydrique HCl;
- Le carbonate de sodium (Na_2CO_3);
- Solution d'indicateur de vert de bromocrésol- rouge de méthyle;
- Solution d'indicateur à la phénolphtaléine;
- Solution de thiosulfate de sodium C ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) $\approx 0,1 \text{ mol/l}$.

2.1.2 Verrerie et appareillage

Nous avons utilisés comme verrerie :

- ✓ les erlenmeyers de 250 mL ;
- ✓ les béchers de 100 mL ;
- ✓ une pipete graduée de 25 mL, 100 mL ;
- ✓ une pissette de 100 mL ;
- ✓ une fiole jaugée de 100 mL ;
- ✓ une fiole jaugée de 1000 mL ;
- ✓ une éprouvette graduée ;
- ✓ une burette graduée ;
- ✓ un erlenmeyer de 250 mL .

Les appareils utilisés dans ce travail sont notamment :

- ✓ un multimètre de type Hanna HI 9811-5 avec batterie intégré
- ✓ un oxymètre de type Aqualitic PCE-PHD1
- ✓ un turbidimètre de type Hanna AL250T-IR
- ✓ une balance électronique de marque AND GF-200 avec les caractéristiques suivantes : Max = 210 g ; Min = 0,02 g ; e = 0,001 g ; U = 12 V ; I = 0,3 A
- ✓ dispositif de filtration sous vide (pompe a vide, entonnoir buchner, papier filtre fiole a vide, tuyau de connexion)

2.2 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

2.2.1 Localisation du point de prélèvement

Les coordonnées GPS (Global Positioning System) de notre point de prélèvement sont : Latitude 03°55.408' Nord, Longitude 011° 34.15', d'altitude 647 m. Les échantillons ont été prélevés au point de rencontre entre un ruisseau contaminé par les lixiviats et la rivière Foulou.



Figure 3: Photographie de la zone d'échantillonnage

2.2.2 Fréquence de prélèvements

Nous avons effectués trois campagnes d'échantillonnage :

La première au mois d'octobre (fin saison de pluie), et les deux dernières au mois de Décembre et Janvier (saison sèche). L'étalement de l'étude au cours des saisons est donné par le tableau 4.

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

NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOUT	SEPT	OCT
<p>Légende :</p> <p> : Grande saison sèche</p> <p> : Petite saison des pluies</p> <p> : Petite saison sèche</p> <p> : Grande saison des pluies</p> <p> : Date de prélèvement</p>											

2.3 TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE

2.3.1 Prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été effectués manuellement, à l'aide d'une perche relié à son extrémité par un flacon de 500 mL.



Figure 4: Technique de prélèvement des échantillons.

2.3.2 Conditionnement, conservation et entreposage

Les échantillons ont été conditionnés dans des bouteilles en polyéthylène de capacité 1 L. Sur le terrain, avant le remplissage des bouteilles, celle-ci ont été étiquetés à l'aide d'un marqueur puis lavées trois fois avec l'échantillon à prélever. Le remplissage des bouteilles a été fait à ras le bord puis le bouchon vissé pour éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère. Les échantillons ont été conservés dans une glacière contenant des morceaux de glaces, pour éviter le développement des microorganismes, puis transporté au laboratoire de chimie des matériaux de l'E.N.S. de Yaoundé et stocké au réfrigérateur avant d'être analysé .

2.3.3 Méthode d'analyse

2.3.3.1 Paramètres organoleptiques

a) La turbidité

La détermination de la turbidité des échantillons d'eaux a été effectuée directement sur le site à l'aide d'un turbidimètre de type Aqualitic AL250T-IR. Nous avons prélevé l'eau au point de rencontre entre un ruisseau contaminé par

les lixiviats et la rivière Foulou, nous l'avons par la suite introduit dans un flacon préalablement rincé avec notre échantillon, introduit dans l'espace prévu à cet effet. La lecture de la valeur numérique de la turbidité a été faite, puis noté dans un cahier prévu à cet effet.

2.3.3.2 Paramètres physico-chimiques

a) Potentiel d'hydrogène (pH), Conductivité, Température, Sels totaux dissous.

La détermination du pH, la conductivité, la température, les sels totaux dissous des échantillons d'eaux a été effectuée directement sur le site à l'aide d'un multimètre Hanna de type HI 9811-5. Nous avons immergé l'électrode de notre multimètre dans la rivière, au point de rencontre entre un ruisseau contaminé par les lixiviats et la rivière Foulou, après stabilisation, la lecture de la valeur numérique du paramètre voulu a été faite puis notée dans un cahier prévu à cet effet.

b) L'oxygène total dissous

La détermination de l'oxygène total dissous des échantillons d'eaux a été effectuée directement sur le site à l'aide de l'oxymètre de type Aqualitc PCE-PHD1. Nous avons immergé l'électrode de l'oxymètre dans la rivière, au point de rencontre entre un ruisseau contaminé par les lixiviats et le fleuve Foulou, après stabilisation, la lecture de la valeur numérique de l'oxygène dissous de la solution a été faite puis notée dans un cahier prévu à cet effet. À la fin de la manipulation l'oxymètre a été rincé à l'eau distillé.

c) 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^+ . 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. Elle a été déterminée grâce à un dosage volumétrique.

➤ 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.

➤ 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 $C(\text{Na}_2\text{CO}_3) \approx 0,025 \text{ mol/L}$

Sécher 3 g à 5 g de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 250 °C pendant 4 h. 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 $C_{(\text{HCl})} \approx 0,10 \text{ mol/L}$

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.

➤ Étalonnage

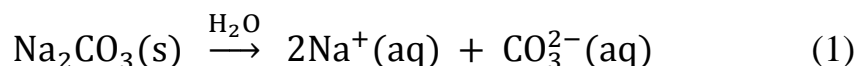
L'étalonnage de cette solution s'est fait en utilisant une détection visuelle du point de virage.

• **Protocole**

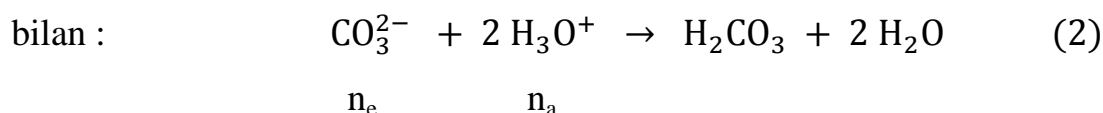
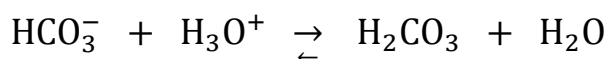
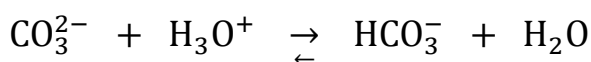
- Introduire à l'aide d'une pipette un volume $V_e = 25$ mL d'une solution de carbonate de sodium à $0,025$ mol/l dans un erlenmeyer de 250 mL
- Ajouter 75 mL d'eau distillée et 3 gouttes de solution indicatrice de vert de bromocrésol- rouge de méthyle
- Titrer avec la solution d'acide chlorhydrique 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.



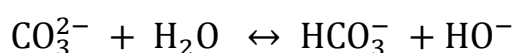
D'après les relations mole à mole, on a :

$$n_e = \frac{n_a}{2} \quad (3)$$

d'où :

$$C_e V_e = \frac{C_A (V_A - V'_A)}{2} \quad (4)$$

V'_A étant le volume utilisé pour doser les ions HO^- provenant de la dissolution dans l'eau du carbonate de sodium :



or
$$C_e = \frac{m_e}{MV_T} \cdot \quad (4')$$

Mettons (4') dans (4) on obtient :

$$C_A = \frac{2m_e V_e}{MV_T(V_A - V'_A)} \quad (5)$$

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 :

$$C_A = \frac{m_e V_e}{53(V_A - V'_A)} \quad (6)$$

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 (mL)

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

V'_A = volume d'acide versé lors du titrage à blanc(mL)

➤ Dosages des échantillons

• Protocole

- éliminer 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_0) 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.

• Expression des résultats

L'alcalinité totale est donnée par la formule :

$$A_T = \frac{C_A \times V_{HCl} \times 1000}{V_o} \quad (7)$$

Où A_T = capacité à réagir avec les ions H^+ , exprimée en mmol/L

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

V_o = volume en mL de la prise d'essai ($V_o = 100$ mL)

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

d) La matière en suspension.

Elle a été déterminée au laboratoire de chimie des matériaux de l'E.N.S. de Yaoundé par filtration sous vide. La méthode est la suivante :

- monter le dispositif de la filtration sous vide, découper le papier filtre et l'introduire dans l'entonnoir ;
- prélever 50 mL de l'échantillon ;
- mettre le dispositif en marche, et commencer la filtration ;
- une fois la filtration terminer, l'aide d'une spatule, enlever le papier filtre contenant notre matière en suspension en l'introduire ainsi que notre papier filtre témoin dans l'étuve réglé à 112 °C
- sortir après un certain temps nos deux papiers filtres de l'étuve et pesé pour déterminer les masses

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

$$C_{MES} = \frac{M1 - M0}{V} \quad (8)$$

avec :

C_{MES} = concentration de la MES en milligramme par litre mg/L

M_1 = masse du papier filtre après filtration (mg)

M_0 = masse du papier filtre témoin en milligramme (mg)

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

e) Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle a été déterminée via Méthode de dosage de la DCO en tubes fermés ou micro méthode de digestion effectué au laboratoire Irina Environnement située au carrefour Obili dans la ville de Yaoundé.

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. L'originalité de cette méthode repose sur l'utilisation de tubes fermés prêts à l'emploi. La détermination de la DCO à l'aide de ces tubes est d'une extrême simplicité : tous les réactifs nécessaires sont pré dosés 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.

- **Principe**

Cette méthode est connue sous le nom de micro méthode de digestion ou méthode par colorimétrie au dichromate à reflux fermé. 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.

- **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

2.3.3.4 Paramètre biologique

a) Demande biochimique en oxygène(DBO₅)

La détermination de la demande biochimique en oxygène s'est faite au laboratoire de biotechnologie végétal et environnement de l'université de Yaoundé 1, par la méthode dite «manométrique» à l'aide d'un appareil à DBO₅ de marque Hach (model 2173B). Des bouteilles à DBO₅, contenant des volumes de 164 mL d'eaux usées pour l'entrée et 250 mL pour la gaine de prélèvement et l'exutoire, auquel est ajouté un tampon nutritif pour DBO₅, sont incubées pendant 5 jours consécutifs à la température de 20 °C. Pendant cette période, 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 CO₂. Celui-ci est fixé par les cristaux d'hydroxyde de potassium (présents dans la cupule placée à la tête de chaque bouteille appelée Oxitop). La valeur de la DBO₅ est lue directement sur l'Oxitop. Elle s'exprime en mg/L.

**CHAPITRE III :
RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Les résultats des différents paramètres organoleptiques, physico chimique et biologique en fonction des saisons et des mois de l'année sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Présentation des résultats

Paramètres	Unités	Octobre 2015 (saison pluie)	Décembre 2015 (saison sèche)	Janvier 2016 (saison sèche)	Norme de rejets des eaux au Cameroun
Heure de prélèvement		09h52	17h42	16h15	
Odeur		nauséabonde	-	-	-
Couleur		noire	Marron claire	marron	-
Turbidité	NTU	744	166	514	5
pH		7,6	6,9	7	6-9
Conductivité	µS/cm	1750	140	380	<400
Température	°C	25,2	23,7	25,1	30
STD	mg/L	1060	60	180	-
Oxygène dissous	mg/L	6,1	11,2	7,8	-
MES	mg/L	900	540	320	40
Alcalinité totale	Mmol/L	15,19	7,84	1,157	-
DBO₅	mg/L	730	620	210	<100
DCO	mg/L	379	372	33	<30

Remarque : Les valeurs en rouge sont celles qui sont au dessus de la norme Camerounaise des eaux de rejets.

3.1 PARAMÈTRES ORGANOLEPTIQUES

3.1.1 Couleur

Au mois d'octobre (saison de pluie), l'eau avait une coloration noire, au mois de décembre et janvier (saison sèche), l'eau avait une coloration marron. Cette coloration observée en saison de pluie pourrait être expliquée par la présence des lixiviats dans l'eau, tandis qu'en saison sèche la coloration marron s'explique par la présence des matières en suspension dans l'eau probablement due aux activités anthropiques qui se déroulent en amont de cette rivière.

3.1.2 Odeur

Au mois d'octobre (saison de pluie), l'eau avait une odeur nauséabonde, tandis qu'au mois de décembre et janvier (saison sèche), l'odeur de l'eau n'était pas perceptible. Cette odeur nauséabonde en saison de pluie serait due à la décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

3.1.3 Turbidité

La variation de la turbidité de l'eau de la rivière en différentes saisons est représentée par la figure 5.

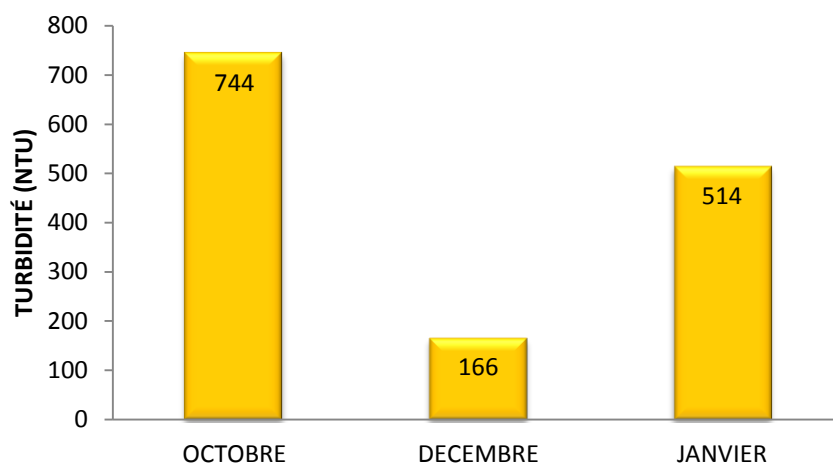


Figure 5 : Évolution de la turbidité en fonction des saisons

On constate une turbidité élevée pour le mois d'octobre (saison pluvieuse) et de janvier (saison sèche), respectivement de 744 NTU et 514 NTU et une valeur faible au mois de décembre (saison sèche) de 166 NTU. Cette valeur observée en saison de pluie est due aux eaux de ruissellement qui lessivent tous les matériaux présents à la surface et les amènent dans l'eau et aussi à la présence des lixiviats au point de rencontre entre le ruisseau et la rivière. En saison sèche (mois de décembre et janvier) il y a moins de matériaux qui entrent dans l'eau. Cependant cette valeur élevée constatée au mois de janvier est due à l'action des creuseurs de sable situés en amont de la rivière. Les valeurs obtenues sont supérieures aux normes camerounaises des eaux de rejets qui stipulent que la valeur de la turbidité doit être de 5 NTU.

3.2. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

3.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

La variation du pH de l'eau de la rivière en différentes saisons est représentée par la figure 6.

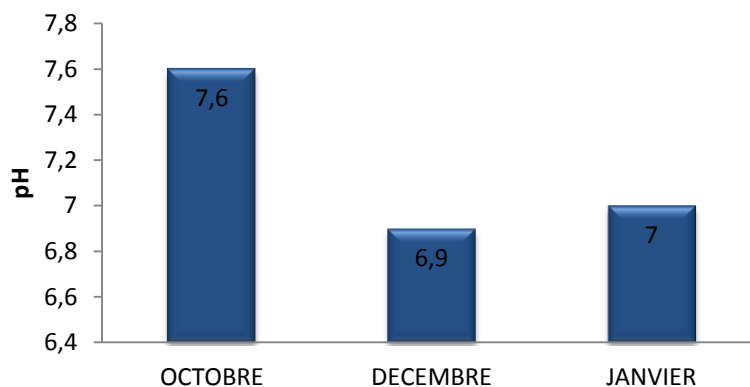


Figure 6: Évolution du pH en fonction des saisons

On note une variation du pH d'une saison à une autre. Ces valeurs 7,6 pour le mois d'octobre (saison de pluie), et 6,9 et de 7 respectivement en décembre et en janvier (saison sèche), expriment une légère basicité du milieu, une légère acidité du milieu et une neutralité de l'eau. La basicité de l'eau observée en saison pluvieuse peut être expliquée par la présence des lixiviats dans l'eau. Ces valeurs comparées à celle des normes camerounaises des eaux de rejets pour laquelle le pH est compris entre 6-9, permet de conclure que les valeurs obtenues sont dans la limite du tolérable. Ces valeurs de pH n'ont aucune incidence sur la vie aquatique.

3.2.2 Conductivité (EC)

La variation de la conductivité de l'eau de la rivière en différentes saisons est représentée par la figure 7.

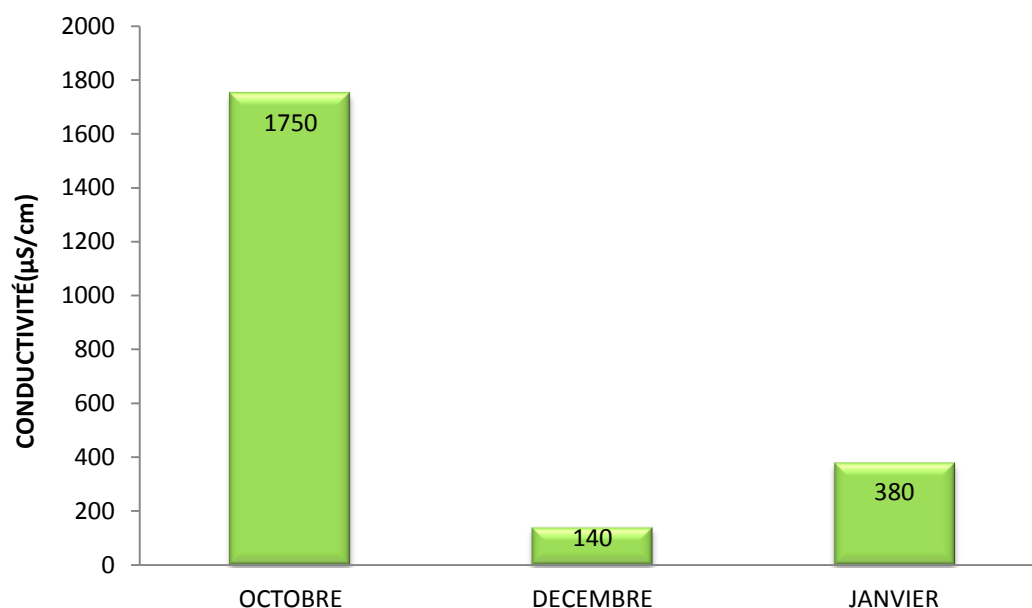


Figure 7: Évolution de la conductivité en fonction des saisons

Nous avons obtenus la valeur la plus élevée au mois d'octobre (saison de pluie) 1750 µS/cm contre 140 µS/cm et 380 µS/cm en Décembre et en Janvier (saison sèche). Cette valeur élevée de la conductivité s'explique par le fait qu'en saison de pluie, le torrent apporte des ions dans l'eau d'une part et d'autre part aussi nous avons remarqué qu'en Octobre, l'entreprise est en pleine activité d'où la présence excessive de lixiviats contenus dans le ruisseau et qui se jette dans la rivière, ce qui n'est pas le cas en saison sèche car en décembre une petite quantité de lixiviats entre dans l'eau et est beaucoup diluée d'où la faible valeur de conductivité en Décembre. La valeur obtenue au mois d'octobre est très supérieure comparée à la norme camerounaise des eaux de rejets qui stipule que la valeur de la conductivité doit être inférieure à 400 µS/cm.

3.2.3 Sels totaux dissous (STD)

La variation des STD de l'eau de la rivière en différentes saisons est représentée par la figure 8.

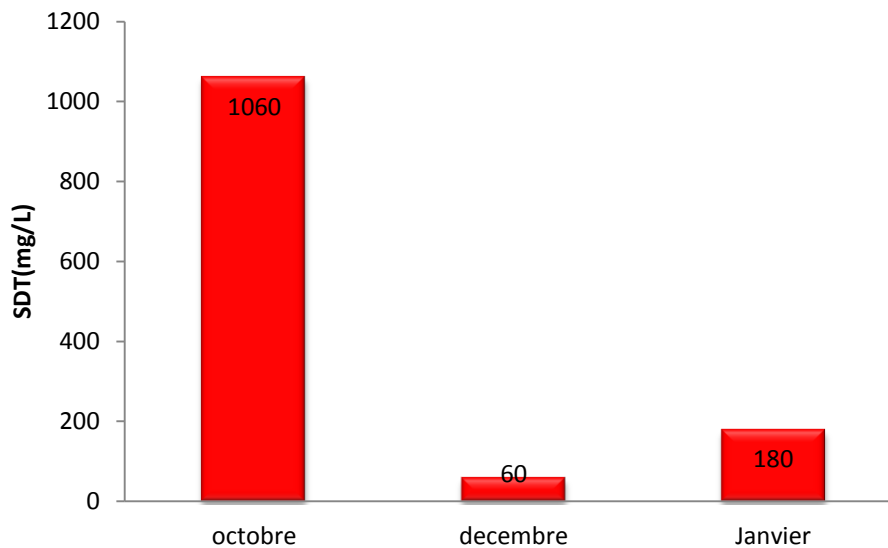


Figure 8 : Évolution de la STD en fonction des saisons

Les STD renseignent sur la teneur en sels de l'eau. On constate que la valeur la plus élevée obtenue sur le site est celle du mois d'Octobre (saison pluvieuse) qui est de 1060 mg/L, cette valeur décroît par la suite on a les valeurs 60 mg/L et 180 mg/L respectivement pour les mois de Décembre et Janvier (saison sèche). En saison pluvieuse les eaux de ruissellement issues de la décharge et des eaux environnantes, apportent beaucoup plus de lixivants dans l'eau, ce qui va augmenter les STD de l'eau et la faible valeur en saison sèche cela peut être due au fait que les torrents n'entre plus dans la rivière.

Remarque : Il existe une relation entre les STD et la conductivité.

Les sels totaux dissous et la conductivité, varient de la même manière. Lorsque la conductivité croît, les STD augmentent également et inversement car lorsqu'une eau contient beaucoup de solides totaux dissous, sa conductivité aussi est élevée et cela se montre par la figure 9.

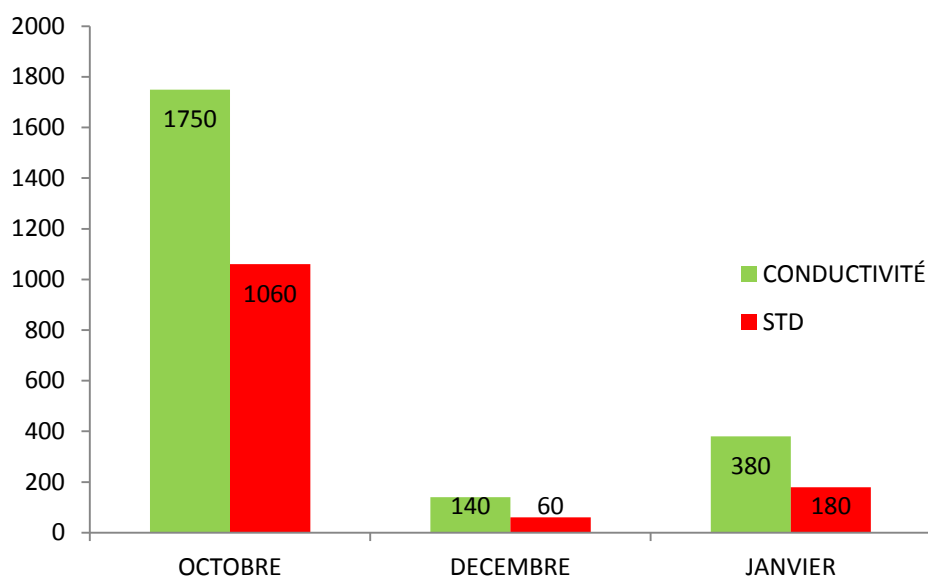


Figure 9 : Relation entre la conductivité et les solides totaux dissous

3.2.4 Température (T)

La variation de la température de l'eau de la rivière en différentes saisons est représentée par la figure 10.

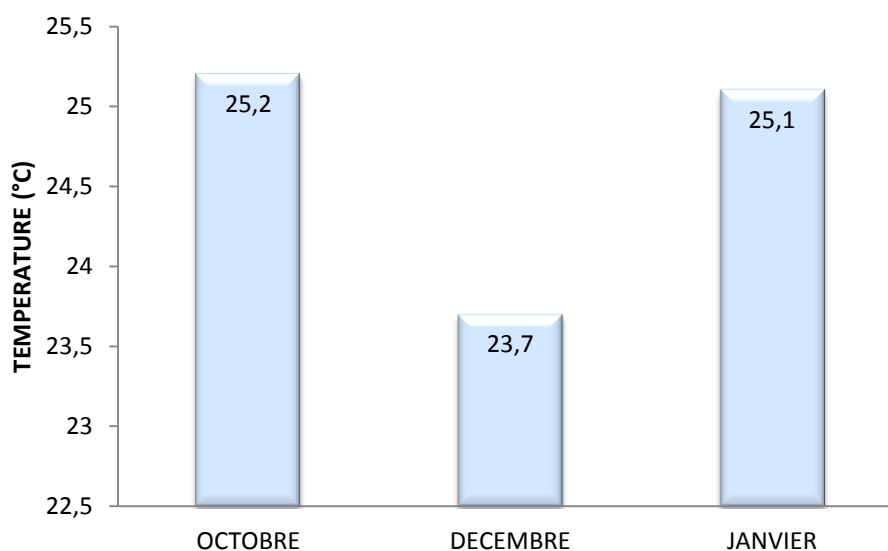


Figure 10 : Évolution de la température en fonction des saisons

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de

même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (WHO, 1987). En Octobre (saison pluvieuse) on obtient une valeur de température de 25,2 °C , en Décembre (saison sèche) on obtient une valeur de température de 23,7 °C , en Janvier (saison sèche) on obtient une valeur de température de 25,1 °C et bien que les mesures soient effectuées sur des eaux à 30 cm de la surface, les différentes températures enregistrées se situent dans la zone tolérée par les espèces aquatiques selon la norme camerounaise des eaux de rejets qui est de 30 °C. Notons que, pour se reproduire, certaines espèces à l'instar des tilapias, ont besoin d'une température d'au moins 20 °C (Corvi , 2005). On en déduit donc que la température des eaux de la rivière est favorable à la vie de ces poissons.

3.2.5 Oxygène dissous

La variation de l'oxygène dissous en différentes saisons est représentée par la figure 11.

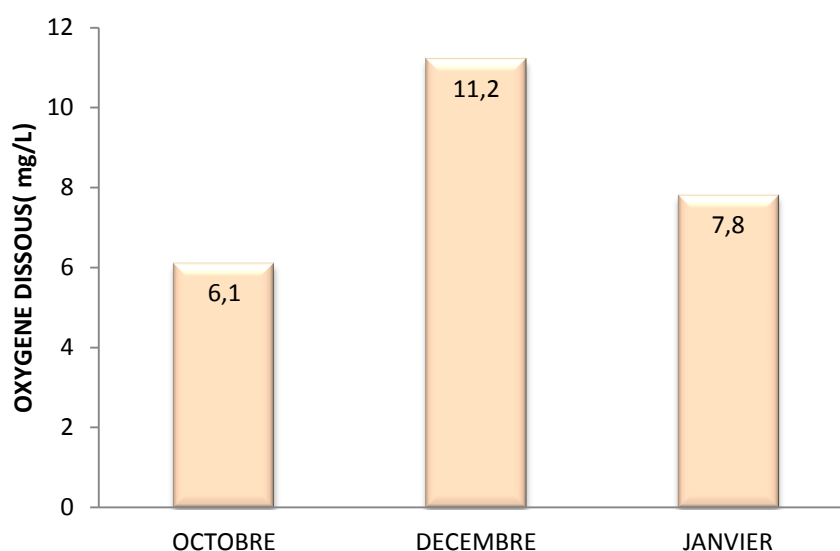


Figure 11 : Évolution de l'oxygène dissous en fonction des saisons

On obtient des valeurs de 6,1 mg/L et 7,8 mg/L respectivement pour le mois de Octobre (saison pluvieuse) et Janvier (saison sèche) et 11,2 mg/L au mois de Décembre (saison sèche). La valeur élevée d'oxygène dissous peut être due à l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques qui se déroule dans l'eau et plus la température d'une eau est élevée, plus la valeur de l'oxygène dissous dans cette eau est faible. Les valeurs faibles d'oxygène dissous s'expliquent par 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. Ces valeurs sont supérieures à celle des normes pour la vie aquatique selon MDDEFP (2013) qui varie de 5-8.

3.2.6 Matières en suspension (MES)

La variation de la MES en différentes saisons est représentée par la figure 12.

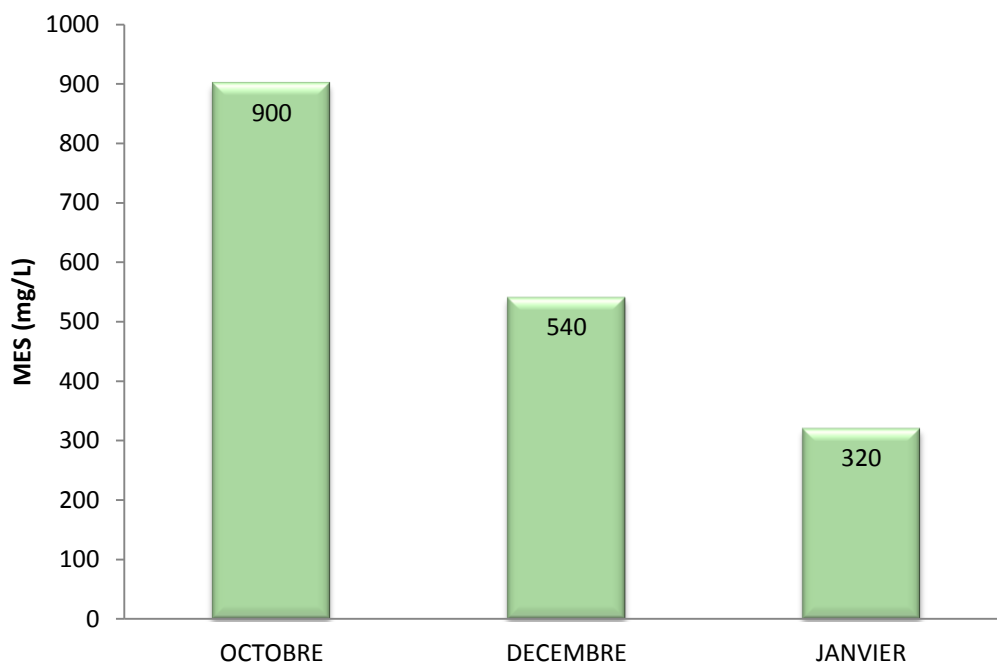


Figure 12 : Évolution de la MES en fonction des saisons

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et Organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains Traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de La nature des rejets, etc. (Rodier, 1996). On constate des valeurs élevés pour le mois d'Octobre (saison pluie) et de Janvier (saison sèche) soit respectivement 900 mg/L et 320 mg/L et une valeur moyenne pour le mois de Décembre est de 540 mg/L. Cette valeur élevée obtenue au mois d'Octobre (saison pluvieuse), pourrait être due au fait que les pluies abondantes conduisent à de très forte érosions de terrains, mais aussi cela pourrait être due à l'activité des creuseurs de sable situé en amont de la rivière, et aussi on se trouve au point de mélange du lixiviats avec la rivière ce dernier comportant la MES. Ces valeurs sont par ailleurs très grandes comparé à la norme camerounaise des eaux de rejets qui stipule que la valeur de la matière en suspension doit être de 40 mg/L.

3.2.7 Alcalinité(A_T)

La variation de l'alcalinité en différentes saisons est représentée par la figure 13.

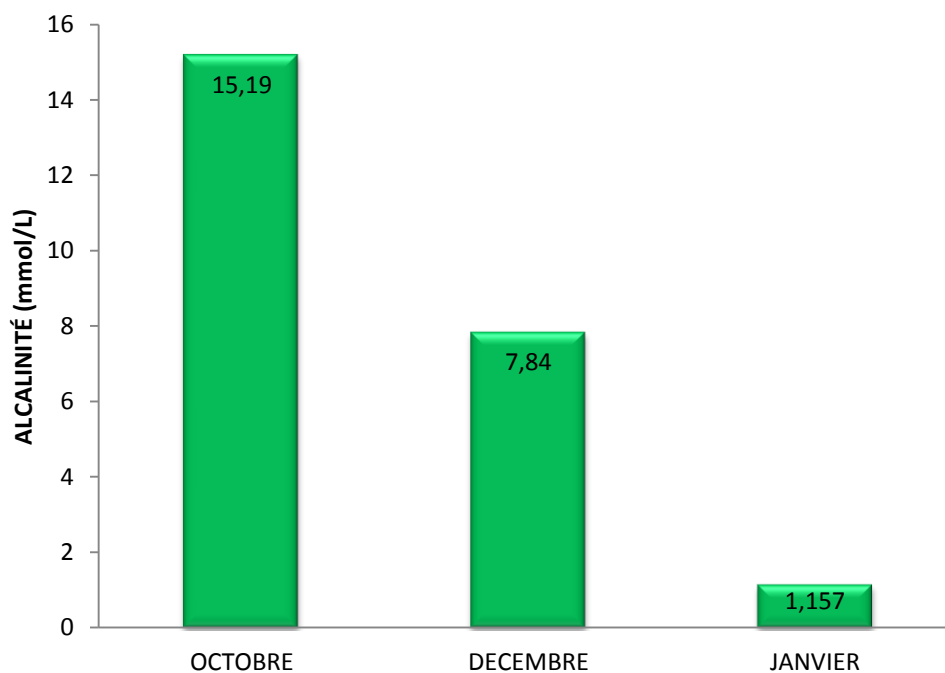


Figure 13: Évolution de l'alcalinité en fonction des saisons

C'est la quantité totale de base dans l'eau. Ces bases pouvant être des hydroxydes de carbonates, des bicarbonates. On constate que l'alcalinité est très élevée pour le mois d'Octobre 15,19 mmol/L, puis diminue au mois de Décembre 7,84 mmol/L et est très basse pour le mois de Janvier 1,157 mmol/L. La valeur élevée de l'alcalinité est due à la présence des ions carbonates contenus dans les lixiviats et qui entrent dans la rivière mais aussi des eaux de ruissellement qui apportent des substances dans l'eau.

3.2.8 Demande chimique en oxygène (DCO)

La variation de la DCO en différentes saisons est représentée par la figure 15.

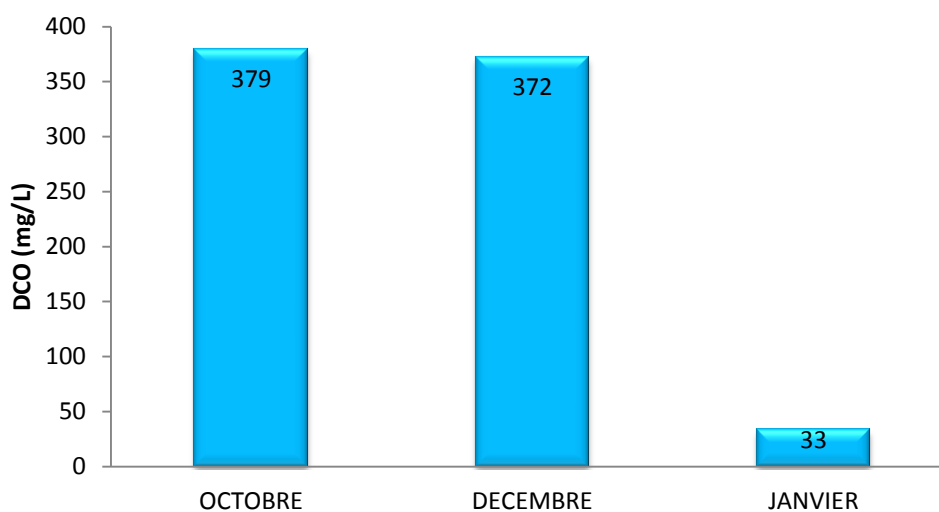


Figure 14 : Évolution de la DCO en fonction des saisons

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité consommée par les matières oxydantes présentes dans l'eau quelles que soit leur origine organique ou minérale. On constate des valeurs élevées de DCO pour le mois de Octobre et de Décembre respectivement 379 mg/L et 372 mg/L, et cette valeur

chute à 33 mg/L au mois de Janvier.ces valeurs corresponde à une forte teneur de matière organique présente dans cette rivière riche en carbone. Tandis qu'en saison sèche il ya pas trop de matière organique dans l'eau ces valeurs sont supérieure au nome camerounaise des eaux de rejets qui stipule que la DCO doit être inférieure à 30 mg/L.

3.3 PARAMÈTRE BIOLOGIQUE

3.3.1 Demande biochimique en oxygène(DBO_5)

La variation de DBO_5 en différentes saisons est représentée par la figure 14.

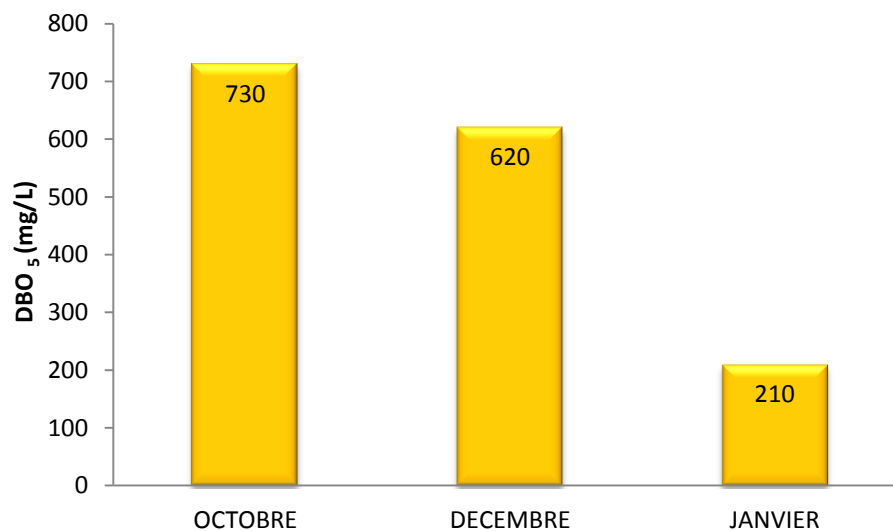


Figure 15 : Évolution de la DBO_5 en fonction des saisons

Nous avons des valeurs élevées 730 mg/L et 620 mg/L pour le mois d'Octobre (saison pluvieuse) et de Décembre (saison sèche), et une valeur basse de 210 mg/L pour le mois de Janvier (saison sèche). Ceci peut s'expliquer par la présence en grande quantité de matière organique biodégradable dans l'eau tel que le feuillage, les troncs d'arbre, et même les animaux morts, provenant des eaux ruissellent qui lessivent les matériaux présent à la surface et les amènent

dans l'eau. Ces valeurs sont supérieures comparé à la norme camerounaise des eaux de rejets qui stipule que la DBO_5 doit être inférieure à 100 mg/L.

➤ Relation entre DBO_5 ET DCO

La figure 16 montre l'évolution de la DBO_5 et la DCO. On peut constater que lorsque la DBO_5 croît, la DCO croît également car elle contient le carbone, et on trouve le carbone dans beaucoup de Substance organique présent dans le centre de traitement des déchets, mais aussi la DBO contient la matière organique.

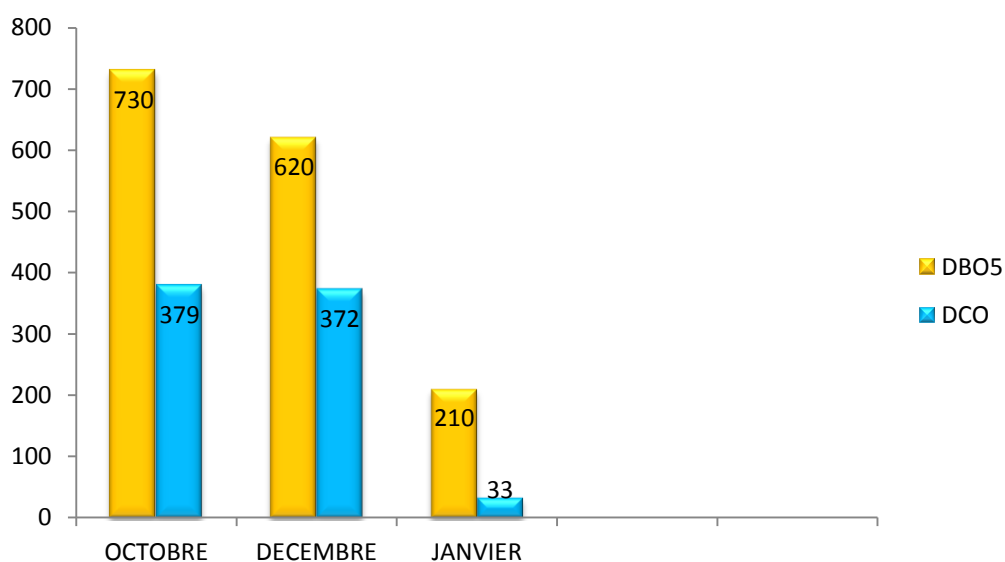


Figure 16: Relation entre DBO_5 et DCO

INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE

Notre étude dont l'objectif était d'évaluer l'impact du centre de traitement des déchets de Nkol Foulou sur la qualité de l'eau de la rivière foulou en bordure du dit centre, m'as permis en tant que future enseignante :

- ❖ d'assimiler certaines techniques de laboratoire tels que : les pesées, la filtration sous vide, la préparation des solutions, les méthodes de caractérisations de certains composés qui nous permettrons de mieux expliquer à nos élèves les différents modes de préparation des solutions et de mieux appréhender les exercices de types expérimentaux donnés lors des contrôles en classe et des examens officiels.
- ❖ de connaître un grand nombre de techniques analytiques qui m'aideront lors des travaux pratiques au lycée.
- ❖ de mieux sensibiliser les apprenants sur les dangers de la pollution, l'impact de la pollution sur la santé et l'environnement, ceci au travers des activités que nous mènerons et de la documentation pendant nos enseignements.

**CONCLUSION GÉNÉRALE ET
PERSPECTIVES**

À l'issue de notre étude, il était question pour nous de localiser le centre de traitement des déchets, d'effectuer les prélèvements sur l'eau en bordure de ce centre de traitements de déchets, de réaliser des analyses organoleptiques, physico-chimiques et biologique sur cette eau et comparer les résultats obtenus avec les normes camerounaises des eaux de rejets.

Des résultats obtenus il ressort que :

- Le centre de traitements de déchets a pu être localisé et ses coordonnées géographiques sont : Latitude 03°55.408' Nord, Longitude 011° 34.15', d'altitude 647 m.
- les prélèvements ont été effectués en utilisant la méthode manuelle ;
- les analyses sur les trois groupes de paramètres ont été réalisées, d'autre in situ pour éviter l'évolution des micro-organismes et d'autre au laboratoire.
- les paramètres organoleptiques (la turbidité), physico- chimiques (pH, conductivité, TDS, température, oxygène dissous, MES, alcalinité et DCO) et biologique (DBO₅) obtenus ont montrés que la conductivité, la MES, la DCO, la DBO₅, la turbidité ne respectent pas les normes de rejets des eaux camerounaises alors que pH et température les respectent.

Étant donné que seules les valeurs de pH et de température respectent les normes camerounaises, on peut conclure que la rivière Foulou est très polluée par les substances organiques et inorganiques et que cette pollution s'étend également vers l'aval du fleuve. La pollution observée est due au Centre de Traitement des Déchets situé en bordure du point de prélèvement de l'eau de cette rivière, et plus, précisément, des lixiviats qui contaminent le ruisseau d'eau qui se jette dans la rivière Foulou, ce qui ne sera bien sûr pas sans conséquence sur la santé des habitants autour de cette décharge et sur la faune et la flore aquatique.

Tant que la charge polluante n'est pas trop élevée, la rivière sera capable de s'auto épurer grâce aux microorganismes présents dans l'eau, ce processus a besoin de temps et de distance pour se produire. Il serait plus qu'important que les autorités en charge du centre de traitement des déchets prennent des mesures qui garantissent la protection de la faune et la flore et par la même occasion assurent la santé des populations.

➤ **Perspectives :**

Ce travail pourrait faire l'objet d'étude ultérieure en se basant sur des aspects non approfondis dans notre travail, tels que :

- l'analyse des anions et cations majeurs ;
- l'analyse des métaux lourds ;
- les analyses microbiologiques ;
- comparer les résultats avec ceux obtenus en amont et en aval du centre de traitement des déchets.

➤ **Recommandations :**

- La sensibilisation de la population sur les risques encourus en utilisant l'eau de cette rivière ;
- HYSACAM doit optimiser les systèmes de traitement des lixiviats et valoriser les déchets en transformant ces derniers en source d'énergie ;
- le Ministère de l'environnement doit mettre en place un système d'inspection et de contrôle permanent, permettant de veiller à la mise en application du respect des normes pour les eaux de rejets, et également encourager le recyclage des déchets.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Banton O., Baongoy L. M. (1997)** (Hydrogéologie : multisciences environnementale des eaux souterraines. Presse de l'université du Québec (Canada) : AUPELF-UREF. 460pp
- 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) 6p.
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., (2002)** Pollution toxique et écotoxicologie : notions de base. Guide technique nO 7, Bassin de Rhone-Méditerranée-Corse, Paris, France. 83p
- Corvi C., Zimmerli P., Ortelli D., Khim-Heang., Becker V. (2005)** Métaux et micropolluants organiques dans les eaux : les moules et les poissons du Léman. Rapp. Comm. int. prot. Eaux Léman contre pollution, 55-78.
- Diabaté M.(2010)** Déchets ménagers : impact sur la santé et l'environnement en commune I du district de Bamako: cas de Banconi. Mémoire présenté en vue de l'obtention d'une Maîtrise en Géographie, Université de Bamako, Mali.
- El-fadel M., Findikakis A. N., Kekei J. O. (1997)** Modeling leachate generation and transport in solid waste landfills. Environmental technology, 18, 669-686.
- Environnement, Risque & Santé. (2002)**Volume 1, Numéro 1.42-9.
- Howandken W. F., Eyles N., Livingstone S. (1996)** Municipal landfill practice and impact on groundwater resources in and around urban Toronto. Canada. Hydrogeol. J., 4, n°1.64-69.
- Laminsa S. (2014)** Cours chimie de l'environnement, Master 2, Université de Yaoundé 1.
- Leynaud G. (1968)** Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- Le Pimpec. P. (2002)** Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatique. Pollution des milieux aquatiques, Edition Cemagref ,83p.

- Maiga A. S. (2005)** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière. Thèse de Doctorat Université de Bamako, Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto Stomatologie, Mali.
- Matter J. D., Young C. P. (1979)** Recherches actuelles sur la pollution des eaux souterraines par les décharges. Bulletins du B.R.G.M., série 2, Section III, n°3, 233-234.
- Merabet S.(2010)** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université Mentouri de Constantine. pp 4, 5,9.
- MINMEE. (2004)** Evaluation des impacts environnementaux de la décharge contrôlée de Nkol foulou (SOA). Yaoundé : Ministère des Mines de l'Eau et de l'Energie, 62 p.
- MINEP. (2009)** Normes environnementales et procédures d'inspection des installations industrielles et commerciales au Cameroun, Ministère de l'Environnement et la Protection de la Nature, Cameroun, République du Cameroun, 116 p., Disponible sur <http://www.minep.gov.cm>.
- Nkot O.F. (2015)** Evaluation du niveau actuel de pollution du lac municipal de Yaoundé par les métaux lourds. Mémoire de DIPES II. École Normale Supérieure de Yaoundé.36p
- Ragle N., Kissel J., Ongerth J.E., Dewalle F.B. (1995)** Composition and Variability of leachate from recent and aged areas with in a municipal land fill, Water Environ. Res., 67, n°1, 238-243.
- Robert M. (1996)** Le sol. Interface pour l'Environnement - Ressource pour le Développement. Edition Masson, Paris, France, p.242.
- Payne A.I. (1986)** The ecology of tropical lakes and rivers. Great Britain: John Wiley&sons Ltd. 301p.
- Thonarth Ph., Steyer E., Driou R., Hiligsmann S. (1997)** La gestion biologique d'une décharge, Tribune de l'eau N° 590/591
- Waterton T. (1969)** the effect of tipped domestic refuse on groundwater quality. water treat. exam., 18. 15-69.

W.H.O. (1987) Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP,22p.

W.H.O. (2003) Guidelines for drinking water quality: Total dissolved solids in drinking-water-world health sanitation organization, 8p. disponible sur [http://www.WHO.int/water sanitation health/dwq/chemical/tds.pdf](http://www.WHO.int/water_sanitation_health/dwq/chemical/tds.pdf). (Consulté le 25 juin 2015)

Zahrani F. (2006) Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockages des déchets dans les pays en développement .Application à deux CSD :Nkol Foulou(Cameroun) et Essaouira(Maroc) ,thèse de doctorat, INSA de Lyon, École Doctorale de Chimie de Lyon, 281p.

[http:// www. 5types de pollutions.html](http://www.5typesdepollutions.html). Consulté le 6 juillet 2015 à 11h02min

<http://www.vedura.fr/environnement/0/maladies-liées-a-Eau>.consulté le 6juillet 2015 à 9h20 min

<http://www.consoglobe.com/eau-polluée-danger-santé-4362-cg>.consulté le 6 juillet 2015 à 10h30 min

[http://www.lentech.fr/applications/potable/normes-oms-eau-potable.html #iyzz3Dq](http://www.lentech.fr/applications/potable/normes-oms-eau-potable.html#iyzz3Dq) . Consulté le 15 juin 2015 à 15h01 min

<http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/principaux-parametres-de-caracterisation-de-la-a187.html>, consulté le 7 Juillet 2015, mis à jour le 09 Septembre 2010

ANNEXES :
PHOTO DES APPAREILS ET DU SITE



Figure 17 : Multimètre pH/conductivité/sels totaux dissous/température, Hanna HI9811-5



Figure 18 : Turbidimètre, Hanna



Figure 19 : Lixiviats issus du centre de traitements



Figure 20 : Matériel de récupération