



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2018-2019

N° D'ORDRE : 0244 / 2020

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0414002618

LABORATOIRE :

Sciences et Technologie
de l'Environnement
(LSTE)

Soutenu publiquement

le : 08 / 06 / 2020

MASTER

Physique Chimie Appliquée

Option : Environnement

THEME :

**Evaluation de la performance du système de
production d'eau potable de la commune de
Daloa, Côte d'Ivoire**

Présenté par :

KEITA Lansané

JURY

Président : M. KONAN-WAIDHET Arthur Brice, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. KOUYATE Amadou, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. EBLIN Sampah Georges, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	I
DEDICACE.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	VI
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES FIGURES.....	IX
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1 : GENERALITES	4
1.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	5
1.2. GENERALITES SUR LES EAUX DE SURFACE.....	7
1.2.1. Définition des eaux de surface.....	7
1.2.2. Qualité chimique des eaux de surface.....	7
1.2.3. Pollution des eaux de surface.....	7
1.2.3.1. Pollution domestique.....	7
1.2.3.2. Pollution agricole	8
1.2.3.3. Pollution urbaine et industrielle	8
1.2.4. Paramètres caractéristiques de la qualité chimique des eaux de surface	8
1.2.4.1. Propriétés organoleptiques	8
1.2.4.2. Paramètres chimiques étudiés	9
1.2.4.2.1. Potentiel d'Hydrogène.....	9
1.2.4.2.2. Oxygène dissous	9
1.2.4.2.3. Ions majeurs.....	9
1.2.4.2.4. Sels nutritifs.....	11
1.2.4.2.5. Métaux lourds	12
1.3. SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU POTABLE	13
1.3.1. Eau potable.....	13

1.3.2. Directives de l'OMS pour l'eau potable	13
1.3.3. Etapes du traitement de l'eau de Daloa.....	14
1.3.3.1. Captage.....	14
1.3.3.2. Station de traitement.....	15
1.4. SITUATION DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA ZONE D'ETUDE	18
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES	20
2.1. MATERIEL	21
2.1.1. Matériel de prélèvement des échantillons d'eau	21
2.1.2. Verrerie	21
2.1.3. Matériel de mesure et de dosage de la qualité chimique de l'eau.....	21
2.2. METHODES.....	21
2.2.1. Choix des sites et période de prélèvement des échantillons	21
2.2.2. Méthode d'échantillonnage.....	22
2.2.3. Mesures et analyses des paramètres de qualité chimique de l'eau	23
2.2.3.1. Mesures in-situ	23
2.2.3.2. Analyse au laboratoire.....	24
2.2.4. Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux de la rivière.....	24
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	26
3.1. RESULTATS.....	27
3.1.1. Paramètres chimiques	27
3.1.1.1. Potentiel d'Hydrogène.....	30
3.1.1.2. Oxygène dissous.....	30
3.1.1.3. Ions majeurs	31
3.1.1.4. Sels nutritifs.....	33
3.1.1.5. Métaux lourds.....	35
3.2. DISCUSSION.....	36
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	44
BIBLIOGRAPHIE	46

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mon très cher père qui a guidé mes premiers pas à l'école, qui fut tout au long de sa vie le soutien des tiens, tu me manqueras toujours ; que la paix soit avec toi dans la maison de l'éternelle.

A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a tout donné, qui a toujours été là pour moi, à celle qui tient le paradis sous ses pieds, à mon ange « ma mère » que Dieu te donne la santé et une longue vie.

A mes frères et sœurs

A mes oncles

A toute ma grande famille, un peu partout dans le monde

A mes tuteurs

A mes chers amis

Pour tous ceux que j'aime.

REMERCIEMENTS

Avant tout je remercie Dieu le Tout Puissant, le miséricordieux de m'avoir accordé les moyens, le courage et la patience pour réaliser cette étude ; et surtout de m'avoir permis de rencontrer les personnes ressources.

Ce document porte le nom d'une personne mais, il n'aurait pas vu le jour s'il n'y avait pas eu la contribution de certaines personnes que je tiens à remercier.

*Je tiens à remercier le personnel de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa avec à sa tête le Professeur **TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE**, présidente de cette institution pour l'effort consenti tout au long de l'année et pour la réussite de cette année académique.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Docteur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Maitre de Conférences, Directeur de l'UFR Environnement à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour nous avoir donné l'opportunité de réaliser cette étude. Nous vous réitérons notre sincère reconnaissance pour nous avoir inculqué l'amour du travail et surtout du travail bien fait.*

*Je voudrais adresser mes remerciements au Docteur **KONAN Kouakou Séraphin**, Maitre de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour avoir accepté la direction scientifique de ce travail. Nous vous réitérons notre sincère reconnaissance pour votre disponibilité, votre engagement tout au long de ce travail de recherche. Vous nous avez communiqué votre passion pour l'Hydrochimie et nous a fait profiter de votre expérience. Merci pour tout !*

*Toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude à mon encadreur, Docteur **KOUYATE Amadou**, Maître-Assistant à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour avoir accepté malgré ses nombreuses occupations, d'encadrer ce travail. Sa rigueur scientifique, sa disponibilité, ses judicieuses orientations et ses soutiens sans failles tout au long de la réalisation de cette étude m'ont permis de finaliser ce travail.*

*J'exprime toute ma reconnaissance au Docteur **KONAN-WAIDHET Arthur Brice**, Maître de Conférences, Président du jury. Merci énormément d'avoir accepté de présider le jury.*

*A Docteur **EBLIN Sampah Georges**, Maître-Assistant, Examineur de ce travail. Je voudrais lui adresser un sincère remerciement pour avoir accepté d'examiner et de contribuer à l'amélioration de ce travail.*

Ma reconnaissance est également adressée à tous les enseignants de l'Université Jean

Lorougnon Guédé qui ont contribué à ma formation.

Je pense à tous mes amis de la filière Physique-Chimie.

Je termine en disant merci à tous ceux et toutes celles qui d'une manière ou d'une autre ont participé à la réalisation de cette étude et que j'ai omis de nommer. Merci à tous !

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

GPS	: Global Positioning System
MES	: Matières en suspension
pH	: Potentiel d'Hydrogène
PNHH	: Programme National de l'Hydraulique Humaine
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAA	: Spectrophotomètre d 'Absorption Atomique
SODECI	: Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire
UFR	: Unité de Formation et de Recherches
WHO	: World Health Organization

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Directives de l’OMS (2011) des paramètres chimiques étudiés d'une eau potable	14
Tableau II : Paramètres pour l'évaluation de la qualité chimique des eaux de la rivière	25
Tableau III : Paramètres chimiques des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	27
Tableau IV : Variation moyenne des paramètres chimiques des eaux de la rivière Lobo.	29
Tableau V : Paramètres chimiques des eaux issues du système de traitement d'eau de Daloa.....	29
Tableau VI : Comparaison eau brute, eau traitée et directive de l’OMS	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.....	5
Figure 2 : Variation moyenne mensuelle des hauteurs de pluies sur le bassin (Koné, 2016).....	5
Figure 3 : Localisation du bassin versant de la Lobo	6
Figure 4 : Exhaure	15
Figure 5 : Unités de traitement de Daloa.....	15
Figure 6 : Localisation des sites de prélèvement.....	22
Figure 7 : Multimètre de type HANNA 9828.....	23
Figure 8 : Variation du pH des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019.....	30
Figure 9 : Variation de l'oxygène dissous des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	31
Figure 10 : Variation du calcium des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	31
Figure 11 : Variation du magnésium des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	32
Figure 12 : Variation du sulfate des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019.....	32
Figure 13 : Variation du chlorure des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	33
Figure 14 : Variation de l'ammonium des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	33
Figure 15 : Variation des ions nitrites des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019.....	34
Figure 16 : Variation des ions nitrates des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	34
Figure 17 : Variation du phosphate des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019.....	35
Figure 18 : Variation du fer des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	36
Figure 19 : Variation du manganèse des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019	36

INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel à la santé des individus et au développement socio-économique des collectivités humaines. Elle recouvre les trois quarts de la surface de notre planète. On la trouve sous multiples formes : pluies, mers, océans, lacs, nappes souterraines. L'accès à l'eau potable a toujours été au centre des projets de développement car l'homme ne peut vivre sans cette ressource (Ballouki, 2012). Elle répond aux besoins fondamentaux de l'homme dans divers domaines tels que : l'agriculture, la production d'électricité, les industries ainsi que les usages domestiques. Pourtant l'accès à l'eau potable constitue l'un des problèmes auxquels sont confrontés les gouvernements de tous les Etats (Soro, 2002). Selon le Programme des Nations Unies pour le Développement, le droit à l'eau potable doit être reconnu comme un droit de l'homme (PNUD, 2006). Par ailleurs, l'eau polluée est la principale cause de maladies et de mortalité à travers le monde. Environ quatre (04) millions d'enfants meurent chaque année de la diarrhée causée par les infections d'origine hydrique (FAO, 1996). Selon Raja *et al.* (2008), 75 % des maladies et 80 % de la mortalité infantile sont attribuées à la pollution des eaux. L'eau est donc un élément de promotion de la santé des individus et du développement socio-économique des collectivités humaines. La Côte d'Ivoire a si bien compris les enjeux de l'accès à l'eau saine, qu'elle a mis en place le Programme National de l'Hydraulique Humaine (PNHH) dès 1973, visant à faciliter l'accès à un grand nombre de populations au service public d'eau. Malgré cet élan, les besoins en eau potable ne cessent de croître du fait à la fois des aléas climatiques, de la pollution et de l'accroissement rapide de la population (Ahoussi *et al.*, 2013). Des études réalisées en Côte d'Ivoire sur les ressources en eau par Coulibaly *et al.* (2008), Soro *et al.* (2010), ont signalé d'une part l'existence de nombreux foyers de pollution aussi bien au niveau des eaux souterraines que des eaux de surface, et d'autre part un risque de pollution des eaux due aux activités anthropiques. Cette situation a contraint l'état de Côte d'Ivoire à opter pour une politique axée sur le renforcement des systèmes de production d'eau potable par la mise en place d'unités industrielles supplémentaires de production. Cependant, après vingt-cinq ans de fonctionnement du programme PNHH, les acquis de l'hydraulique urbaine connaissent une crise généralisée de l'approvisionnement en eau potable dans la plupart des villes de Côte d'Ivoire. Cette crise se traduit par la discontinuité du service d'eau potable, la dégradation de la qualité de l'eau distribuée et par la faible accessibilité d'une frange des ménages au réseau d'eau (Koukougnon, 2012). C'est dans ce contexte de dégradation de l'approvisionnement en eau potable que se place cette étude. Les eaux de surfaces (fleuves, rivières, lacs, étangs) sont confrontées à une dégradation permanente de leur qualité face aux activités anthropiques. Ainsi, les eaux de la rivière Lobo (eaux de surfaces) sont exploitées pour de multiples usages

dont l'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa. Dans cette région à vocation agricole, la rivière Lobo est confrontée à une pression sans précédente liée aux activités agricoles en occurrence la production de café et cacao (Yao, 2015). Les études effectuées par Yao (2015) sur cette rivière ne concernent que l'aspect quantitatif de la ressource. A notre connaissance, la qualité chimique des eaux de la rivière Lobo qui constituent le socle de l'alimentation en eau potable des populations de la commune de Daloa n'a pas encore été étudié. C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude dont le thème est : « Evaluation de la performance du système de production d'eau potable de la commune de Daloa, Côte d'Ivoire ». Cette étude a pour objectif d'évaluer la performance du système de production d'eau potable de la commune de Daloa. De façon spécifique, il a été question d'une part de réaliser une analyse chimique des eaux de la rivière Lobo ainsi que les eaux traitées par le système de production d'eau potable de la commune de Daloa, et d'autre part réaliser une étude comparative des différents résultats pour évaluer la performance du système de production.

Pour atteindre ces objectifs, ce travail a été organisé autour de trois parties. La première partie « Généralités », constitue un rappel des connaissances relatives sur la zone d'étude ainsi que les eaux de surface que sont : la qualité chimique des eaux de surface et le système de production d'eau potable. Le matériel et les méthodes utilisés au cours des travaux sont présentés dans la deuxième partie. La troisième partie « Résultats et discussion » est consacrée aux résultats suivis d'une discussion générale. Dans la conclusion, une synthèse des résultats a été faite. Pour terminer quelques perspectives pour la suite de ce travail ont été données.

PARTIE 1 : GENERALITES

1.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Daloa est une ville du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire située entre les latitudes $6^{\circ}20$ et $5^{\circ}45$ Nord et les longitudes $7^{\circ}15$ et $6^{\circ}30$ Ouest (Figure 1). Chef-lieu de la région du Haut Sassandra, elle couvre une superficie de $38,76 \text{ km}^2$ et le département de Daloa occupe 28 % de la surface de la région avec une population estimée à plus de 319 427 habitants (RGPH, 2014). L'histogramme de la pluviométrie moyenne de Daloa est donné par la figure 2.

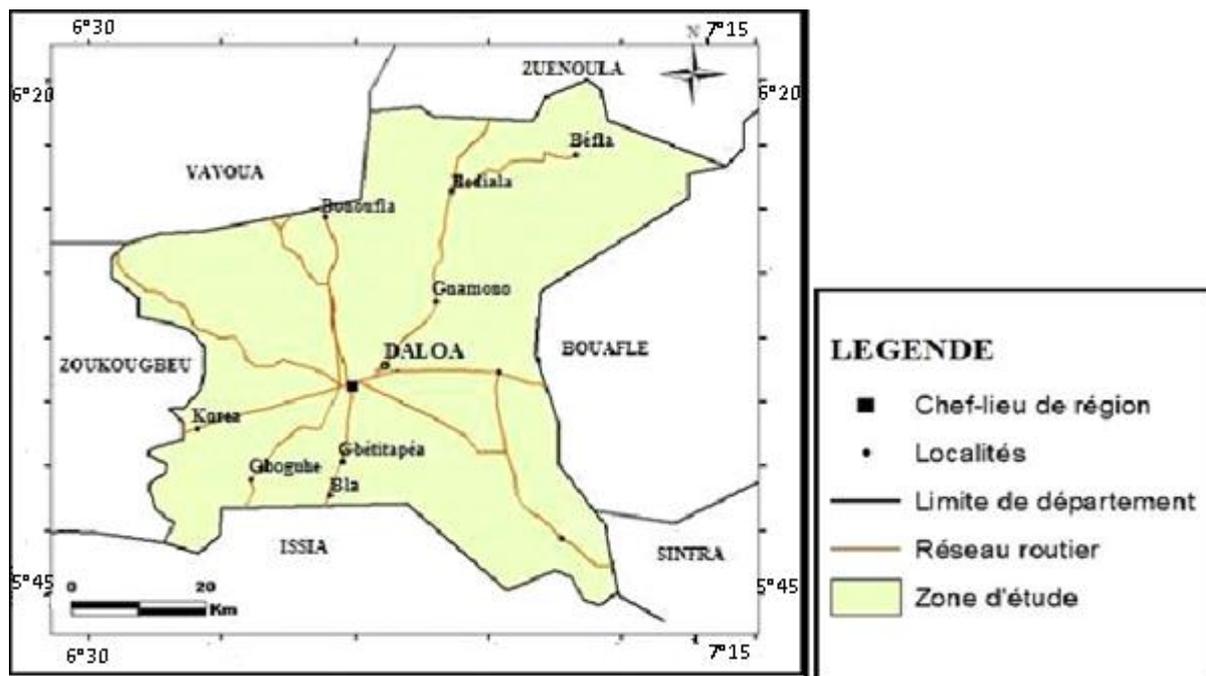


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

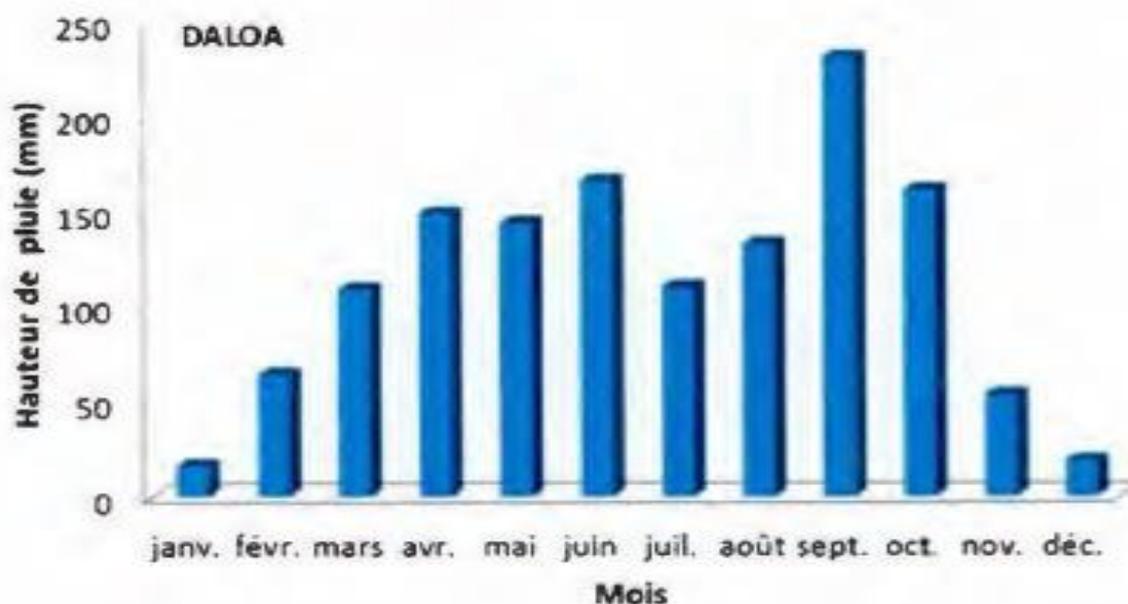


Figure 2 : Variation moyenne mensuelle des hauteurs de pluies sur le bassin (Koné, 2016)

Le site d'étude, la rivière Lobo est un affluent du fleuve Sassandra. Son bassin hydrographique est situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, à 25 km de Daloa entre 6°05 et 6°55 de latitude nord et entre 6°20 et 7°55 de longitude ouest (Figure 3). Elle prend sa source dans la région de Séguéla, drainant une superficie de 12 722 km² et parcourt 355 km avec un périmètre de 530 km.

Le relief du bassin est composé de plaines et de bas plateaux d'altitudes variant entre 160 m et 480 m occupé par la forêt dense humide. Ce patrimoine forestier s'est dégradé au cours de ces dernières années par l'exploitation agricole avec un paysage où alternent les cultures et des jachères (Brou, 2005). Le climat du bassin est de type équatorial de transition atténué (chaud et humide) caractérisé par une saison pluvieuse de mars à octobre et une saison sèche de novembre à février à faible variation de température.

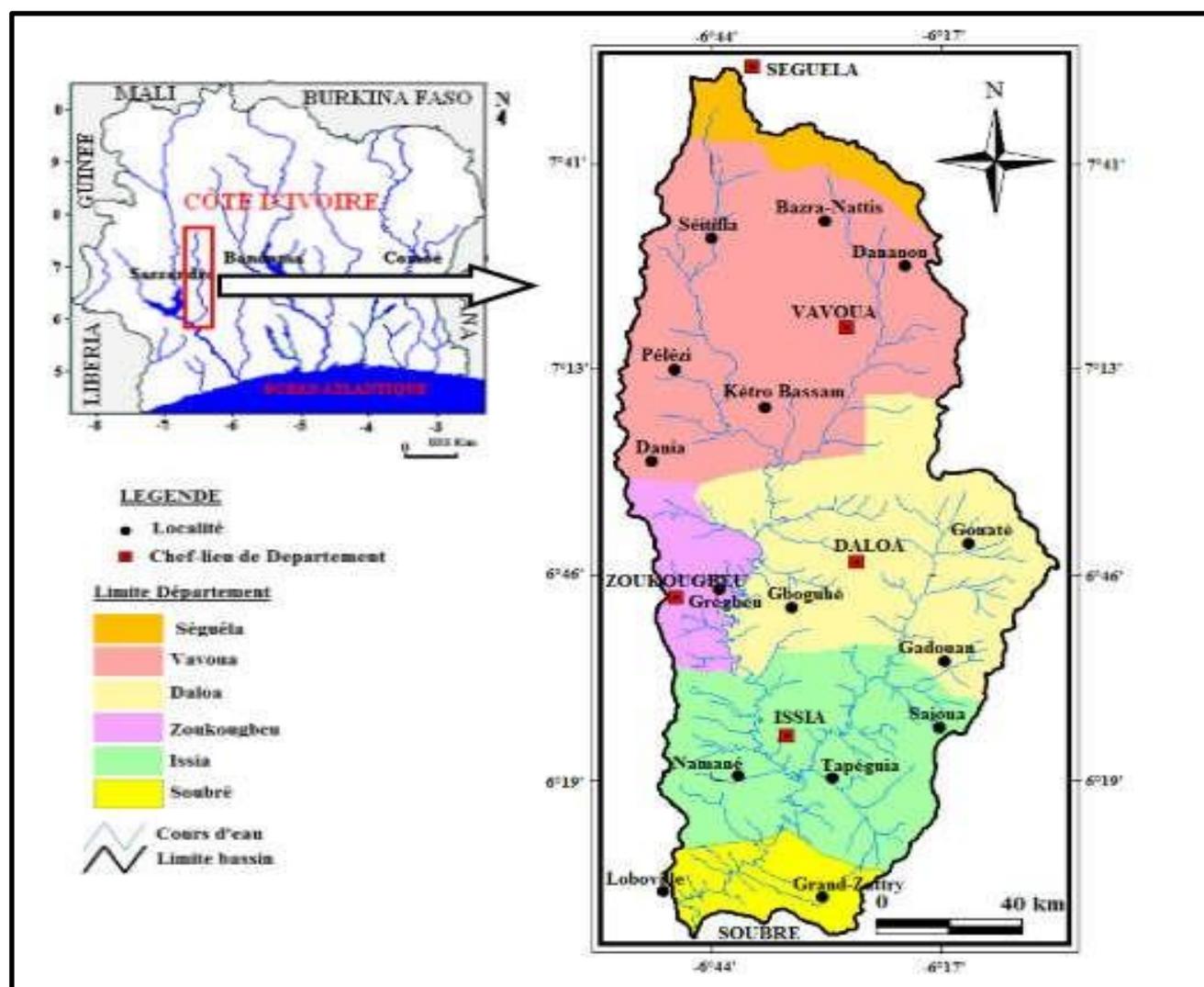


Figure 3 : Localisation du bassin versant de la Lobo

1.2. GENERALITES SUR LES EAUX DE SURFACE

1.2.1. Définition des eaux de surface

Sur les 13 600 millions de km³ d'eau qui couvrent notre planète, seulement 0,014 % est de l'eau douce utilisable par l'homme sous forme d'eaux de surface (Derwich *et al.*, 2011). Les eaux de surface désignent les eaux qui s'écoulent ou qui stagnent à la surface de l'écorce terrestre. Elles proviennent soit des eaux souterraines, soit des eaux de ruissellements. Il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des mers, des lacs et des eaux de ruissellement. Elles désignent également les sources, puits et autres collecteurs directement influencés par l'eau de surface, également définies comme les eaux douces superficielles, les estuaires et les eaux côtières (Badjadj, 2017). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets.

1.2.2 Qualité chimique des eaux de surface

La qualité chimique des eaux de surface varie selon les régions et les périodes de l'année. Ces eaux s'avèrent souvent impropres à la consommation en raison de la pollution générée par les activités urbaines, industrielles et agricoles (Abdelbaki & Boukli, 2007 ; Bricha *et al.*, 2007 ; Koné *et al.*, 2009). Elles varient fortement suivant leurs origines. Selon le cas, les eaux de surface sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides peu minéralisées. Elles sont également vulnérables aux pollutions (Ahoussi *et al.*, 2012 ; Aw *et al.*, 2011 ; Coulibaly *et al.*, 2008). De ce fait, les eaux de surface nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de chloration, coagulation, floculation, décantation/flottation, filtration et minéralisation. Elles peuvent aussi être filtrées sur du charbon actif (Kudri née Belalia, 2005).

1.2.3. Pollution des eaux de surface

Les sources de contamination des eaux de surface sont nombreuses et d'origines diverses. Ce sont la pollution d'origine domestique, agricole, urbaine et industrielle (Kouadio, 2010).

1.2.3.1. Pollution domestique

Elle provient des habitations, elle est en générale véhiculée par le réseau d'assainissement. Elle se caractérise par de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux dont l'azote et le phosphore et des détergents (Ballouki, 2012). Dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les ordures ménagères accumulées dans les décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) qui libèrent également des lixiviats riches en polluant (Beauchamp, 2006).

1.2.3.2. Pollution agricole

L'utilisation d'engrais et de pesticides pour la fertilisation des sols et la lutte contre les insectes dans le domaine agricole peuvent polluer les eaux de surface (Meen *et al.*, 2003). En effet, après l'émission de ces produits chimiques, une grande partie se dégrade ou est retenue à la surface du sol. Par les eaux de ruissellement, ces produits sont transportés dans les eaux de surface. D'autres composés inorganiques tels que les fluorures, le sodium, les chlorures et le mercure peuvent également contaminer l'eau potable (Meeneskshi *et al.*, 2004).

1.2.3.3. Pollution urbaine et industrielle

La pollution urbaine peut survenir lors de la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation. Pour la plupart des industries, l'eau est un facteur de production. Cependant son utilisation en industrie génère des polluants très nombreux et de toxicité variable (Thill & Ezin, 2002). Par conséquent, ces eaux utilisées seront rejetées polluées, chargées en produits chimiques, en produits phytosanitaires, en métaux lourds, en hydrocarbures, en solvants et surtout en matières organiques et inorganiques. La pollution industrielle comprend les matières solides en suspension, les sels dissous, les hydrocarbures, les éléments traces et les rejets acides ou basiques qui influent sur le pH de l'eau (Tazi, 2007).

1.2.4. Paramètres caractéristiques de la qualité chimique des eaux de surface

1.2.4.1. Propriétés organoleptiques

Les propriétés organoleptiques de l'eau font référence à la sensation, bonne ou mauvaise, que le consommateur peut ressentir en buvant de l'eau. Les paramètres organoleptiques sont liés à la couleur, à la saveur et à l'odeur de l'eau. Pour une bonne qualité organoleptique, l'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur (Badjadj, 2017).

Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité.

1.2.4.2. Paramètres chimiques étudiés

1.2.4.2.1. Potentiel d'Hydrogène

Le potentiel d'Hydrogène (pH) mesure l'activité en ions H_3O^+ de l'eau. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physicochimiques et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau. Le pH permet de connaître le caractère corrosif ou incrustant des eaux. Pour un pH inférieur à 6,5 l'eau peut être corrosive. En revanche, pour un pH supérieur à 8,5 l'eau devient incrustante. Pour les eaux de surface, les pH sont relativement neutres et légèrement alcalins (OMS, 2011).

1.2.4.2.2. Oxygène dissous

L'oxygène dissous (O_2) mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau. C'est un facteur essentiel dans le maintien de la vie aquatique (Dimon *et al.*, 2014 ; Hasan *et al.*, 2015). Il est utile pour évaluer la qualité de l'eau. Sa valeur renseigne le degré de pollution de l'eau et par conséquent son degré d'autoépuration (Makhoukh *et al.*, 2011 ; Goher *et al.*, 2017). Sa solubilité est liée à plusieurs facteurs particuliers : la température, la pression atmosphérique et la salinité ainsi qu'à l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (Derwich *et al.*, 2011).

1.2.4.2.3. Ions majeurs

Les ions majeurs étudiés sont : le calcium, le magnésium, le sulfate et le chlorure.

✓ Calcium

Le calcium (Ca^{2+}), métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates est un composant majeur de la dureté totale de l'eau. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les eaux qui dépassent les 100 mg/L de calcium, présentent de sérieux inconvénient pour les usages domestiques (Khelili & Lazali, 2015). En effet, il influe sur la capacité de nettoyage des lessives, en augmentant la consommation des savons qui forment des sels de calcium

insolubles et inactifs. Le calcium est très abondant naturellement. Ses sources les plus communes dans les eaux sont les roches et les minéraux comme la calcite. Des concentrations élevées en calcium peuvent causer des maladies intestinales et les calculs rénaux (Subin & Husna, 2013). En revanche, l'insuffisance de calcium pourrait entraîner des maladies cardiovasculaires (Derwich *et al.*, 2011).

✓ **Magnésium**

Le magnésium (Mg^{2+}) est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. Il est connu pour son influence sur le phénomène d'écaillage (Ketrane *et al.*, 2010). C'est l'un des éléments les plus dominants dans l'eau et sa teneur dépend des terrains traversés. Il dépasse rarement 15 mg/L dans l'eau naturelle et représente un facteur essentiel dans la dureté de l'eau (Tardat-Henry, 1984). La source la plus commune du magnésium est l'érosion des roches et les minéraux comme la magnésite. Des concentrations élevées en magnésium peuvent causer des maladies cardiovasculaires (Rylander, 2014) et une dureté de l'eau (Subin & Husna, 2013). Le magnésium est un élément essentiel pour la photosynthèse des plantes aquatiques (Belkhiri, 2011).

✓ **Sulfates**

L'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite inférieure à 250 mg/L. Une eau contenant une teneur élevée de sulfates peut produire des effets laxatifs chez l'homme (Schafer *et al.*, 2009). En effet, ils provoquent des troubles gastro-intestinaux et peuvent donner un goût désagréable (Stigter *et al.*, 2005). Les eaux naturelles contiennent des sulfates en proportions variables. Ils résultent de légère solubilité de sulfate de sodium (Na_2SO_4), des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures métalliques (fer, cuivre) (Rodier, 1984).

✓ **Chlorures**

Les chlorures (Cl^-) sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium ($NaCl$) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (Makhoukh *et al.*, 2011). Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé. La teneur en ions chlorures peut atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques dans les eaux souterraines (Lapegue & Ribstein, 2006). De plus, des doses élevées de chlorure de sodium dans l'eau potable causent une hypertension (Tuthill, 1961).

1.2.4.2.4. Sels nutritifs

Les sels nutritifs étudiés sont : l'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-) et les phosphates (PO_4^{3-}).

✓ Ammonium

Les activités anthropiques sont les principales sources des ions NH_4^+ dans l'eau. En effet, les effluents domestiques provenant des eaux usées, des fosses septiques et les eaux de ruissellement contiennent les urines humaines ou animales. Ces urines contiennent de grandes quantités d'urée dont l'hydrolyse produit les ions NH_4^+ (Karim & Rafi, 2002). Ils proviennent également de la décomposition aérobie et anaérobie de la matière organique azotée (Verma, 2010). Selon la dose et la durée d'exposition, le sel d'ammonium peut entraîner des problèmes de santé chez l'homme : œdème pulmonaire, dysfonctionnement des systèmes nerveux et rénal, augmentation de la pression artérielle (OMS, 2003). L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique.

✓ Nitrites

Les ions nitrites (NO_2^-) proviennent soit de l'oxydation incomplète des matières organiques, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante (Rejseck, 2002). Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en ions nitrates. La présence des ions nitrites d'origine naturelle est très rare (Olivier, 2005). Une eau qui renferme des ions nitrites est à considérer comme suspecte car la présence de ces ions est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique (Hawa, 2003). Un excès de nitrites dans les eaux de consommation peut provoquer dans certains cas une méthémoglobinémie pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon (OMS, 2011). C'est une forme moins oxygénée et moins stable, représentant la forme de passage entre les nitrates et l'ammoniac. C'est une forme toxique (Belhadj, 2006). Une eau renfermant une quantité élevée de nitrites supérieure à 0,1 mg/L est considérée comme chimiquement impure « indice de pollution » (Baziz, 2008). L'origine des nitrites peut être industrielle (traitement de surface, dosage chimique, colorants).

✓ Nitrates

Les nitrates (NO_3^-) représentent la forme azotée la plus présente dans les eaux naturelles. Ils proviennent de la minéralisation de la matière organique, des engrais azotés et des résidus d'animaux (Gaujous, 1995). Les décharges d'ordures, la mauvaise gestion des eaux usées, les latrines sont également des sources de production de nitrates (Ohou, 2010). C'est un composé important qui entre dans le cycle de l'azote comme un support principal de

la croissance du phytoplancton (Rodier, 2009). Ils ne sont pas directement toxiques pour l'homme car ils sont rarement présents dans l'eau de consommation (Tardat-Henry, 1984). Le risque provient de leur transformation en nitrites dans l'appareil digestif. Ils provoquent l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine, celle-ci est alors incapable d'assurer le transport de l'oxygène vers les cellules (Kumar, 2012). Une eau dont la teneur en nitrates dépasse 50 mg/L n'est pas potable. La consommation d'une eau présentant une concentration de nitrates supérieure à la norme mais inférieure à 100 mg/L est temporairement acceptable, sauf pour les nourrissons et les femmes enceintes ou allaitantes (Ward, 2005).

✓ **Phosphates**

Les phosphates (PO_4^{3-}) font partie des anions facilement fixés par le sol. Leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Hakmi, 2006). Les phosphates existent dans la nature, souvent en complexe couplée à des composés organiques. La plus grande partie du phosphore que l'on retrouve dans les eaux des cours d'eau provient des rejets d'eaux résiduaire et des activités agricoles (Kumar, 2012). Les phosphates ne sont pas toxiques pour l'homme mais une teneur très élevée en phosphates dans l'eau peut causer des problèmes digestifs (Walaa, 2016) et peuvent entraîner leur eutrophisation et deviennent alors de véritables engrais pour les milieux aquatiques qu'ils enrichissent en matière organique.

1.2.4.2.5. Métaux lourds

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. D'un point de vue purement scientifique et technique, le terme de métal lourd s'applique à tout métal ayant une densité supérieure à 5 ou à tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium (Willem, 2017). Ceux-ci sont le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces. Il s'agit du fer (Fe), du mercure (Hg), du plomb (Pb), du cadmium (Cd), du zinc (Zn), du cuivre (Cu), de l'arsenic (As), du nickel (Ni), du cobalt (Co) et du manganèse (Mn).

✓ **Fer**

Le fer (Fe) est un élément essentiel pour l'organisme humain. Cependant, les limites de potabilité sont basées sur les effets esthétiques, ménagers (tâches sur le linge, coloration des ustensiles de cuisine) et le seuil gustatif (Schafer *et al.*, 2009). Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour un pH variant entre 4,5 et 9,5 le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux (Fe^{2+}). Exposé à l'air et à tout autre oxydant, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique (Fe^{3+}) insoluble sous forme de

précipité rougeâtre qui est la rouille (Rodier, 2009). En effet, le fer donne sa couleur rouge au sang. Il est utilisé pour la fabrication des globules rouges, et sert à produire l'hémoglobine, laquelle apporte l'oxygène aux cellules. Malgré cela, des concentrations élevées en fer peuvent causer des maladies neurodégénératives (Baziz, 2008).

✓ **Manganèse**

C'est un métal de couleur gris-blanc. Le fer et le manganèse sont souvent présents ensemble, à l'état naturel. Les sources les plus fréquentes de manganèse dans l'eau sont naturelles (exemple : altération des minéraux et des roches). Le manganèse provient de plusieurs sources artificielles et plus particulièrement des effluents industriels. La présence de manganèse en haute concentration dans l'eau potable peut générer chez le consommateur des désagréments tels que des colorations ou des goûts, odeurs désagréables et aussi la cirrhose du foie chez l'homme (Aranguren, 2008).

1.3. SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU POTABLE

1.3.1. Eau potable

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit l'eau potable comme une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou d'agents chimiques à des concentrations ne pouvant nuire à la santé du consommateur (OMS, 2011). C'est dans ce sens que des directives de qualité ont été définies pour juger la potabilité des eaux de consommation, et ce au niveau de chaque pays ou à l'échelle continentale (directives européennes) et mondiale (directives OMS). En effet, ces directives fixent les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux directives, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Badjadj, 2017).

1.3.2. Directives de l'OMS pour l'eau potable

L'évaluation de la qualité chimique de l'eau se fonde sur la comparaison entre les résultats de l'analyse de l'eau et des valeurs guides (directives). En Côte d'Ivoire, il n'existe pas de directives pour la qualité de l'eau de consommation. Il convient de rappeler que pour l'instant sont pratiquées en Côte d'Ivoire, les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatives à la qualité de l'eau de consommation. Ainsi cette étude s'est référée aux directives de l'OMS dans le tableau I ci-dessous.

Tableau I : Directives de l’OMS (2011) des paramètres physico-chimiques étudiés

Eléments	Unité	Valeurs indicatrices
Manganèse	mg/kg	0,05
Nitrate	mg/L	50
Nitrite	mg/L	0,1
Chlorure	mg/L	250
Fer	mg/kg	0,3
pH	-	6,5-8,5
Sulfate	mg/L	250
Magnésium	mg/L	50
Oxygène dissous	mg/L	5-8
Calcium	mg/L	100
Phosphate	mg/L	1,41
Ammonium	mg/L	0,5

1.3.3. Etapes du traitement de l’eau de Daloa

1.3.3.1. Captage

Les populations de la commune de Daloa sont alimentées en eau potable à partir des eaux brutes provenant de la retenue d'eau aménagée sur la rivière Lobo (Figure 4, A). Nous avons deux conduites de captage d'eau de diamètre 900 mm, chacune est dotée d'un groupe électropompe (Figure 4, B). Dans le premier, mât de transfert classique, nous avons une pompe de $350 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ refoulant l'eau brute jusqu'à l'unité de traitement classique. Dans le second mât qui est le mât de transfert modulaire dénommé INCLAM, nous trouvons une pompe de $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pour les deux électropompes, nous avons un débit nominal de $360 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ces eaux, une fois captées, sont soumises à un traitement à travers une filière conventionnelle avant toute desserte des populations.



Figure 4 : Exhaure

La tour de prise est située à 400 mètres de la station de traitement. Elle est équipée de trois pompes immergées de marque KSB pour refouler alternativement l'eau jusqu'à la station de traitement. Ces pompes ont chacune une Hauteur Manométrique Totale (HMT) de 35 mètres, une puissance de 55 KW et un débit de 340 m³/h. L'une des pompes est située à une profondeur de 8 m et les deux autres à 6 m de la surface de l'eau.

1.3.3.2. Station de traitement

La station de traitement des eaux de la commune de Daloa est constituée de trois unités (Figure 5). L'eau de surface traitée par la SODECI est soumise en général à trois (3) grandes étapes : la clarification, la désinfection et la neutralisation.



Figure 5 : Unités de traitement de Daloa

1.3.3.2.1. Clarification

La clarification est l'ensemble des traitements destinés à éliminer les matières en suspension MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi que des matières organiques dissoutes. C'est l'étape qui consiste à rendre l'eau claire. Elle se décompose en plusieurs phases à savoir : les prétraitements, l'aération, la coagulation-floculation, la décantation et la filtration.

✓ Prétraitements

Le prétraitement est la première étape de traitement des eaux de surface. Elle consiste à débarrasser l'eau d'éléments dont la nature et les dimensions constituent une gêne pour les étapes ultérieures. Le prétraitement se fait généralement à travers le dégrillage, le tamisage et la préoxydation. *Le dégrillage* permet de protéger les ouvrages en aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de boucher les différentes unités de traitement. *Le tamisage*, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit par exemple de feuilles ou de morceaux de plastique (Hamidin *et al.*, 2008). *La préoxydation* est un procédé chimique qui utilise le chlore (ou l'hypochlorite de sodium), l'ozone, le dioxyde de chlore ou le permanganate de potassium. Cette étape va s'insérer dans une filière, en la plaçant en aval des prétraitements physiques et en amont des traitements classiques.

✓ Aération

Le but de cette opération est de compenser le déficit de l'eau brute en oxygène ou à débarrasser l'eau de gaz indésirable ou en excès (H_2S , CO_2). Cette opération est effectuée à l'atmosphère ce qui induit l'augmentation de la teneur en oxygène de l'eau qui va de pair avec l'élimination du gaz carbonique. Cependant il faut en tenir compte dans le cas d'une eau moyennement ou fortement minéralisées, car l'évasion de CO_2 peut rendre l'eau entartrante. L'aération est un procédé qui permet d'augmenter la teneur en oxygène de l'eau et réduire celle de dioxyde de carbone. Il y a donc oxydation du fer et du manganèse en les transformant en hydrates d'oxyde ferrique et manganiques. Cette étape permet donc d'éliminer les éléments indésirables (matières organiques) présent dans l'eau.

✓ Coagulation-floculation

Pour une eau brute présentant une légère turbidité, et/ou légèrement colorée, on ajoute un coagulant et éventuellement un floculant. Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, chlorure ferrique ou des polymères. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules

dissoutes et suspendues dans l'eau. L'attraction entre charge positive et négative va entraîner une neutralisation des colloïdes pour former les floccs (Photo 1). Cette formation de floccs est le phénomène appelé la floculation. Le sulfate d'alumine a donc pour effet d'améliorer la coloration de l'eau.



Photo 1 : Formation des floccs

✓ **Décantation**

La décantation est le dépôt des particules agglomérées au fond du décanteur par le seul fait de la pesanteur. Les floccs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. L'écoulement de l'eau aussi joue un rôle important. Il est nécessaire qu'il soit homogène et sans turbulence pour éviter que les floccs déjà décantés soient remis en solution. La décantation qui est une filtration liquide-solide va permettre la séparation des floccs (floccs formés lors de la floculation) en les déposants au fond du bassin. Lorsqu'on laisse l'eau se déplacer à une vitesse très lente, les floccs de masse plus grande vont descendre au fond où ils sont extraits périodiquement.

✓ **La filtration**

La filtration est la phase finale de cette étape de clarification. Après la décantation, l'eau traitée contient encore des particules plus fines, non décantées ; il faut donc la filtrer. Elle consiste à séparer le reste des éléments indésirables de l'eau par un agent approprié. La SODECI utilise le sable (Photo 2) pour filtrer l'eau venant du décanteur. Ce sable retient les floccs qui n'ont pas été décantés ainsi que les floccs de faibles dimensions ou de densité voisine de l'eau entraînés vers la surface par la vitesse ascensionnelle de l'eau. La hauteur de sable utilisé pour la SODECI varie de 0,8 m à 1,2 m. La filtration sur le lit de sable est plus efficace lorsque les grains de sable sont plus fins et la vitesse de l'eau plus faible.



Photo 2 : Filtration sur le lit de sable

1.3.3.2.2. Désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les microorganismes pathogènes et de maintenir la qualité microbiologique de l'eau traitée pendant son transport jusqu'à chez l'abonné le plus éloigné. Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée. Elle se fait par l'injection d'hypochlorite de calcium juste à la sortie des filtres en garantissant un temps de contact minimum de 30 minutes. Elle permet également de maintenir l'eau à une certaine teneur de chlorure par ajout de l'hypochloreux.

1.3.3.2.3. La neutralisation

La neutralisation est une étape importante de la filière de traitement. Son objectif est d'obtenir, pour l'eau distribuée, le pH d'équilibre. Cette condition permet d'abord d'éviter la formation de dépôts qui pourraient boucher les canalisations : ensuite, elle permet d'éviter que l'eau attaque les canalisations métalliques ; ce qui pourrait causer des dommages importants aux installations. L'eau de chaux est fréquemment utilisée dans les stations d'eau potable pour l'étape de la neutralisation pour l'ajustement du pH.

1.4. SITUATION DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA ZONE D'ETUDE

La ville de Daloa est équipée d'un système urbain de production et de distribution d'eau potable depuis 1967, à partir d'une prise d'eau sur la rivière Lobo. Face à l'insuffisance des ressources en eau souterraine et à la dynamique urbaine, une retenue d'eau d'un volume de 6 000 000 m³ fut aménagée sur la rivière Lobo en 1977. En outre, l'usine de production d'eau est passée à une capacité de traitement de 315 m³/h grâce à la construction d'une seconde

unité de 190 m³/h suivie d'une troisième station. Le château d'eau de 300 m³ fut abandonné au profit d'un nouveau d'une capacité de stockage de 2000 m³ (Die, 2006). Ces actions visaient donc à donner à la population une eau de meilleure qualité, exempte d'agents pathogènes et conformes aux directives de distribution d'eau potable de l'OMS. C'est à cette tâche que la SODECI, chargée exclusivement de la production, la distribution et la commercialisation de l'eau potable sur l'ensemble du territoire national, s'attelle à son exécution. Mais, en dépit des différentes interventions des pouvoirs publics aidés par les partenaires au développement, le service public de distribution urbaine d'eau potable se caractérise par une dégradation aussi bien quantitative que qualitative. Pendant que disposer d'un robinet suppose que l'eau est disponible en permanence pour les besoins des usagers, l'offre de l'eau potable est plutôt intermittente avec des baisses de pression allant jusqu'aux coupures d'eau (Die, 2006). En outre, l'eau du robinet reste colorée avec un arrière-goût. Cette triste réalité affecte les conditions de vie des populations tout comme des activités socio-économiques liées à l'eau, ce qui témoigne de la désaffection de l'eau de la SODECI par la population malgré l'extension du réseau réalisée au cours de cette période. En effet, dans la ville de Daloa, l'accès à une eau potable est très difficile du fait de la tuyauterie vieillissante et des conduites datant depuis 1967. Cette population se tourne ainsi vers les eaux alternatives que sont : les eaux de puits, de sources et de forages.

Conclusion partielle

Cette première partie avait pour but de présenter la zone d'étude ainsi que les généralités sur les eaux de surface, et le système de production d'eau potable. Les eaux de surface sont confrontées à une dégradation permanente de leur qualité face aux activités anthropiques. Ces eaux s'avèrent souvent impropres à la consommation en raison de la pollution générée par les activités domestiques, urbaines, industrielles et agricoles. De ce fait, les eaux de surface nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de clarification, désinfection et de neutralisation. La deuxième partie est consacrée à la présentation du matériel ainsi que les méthodes que nous avons utilisées dans le cadre de cette étude.

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. MATERIEL

2.1.1. Matériel de prélèvement des échantillons d'eau

Le matériel de prélèvement des échantillons d'eau est constitué d'une pissette pour le prélèvement des eaux de surface. La bouteille de Niskin a servi pour le prélèvement des eaux de profondeur. Des flacons en polyéthylène de 1 litre ont également servi à recueillir les échantillons.

2.1.2. Verrerie

La verrerie utilisée est celle courante de laboratoire : tube à essai, erlenmeyer, pipette, bécher, flacons de 100 mL, 500 mL, fiole jaugée, pissette, pipette jaugée, pipette graduée, agitateur, balance, entonnoir, éprouvette graduée.

2.1.3. Matériel de mesures et de dosage des paramètres physico-chimiques de l'eau

L'ensemble des appareils utilisés pour les analyses chimiques est constitué d'un spectrophotomètre portatif de type HACH DR 5000 et d'un multiparamètre de terrain model HANNA 9828. Le spectrophotomètre a été utilisé pour le dosage de tous les éléments chimiques importants dans l'eau à savoir : les ions nitrates, nitrites, ammonium, chlorures, calcium, magnésium et sulfates. Le multiparamètre a servi pour la détermination du pH.

2.2. METHODES

2.2.1. Choix des sites et période de prélèvement des échantillons

Le choix des sites d'échantillonnage est un préalable. Pour cela, des points de prélèvements ont été choisis en tenant compte de leur accessibilité. Sur cette base cinq stations de prélèvement ont été choisies le long de la rivière Lobo et localisées à l'aide d'un navigateur GPS de type GARMIN 76. Ce sont les sites S1 (PK 11), S2 (Gnah), S3 (Cr Babo), S4 (Mignoré) et S5 (Nibehibe) localisés sur la figure 6 qui fut élaborée à l'aide du logiciel ARCGIS.

L'échantillonnage des eaux de la rivière Lobo a été effectué durant les mois de février et juillet 2019.

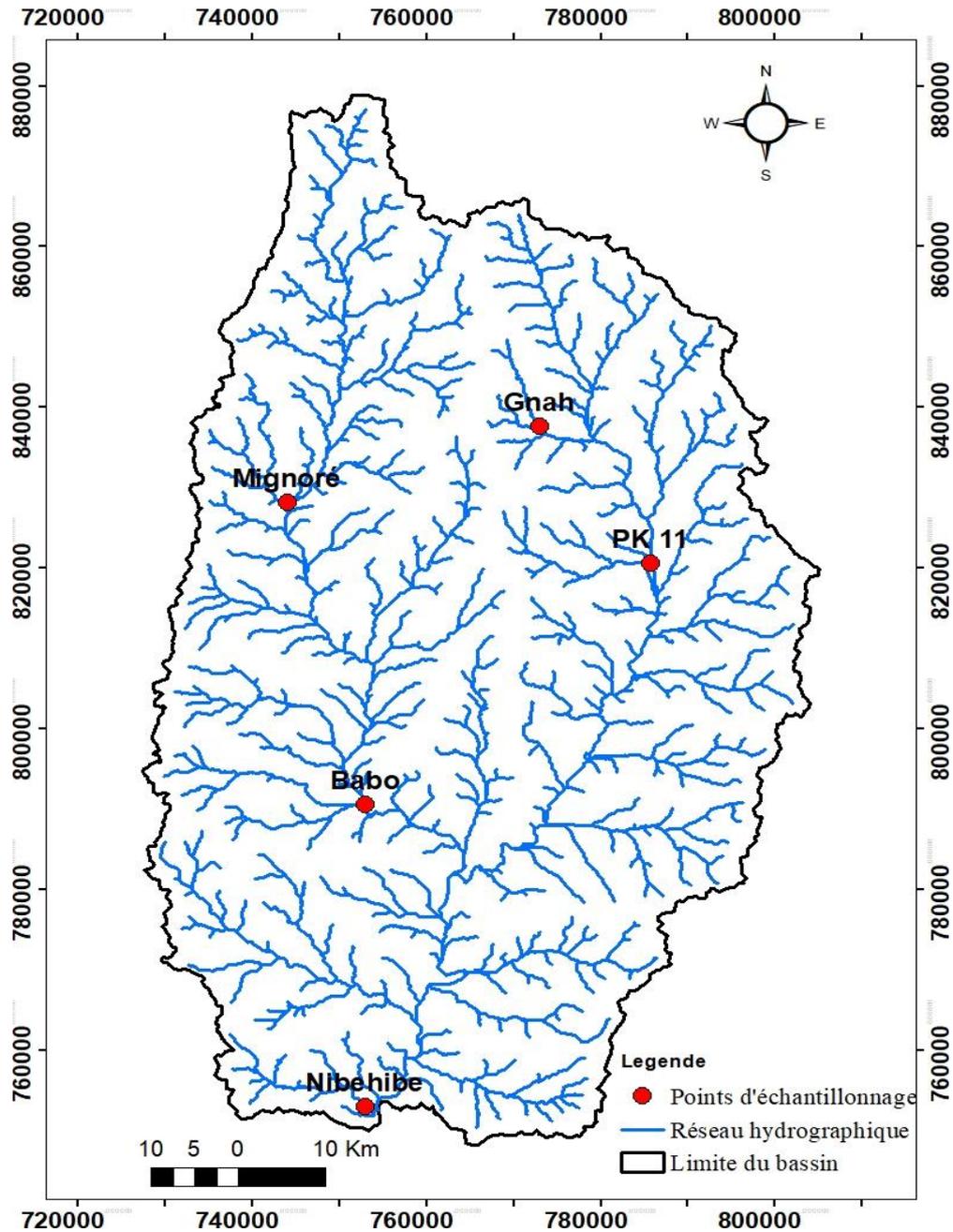


Figure 6 : Localisation des sites de prélèvement

2.2.2. Méthode d'échantillonnage

Les échantillons d'eau sont prélevés sur la rivière Lobo. Dans cette zone, l'écoulement est permanent, ce qui entraîne un renouvellement des eaux de la rivière au point de prélèvement. Le matériel de prélèvement des échantillons des eaux de surface est constitué d'un seau en plastique. Une fois prélevés, les échantillons sont introduits dans des flacons d'un litre en polyéthylène préalablement étiquetés et rincés avec l'eau de la station de prélèvement.

Quant au matériel de prélèvement des eaux du fond, la bouteille de Niskin (Photo 3) a permis de faire des prélèvements des échantillons, pour ensuite être introduit dans des flacons d'un litre en polyéthylène préalablement étiquetés et rincés avec l'eau du fond. Le transport des échantillons depuis le point de prélèvement a été effectué dans une glacière à 4°C pour être à l'abri de la lumière et de la poussière. Les échantillons ont été transportés au laboratoire pour l'analyse chimique dans l'heure qui suit le prélèvement.

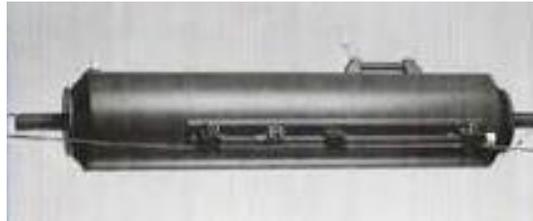


Photo 3 : Bouteille de Niskin

2.2.3. Mesures et analyses des paramètres de qualité chimique de l'eau

2.2.3.1. Mesures *in-situ*

Il s'agit des paramètres très instables, qui nécessitent une détermination sur le lieu de prélèvement des échantillons d'eau. Il s'agit de l'oxygène dissous et le pH.

✓ Oxygène dissous

L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un multimètre de terrain model HANNA 9828 (Figure 7) préalablement étalonné. L'appareil est mis sous tension quelques minutes avant la manipulation. La sonde est ensuite plongée dans l'eau. La lecture se fait après stabilisation de l'appareil. La sélection de la fonction de l'appareil indique la valeur de ce dernier sur l'écran d'affichage.



Figure 7 : Multimètre de type HANNA 9828

✓ Potentiel d'Hydrogène

Le potentiel d'Hydrogène (pH) a été mesuré à l'aide d'un multimètre de type HANNA

9828 à une électrode. Après avoir mis l'appareil sous tension, l'électrode est bien rincée avec de l'eau distillée et trois fois à l'aide de l'eau à analyser. La lecture se fait après stabilisation de l'appareil et les valeurs du pH sont directement lues sur l'écran de l'appareil.

2.2.3.2. Analyses au laboratoire

Les analyses ont porté sur quelques ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-), les sels nutritifs (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) et les métaux lourds (Fe, Mn).

✓ Spectrophotométrie d'absorption moléculaire (SAM)

Cette méthode utilise en effet un spectrophotomètre qui détermine l'absorption d'une solution pour une longueur d'onde donnée ou pour une plage de longueurs d'ondes judicieusement choisie. L'appareil utilisé est le spectrophotomètre HACH DR 5000. Cette technique a permis l'analyse d'une large gamme d'ions contenus dans les eaux, à savoir : les ions nitrates (NO_3^-), les ions nitrites (NO_2^-), les ions ammonium (NH_4^+), les ions sulfates (SO_4^{2-}) et les ions orthophosphates (PO_4^{3-}).

✓ Spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

La spectrophotométrie d'absorption atomique utilise la propriété qu'ont les éléments d'absorber certaines radiations. Cette technique implique que l'élément à doser devrait être à l'état d'atomes libres. Pour cette raison, l'échantillon est porté à une température élevée (entre 2000 et 3000°C), ce qui permet de libérer les atomes de l'élément analysé de toutes sortes de combinaisons chimiques. Elle se base sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Cette dernière varie lors des transitions électroniques qui sont dues à l'absorption de photons. Les photons absorbés sont caractéristiques des éléments absorbants, et leurs quantités sont proportionnelles au nombre d'atomes d'élément absorbant (Walaa, 2016). Cette méthode a servi pour la détermination des concentrations en fer, en manganèse, en calcium et en magnésium de chaque échantillon.

2.2.4. Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux de la rivière

Dans le cadre de ce travail, l'analyse a porté sur 10 échantillons d'eau. Pour évaluer la qualité des eaux prélevées, l'outil SEQ-Eaux a été utilisé. Les SEQ-Eaux permettent d'apprécier la qualité chimique des cours d'eau, de définir des classes de qualité à partir des seuils de concentrations définies. Ces seuils de concentrations varient en fonction des usages de l'eau. Dans le cadre de ce travail, l'usage « production d'eau potable » a été considéré. Les seuils et classes de qualité dans cet usage pris en compte sont consignés dans le tableau II.

Tableau II : Paramètres pour l'évaluation de la qualité chimique des eaux de la rivière

Paramètre	Classes de qualité			
	Excellente	Acceptable	Non potable	Inapte
pH	6,5-8,5	8,5-9,0	5,5-6,5 9,0-9,5	<5,5 ou >9,5
Nitrate (mg/L)	0-25	25-50	50-100	>100
Nitrite (mg/L)	0-0,03	0,03-0,1	0,1-0,5	
Sulfate (mg/L)	0-25	25-200		>250
Chlorure (mg/L)	0-25	25-200		>200
Magnésium (mg/L)	0-30	30-50	50-400	>400
Calcium (mg/L)	32-160		<32 ou >160	
Phosphate (mg/L)	0,1	0,5	1	2
Oxygène dissous (mg/L)	6-8	6	4	3
Fer (mg/kg)	0,3			
Manganèse (mg/kg)	0,05			
Ammonium (mg/L)	0,1	0,5	2	5

Conclusion partielle

Cette partie avait pour but de présenter le matériel et les méthodes utilisés au cours des travaux. Le matériel utilisé est constitué de matériel de prélèvement, d'analyse et de dosage des échantillons d'eau ainsi que la verrerie de laboratoire. Les méthodes par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (SAM) et la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) ont été utilisées pour la détermination des sels nutritifs, ions majeurs et métaux lourds. La troisième partie est consacrée aux résultats suivis d'une discussion générale.

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS

3.1.1. Paramètres chimiques

L'étude expérimentale réalisée sur les différents échantillons prélevés le long de la rivière Lobo a permis de déterminer les paramètres chimiques. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux III et IV. Les résultats d'analyse chimique des eaux issues du système de traitement d'eau de Daloa sont présentés dans le tableau V.

Tableau III : Paramètres chimiques des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

Paramètres Chimiques		Les stations				
		PK 11 (Station 1)	Gnah (Station 2)	Cr Babo (Station 3)	Mignoré (Station 4)	Nibehibe (Station 5)
pH	E1	6,51	7,5	7,01	7,31	7,09
	E2	6,97	7,52	7,37	7,38	6,98
	Moy	6,74	7,51	7,19	7,34	7,03
O ₂ (mg/L)	E1	1,04	8,02	4,01	2,25	7,7
	E2	0,64	7,36	4,94	3,38	3,89
	Moy	0,84	7,69	4,47	2,81	5,79
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	E1	1,75	0,69	0,49	0,67	0,6
	E2	0,10	0,12	0,24	0,22	0,25
	Moy	0,92	0,40	0,36	0,44	0,42
NH ₄ ⁺ (mg/L)	E1	0,173	0,195	0,181	0,197	0,171
	E2	3,44	0,13	0,17	0,36	0
	Moy	1,80	0,16	0,17	0,27	0,08
NO ₂ ⁻ (mg/L)	E1	0	0,001	0	0,053	0,014
	E2	0	0,017	0,004	0,054	0,009
	Moy	0	0,009	0,002	0,053	0,011

SO ₄ ²⁻ (mg/L)	E1	3,24	0	17,54	20,82	10,11
	E2	0	1	0	0	4
	Moy	1,62	0,5	8,77	10,41	7,05
Cl ⁻ (mg/L)	E1	18,6	26,7	41,3	18	45
	E2	26,7	4,9	71,6	40,6	14,5
	Moy	22,65	15,8	56,45	29,3	29,75
NO ₃ ⁻ (mg/L)	E1	12,1	3	7,9	26,6	7,1
	E2	0	1,1	13,5	2,9	1,5
	Moy	6,5	2,05	10,7	14,75	4,3
Ca ²⁺ (mg/L)	E1	14,6	11,8	29,1	18,1	15,7
	E2	20	13,6	34,4	19,1	17,6
	Moy	17,3	12,7	31,75	18,6	16,65
Mg ²⁺ (mg/L)	E1	5,19	3,37	6,85	7,45	4,22
	E2	50,3	0,49	17,25	11,2	0,243
	Moy	27,74	1,93	12,05	9,32	2,23
Fe (mg/kg)	E1	0,874	0,202	0,832	1,33	1,78
	E2	1,674	0,745	2,705	1,944	1,026
	Moy	1,27	0,47	1,76	1,63	1,40
Mn (mg/kg)	E1	0	0,0948	0,245	0,0545	0,128
	E2	2,2	0,2	3,2	3,3	0,2
	Moy	1,1	0,14	1,72	1,67	0,16

E1 : Echantillonnage 1 (février 2019) ; E2 : Echantillonnage 2 (juillet 2019)

Tableau IV : Variation moyenne des paramètres chimiques des eaux de la rivière Lobo.

Paramètres chimiques	Saisons	
	Février	Juillet
pH	7,08 ± 0,37	7,24 ± 0,25
O ₂ (mg/L)	4,60 ± 3,15	4,04 ± 2,44
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,84 ± 0,51	0,186 ± 0,07
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,18 ± 0,01	0,82 ± 1,47
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,013 ± 0,022	0,0168 ± 0,021
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	10,34 ± 8,93	1 ± 1,73
Cl ⁻ (mg/L)	29,92 ± 12,62	31,66 ± 26,03
NO ₃ ⁻ (mg/L)	10,35 ± 9,1	1,37 ± 1,0378
Ca ²⁺ (mg/L)	17,86 ± 6,67	20,94 ± 7,91
Mg ²⁺ (mg/L)	5,41 ± 1,72	15,89 ± 20,55
Fe (mg/kg)	1,00 ± 0,59	1,618 ± 0,77
Mn (mg/kg)	0,104 ± 0,09	1,82 ± 1,54

Tableau V : Paramètres chimiques des eaux issues du système de traitement d'eau de Daloa

Paramètres	Unités	Valeurs
pH	-	6,55
O ₂	mg/L	6,7
PO ₄ ³⁻	mg/L	1,45
NH ₄ ⁺	mg/L	0,332
NO ₂ ⁻	mg/L	0,032
SO ₄ ²⁻	mg/L	18,55
NO ₃ ⁻	mg/L	2

3.1.1.1. Potentiel d'Hydrogène

La figure 8 représente la variation du pH dans les eaux pour les cinq sites de prélèvements au cours des deux saisons. L'analyse de ce graphe montre que les valeurs du pH varient de 6,51 à 7,52 au cours de cette étude. Le pH reste basique durant toute la période de l'étude aux stations S2, S3 et S4 ; acide à la station S1. Pour la station S5, il est acide en juillet et basique février. Les valeurs moyennes saisonnières du pH varient de $7,08 \pm 0,37$ à $7,24 \pm 0,25$ (Tableau IV). Après le traitement des eaux de cette rivière par le système de production, il y'a une amélioration au niveau du pH dont la valeur se stabilise à 6,55 qui est conforme aux directives de l'OMS (6,5-8,5) pour l'eau de consommation.

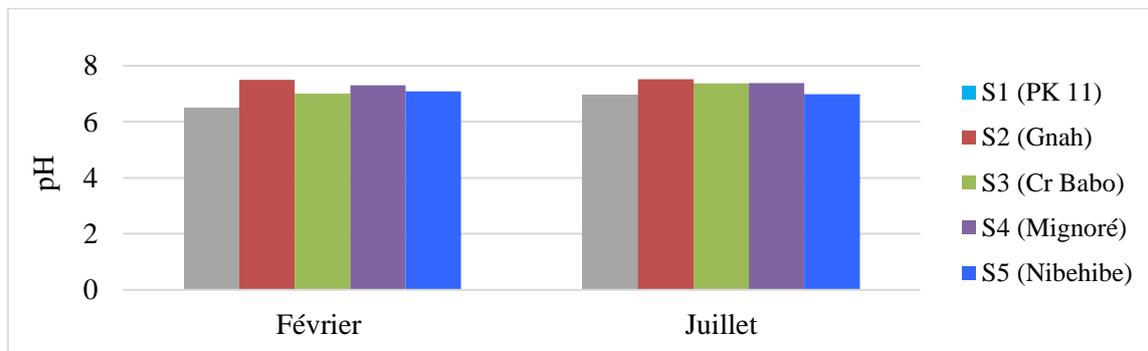


Figure 8 : Variation du pH des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

3.1.1.2. Oxygène dissous

Les concentrations de l'oxygène dissous varient de 1,04 à 8,02 mg/L durant la saison sèche et de 0,64 à 7,36 mg/L durant la saison pluvieuse (Figure 9). Les valeurs critiques sont observées à la station S1 (1,04 mg/L) en février et (0,64 mg/L) en juillet tandis que les valeurs maximales sont notées à la station S2 (8,02 mg/L) en février et (7,36 mg/L) en juillet. Les valeurs moyennes saisonnières de l'oxygène dissous sont comprises entre $4,04 \pm 2,44$ mg/L et $4,60 \pm 3,15$ mg/L (Tableau IV). Durant le mois de février, seul les teneurs de la station S5 conviennent parfaitement aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation (5-8 mg/L) tandis qu'au mois de juillet c'est la station S2. Sa teneur se stabilise à 6,7 mg/L après le traitement par le système de production d'eau potable qui est légèrement en dessous des directives de l'OMS pour l'eau de consommation.

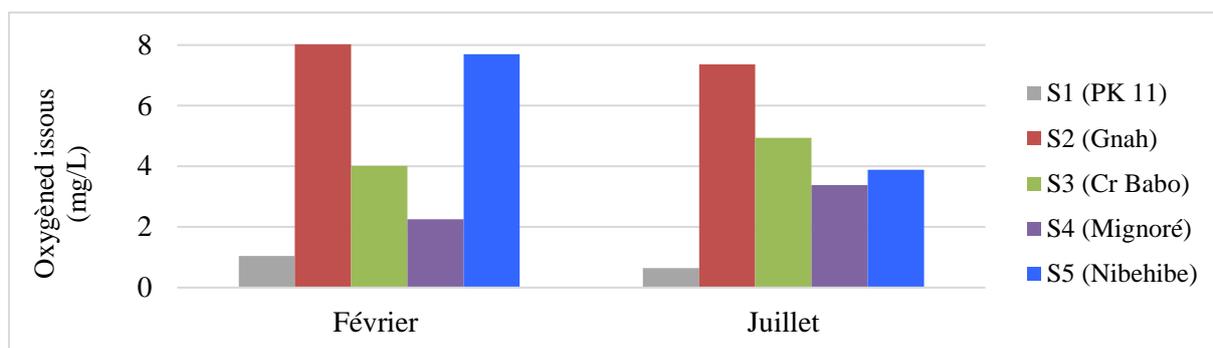


Figure 9 : Variation de l’oxygène dissous des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

3.1.1.3. Ions majeurs

✓ Calcium

De façon générale, les concentrations en ions calcium varient entre 11,8 mg/L (station S2) et 29,1 mg/L (station S3) en saison sèche. En saison pluvieuse, elles varient entre 13,6 mg/L (station S2) et 34,4 mg/L (station S3). Les valeurs sont plus élevées en saison pluvieuse (Figure 10). Cependant, toutes les valeurs sont inférieures aux directives de l’OMS (100 mg/L) au cours de la période d’étude. Les valeurs moyennes saisonnières du calcium varient de $17,86 \pm 6,67$ mg/L à $15,7$ $20,94 \pm 7,91$ mg/L (Tableau IV).

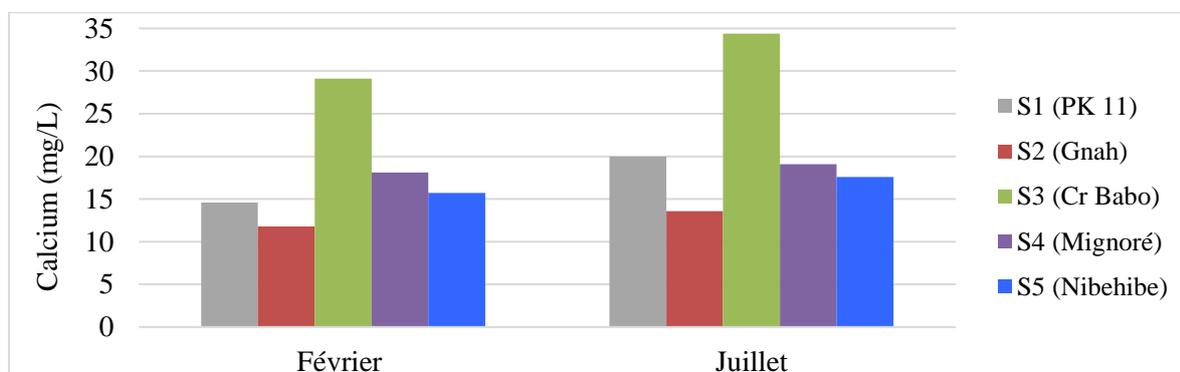


Figure 10 : Variation du calcium des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ Magnésium

En saison sèche, les concentrations en magnésium oscillent entre 0,243 mg/L (Station S5) et 11,2 mg/L (station S4) tandis qu’en saison pluvieuse, elles varient entre 0,49 mg/L (station S2) et 50,3 mg/L (station S1) (Figure 11). Toutes les valeurs enregistrées sur les deux saisons sont inférieures aux directives de l’OMS (50 mg/L) à l’exception de la station S1 qui a une teneur supérieure aux directives de l’OMS. Les valeurs moyennes saisonnières du magnésium varient de $5,41 \pm 1,72$ mg/L à $15,89 \pm 20,55$ mg/L (Tableau IV).

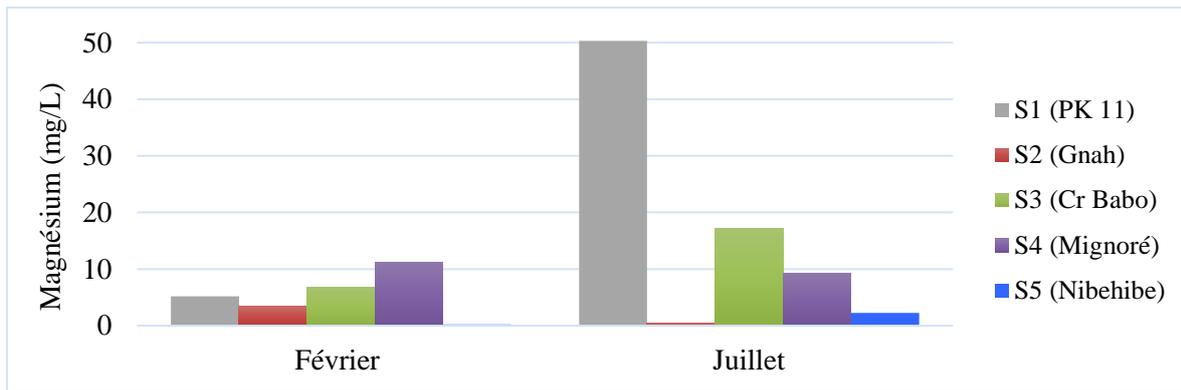


Figure 11 : Variation du magnésium des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ **Sulfates**

L'évolution de la concentration en ions sulfate varie d'une station à une autre (Figure 12). En saison sèche, les concentrations en sulfate oscillent entre 0 mg/L (station S2) et 20,82 mg/L (station S4) tandis qu'en saison pluvieuse, elles varient entre 0 mg/L (stations S1, S3 et S4) et 4 mg/L (station S5). Toutes les valeurs enregistrées sur les deux saisons sont inférieures aux directives de l'OMS (250 mg/L). Les valeurs moyennes saisonnières du sulfate varient de $1,00 \pm 1,73$ mg/L à $10,34 \pm 8,93$ mg/L (Tableau IV). On observe une amélioration de la qualité des eaux de cette rivière du point de vue sulfate après le traitement des eaux de cette rivière par le système de production d'eau potable dont la valeur se stabilise à 18,55 mg/L.

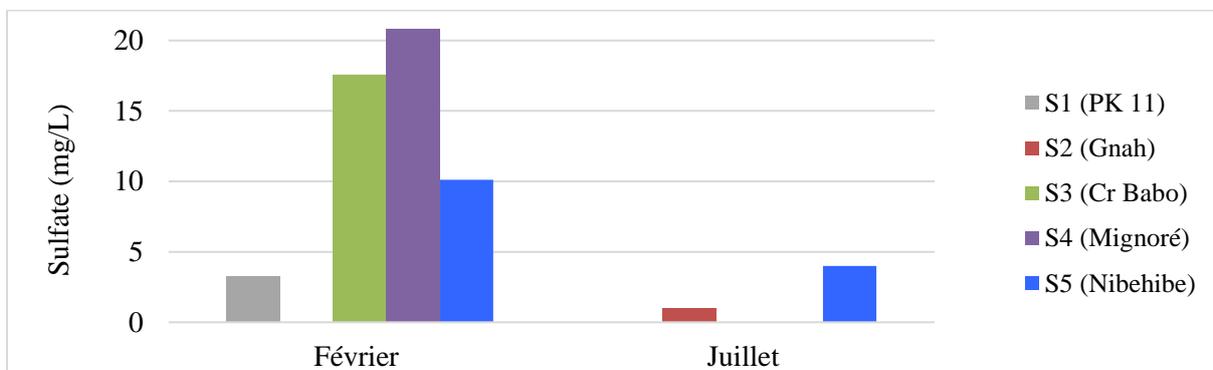


Figure 12 : Variation du sulfate des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ **Chlorure**

La figure 13 rapporte la variation saisonnière du chlorure dans les eaux pour les cinq stations au cours des deux saisons. En saison sèche, les teneurs en chlorure varient entre 18 mg/L (Station S4) et 45 mg/L (station S5). En saison des pluies, les valeurs varient entre 4,9 mg/L (station S2) et 71,6 mg/L (station S3). Les teneurs augmentent sur cette saison à l'exception des stations S2 et S5 dont les teneurs diminuent. Les valeurs moyennes saisonnières du chlorure varient de $29,92 \pm 12,62$ à $31,66 \pm 26,03$ mg/L (Tableau IV).

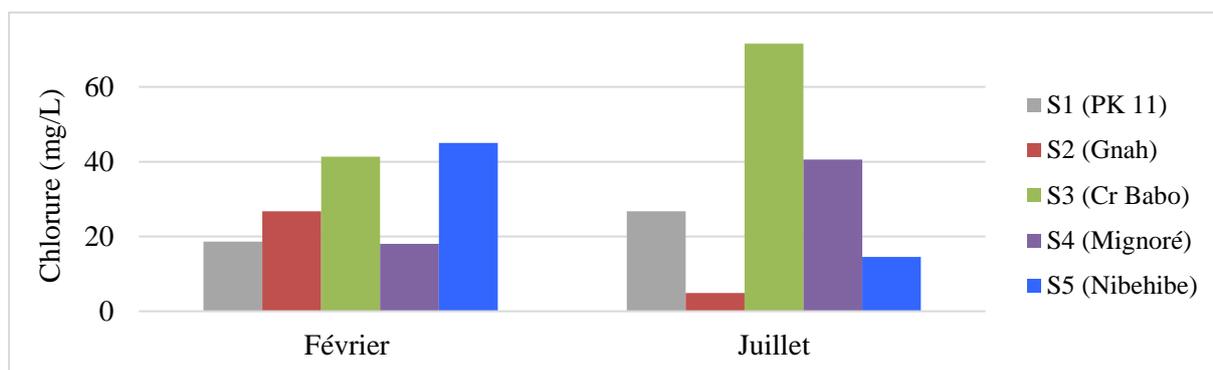


Figure 13 : Variation du chlorure des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

3.1.1.4. Sels nutritifs

✓ Ammonium

La figure 14 montre la variation de l'ammonium dans les eaux pour les cinq stations au cours des deux saisons. En saison sèche, les concentrations varient entre 0,171 mg/L (station S5) et 0,197 mg/L (station S4) tandis qu'en saison pluvieuse, les valeurs oscillent entre 0 mg/L (station S5) et 3,44 mg/L (station S1). La station S1 a des valeurs supérieures à la norme sur cette saison. De la saison sèche à la saison pluvieuse, on a une baisse de concentration pour les stations S2, S3, S5 et une augmentation pour les stations S1 et S4. A l'exception de la station S1, les teneurs en ammonium sont inférieures aux directives de l'OMS (0,5 mg/L) pour l'eau de consommation. Les valeurs moyennes saisonnières de l'ammonium varient de $0,18 \pm 0,01$ mg/L à $0,82 \pm 1,47$ mg/L (Tableau IV). De plus, les valeurs obtenues après le traitement des eaux de cette rivière par le système de production montrent une amélioration de la qualité du point de vue ammonium dont la valeur se stabilise à 0,332 mg/L qui est conforme aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation.

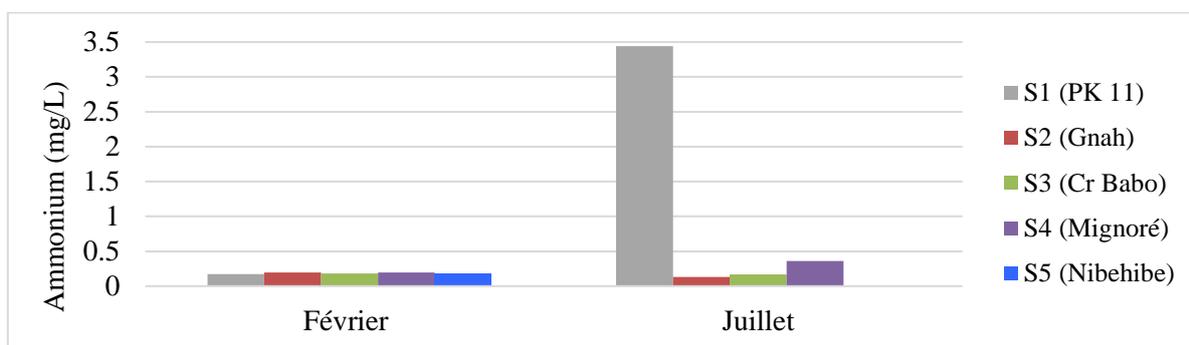


Figure 14 : Variation de l'ammonium des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ Nitrite

La figure 15 montre la variation du nitrite dans l'eau pour les cinq stations au cours des deux saisons. Les concentrations en ions nitrates vont de 0 mg/L (stations S1 et S3) à

0,053 mg/L (station S4) en saison sèche. En saison pluvieuse, elles varient entre 0 mg/L (Station S1) et 0,054 mg/L (station S4). Les concentrations sur les deux saisons sont très faibles et inférieures aux directives de l’OMS (0,1 mg/L). Les valeurs moyennes saisonnières du nitrite varient de $0,016 \pm 0,021$ mg/L à $0,013 \pm 0,022$ (Tableau IV). Après le traitement des eaux de cette rivière par le système de production d'eau potable, on observe une amélioration de la qualité du point de vue nitrite dont la valeur augmente pour atteindre 0,032 mg/L, inférieure à la teneur limite fixée par l’OMS pour l’eau de consommation.

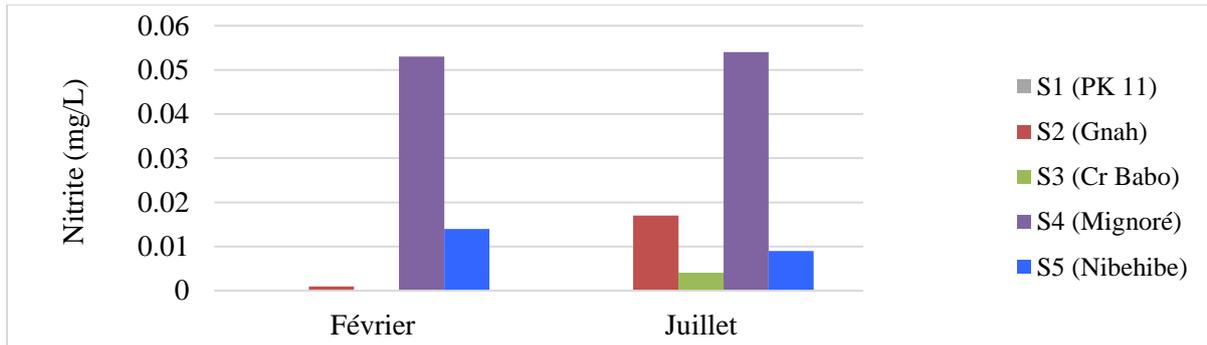


Figure 15 : Variation des ions nitrites des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ **Nitrate**

La variation saisonnière des ions nitrates dans les eaux pour les cinq stations au cours des deux saisons est illustrée sur la figure 16. Lors des deux campagnes de prélèvement, il est remarqué une variation des teneurs en nitrates entre les stations ainsi que celle des teneurs en nitrates entre les deux campagnes. Les résultats de cette étude comparative des teneurs en nitrates sont conformes aux directives de l’OMS (50 mg/L) relative à la potabilité de l’eau de consommation. Cependant, la teneur en nitrates est plus élevée au cours de la saison sèche à l’exception de la station S3. Les valeurs moyennes saisonnières du nitrate varient de $1,37 \pm 1,03$ mg/L à $10,37 \pm 1,1$ mg/L (Tableau IV).

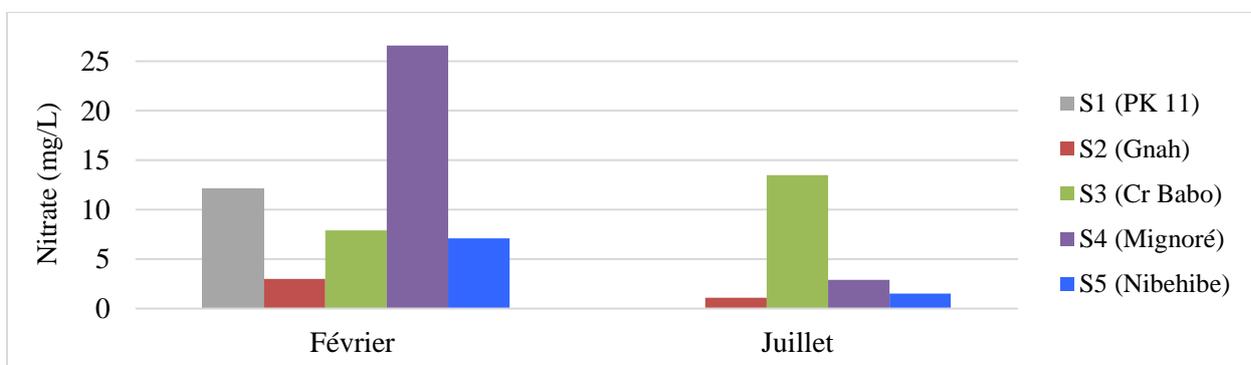


Figure 16 : Variation des ions nitrates des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ **Phosphates**

L'analyse de ce graphe montre que les teneurs en phosphates varient de 0,1 à 1,75 mg/L au cours de cette étude (Figure 17). Les valeurs moyennes saisonnières du phosphate varient de $0,186 \pm 0,07$ mg/L à $0,84 \pm 0,51$ mg/L (Tableau IV). On remarque que la saison sèche a des valeurs supérieures à celles de la saison des pluies. Les valeurs de phosphates enregistrées pour les cinq stations au cours des deux saisons conviennent parfaitement aux directives de l'OMS (1,41 mg/L) pour l'eau de consommation à l'exception de la station S1 de février. Après le traitement des eaux de cette rivière par le système de production, on observe une amélioration de la qualité du point de vue phosphate qui se stabilise à 1,45 mg/L. Cette valeur est légèrement au-dessus de la teneur limite édictée par l'OMS pour l'eau de consommation.

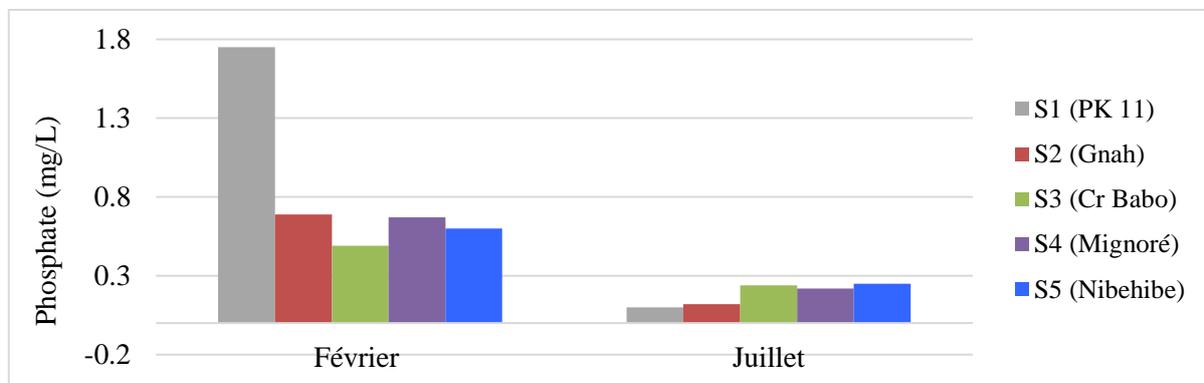


Figure 17 : Variation du phosphate des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

3.1.1.5. Métaux lourds

✓ **Fer**

La figure 18 représente la variation saisonnière du fer dans les eaux pour les cinq stations au cours des deux saisons. Les concentrations en fer oscillent entre 0,202 mg/kg (station S2) et 1,78 mg/kg (station S5) pendant la saison sèche. En saison pluvieuse, ces valeurs s'étalent entre 0,745 mg/kg (station S2) et 2,707 mg/kg (station S3). Sur tous les sites, les valeurs obtenues en saison des pluies sont supérieures à celles de la saison sèche excepté la station S5. Les résultats de cette étude comparative des teneurs en fer sont supérieurs aux directives de l'OMS relative à la potabilité de l'eau de consommation (0,3 mg/kg) pour toutes les stations à l'exception de la station S2 de Février.

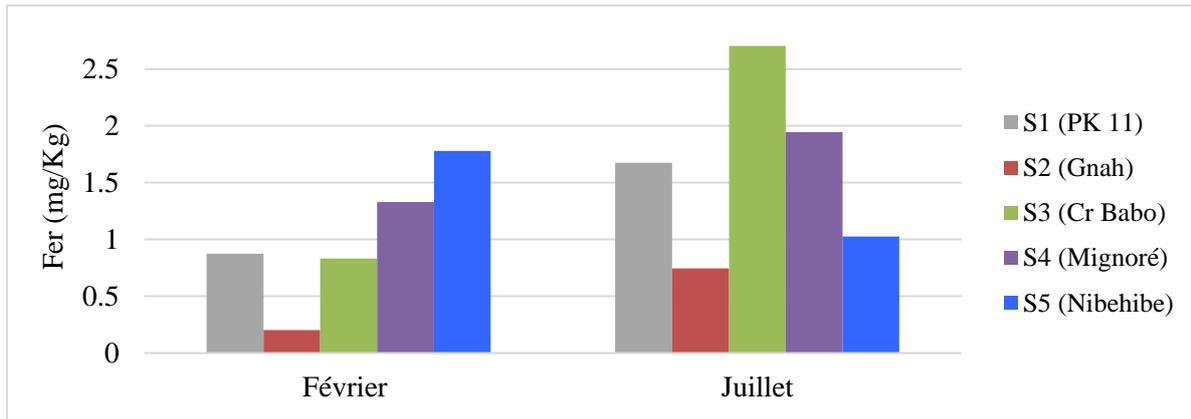


Figure 18 : Variation du fer des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

✓ **Manganèse**

La variation saisonnière du manganèse dans les eaux pour les cinq stations au cours des deux saisons est représentée par la figure 19. Les valeurs du manganèse varient de 0 mg/kg à 3,3 mg/kg. La concentration la plus élevée (3,3 mg/kg) est enregistrée en saison pluvieuse à la station S4 tandis que la concentration la plus faible (0 mg/kg) est observée à la station S1 en saison sèche. Les concentrations sur les deux saisons sont supérieures aux directives de l’OMS (0,05 mg/kg) à l’exception de la station S1 (0 mg/L) en saison sèche. Les valeurs moyennes saisonnières du manganèse varient de $0,104 \pm 0,09$ mg/kg à $1,82 \pm 1,54$ mg/kg (Tableau IV).

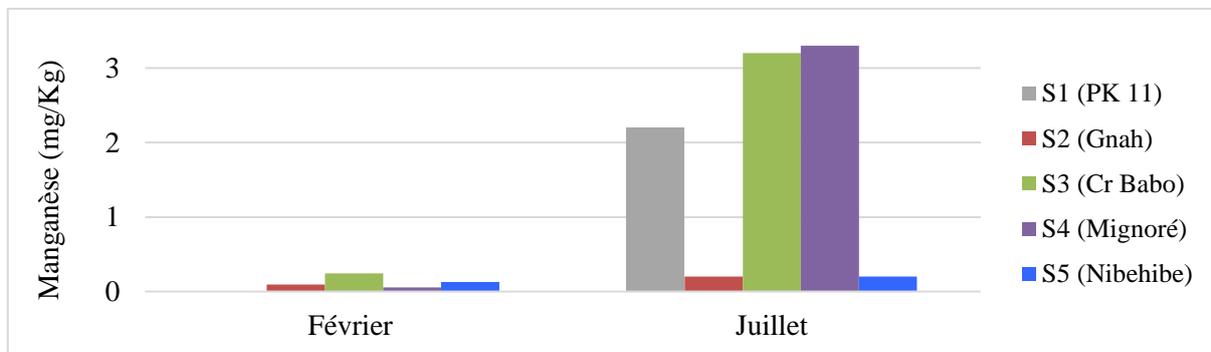


Figure 19 : Variation du manganèse des eaux de la rivière Lobo de février et juillet 2019

3.2. DISCUSSION

La présente étude se propose d’évaluer la qualité chimique des eaux de la rivière Lobo ainsi que la performance du système de production d’eau potable.

Le pH (potentiel d’Hydrogène) dépend de l’origine des eaux, de la nature géologique du substrat. Il résume la stabilité de l’équilibre établi entre les différentes formes de l’acide

carbonique. Les valeurs obtenues révèlent que le pH des eaux de la rivière est quasiment neutre. En effet, le pH des stations de la Lobo varie en moyenne entre $7,084 \pm 0,373$ en saison sèche et $7,244 \pm 0,252$ en saison pluvieuse. La répartition de ces valeurs montre que les valeurs de pH dépendent peu des saisons. Durant ces deux saisons, les valeurs du pH sont conformes aux directives de l'OMS ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) pour l'eau de consommation et varient faiblement au cours des deux saisons pour les cinq stations. Cette non variabilité du pH s'explique par le fait que les eaux naturelles contiennent à la fois l'acide carbonique (H_2CO_3) et des sels de cet acide faible (bicarbonates). Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Ahoussi (2008) réalisés sur les eaux du Banco dans la région d'Abidjan-Agboville de même que par Eblin *et al.* (2014), dans la région d'Adiaké. Ces derniers résultats ont révélé que ces eaux de surface sont acides du fait de la présence d'une forte concentration en dioxyde de carbone (CO_2) libre, issue de la biodégradation de la matière organique contenue dans l'eau (Douagui, 2012) et les pluies acides. De plus ces valeurs sont inférieures à celles de Biswas (1967) dans la Volta au Ghana où le pH varie de 8 à 8,5. Il stipule que cette augmentation du pH est due à la production de phytoplancton qui utilise le CO_2 . En effet, le pH des eaux augmente avec l'appauvrissement des couches d'eaux en CO_2 (Koné *et al.*, 2009).

L'oxygène dissous joue un rôle important dans le maintien de la vie aquatique. Les valeurs obtenues pour l'oxygène dissous des eaux de la rivière Lobo sont faibles sur les deux saisons. Néanmoins, la teneur en oxygène dissous baisse en saison pluvieuse, du fait qu'au cours de cette saison il y a une augmentation du nombre de bactéries qui consomment de l'oxygène. Les valeurs sont comprises entre 1,04 et 8,02 mg/L en saison sèche et entre 0,64 et 7,36 mg/L en saison des pluies. Ces faibles valeurs de l'oxygène dissous pourraient favoriser le développement de germes pathogènes (Belghiti, 2009) et ne sont pas conformes aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation (5-8 mg/L) excepter la station S5 (7,7 mg/L) durant la saison sèche et la station S2 (7,36 mg/L) durant la saison pluvieuse. La teneur faible en oxygène dissous est due à la présence de matière organique sur cette rivière qui réduit cette teneur dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique (AFNOR, 2000), ce qui provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui libèrent des sédiments (De Villers *et al.*, 2005). En outre la charge de particules en suspension apportée par pluvio-lessivage limite la pénétration de la lumière, et par conséquent la photosynthèse par les phytoplanctons qui limite l'oxygénation du milieu (Belghiti *et al.*, 2013). La valeur maximale (8,02 mg/L) de l'oxygène dissous obtenue dans la retenue peut être liée à l'activité photosynthétique des plantes aquatiques et à l'apport de l'oxygène par

l'atmosphère (Ouali *et al.*, 2011). Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Redouane & Aouali (2012) en Algérie qui varient de 5,08 à 7,57 mg/L et 6,48 à 7,53 mg/L durant les deux périodes de prélèvement. Ils estiment que la concentration en oxygène dissous dans cette rivière est directement influencée par la température et la salinité : une eau moins salée est plus froide et dissout relativement plus d'oxygène (Sacchi & Testard, 1971).

La présence des ions calcium (Ca^{2+}) dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4). Les teneurs obtenues varient entre 11,8 et 21,9 mg/L en saison sèche tandis qu'elles varient entre 16,6 et 34,4 mg/L en saison pluvieuse. La faible concentration en calcium de cette rivière indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses. La concentration moyenne en calcium varie entre $17,86 \pm 6,67$ mg/L en saison sèche et $20,97 \pm 7,91$ en saison pluvieuse qui sont largement en dessous des directives de l'OMS pour l'eau de consommation (100 mg/L). L'eau de la rivière Lobo ne peut donc pas être assujettie comme une source de contamination en calcium. Ces concentrations sont généralement plus élevées en saison pluvieuse à cause de l'apport des minéraux par les eaux de ruissellement provenant des plantations aux abords de cette rivière. Les teneurs obtenues sont supérieures à celles obtenues par Derwich *et al.* (2008), sur les eaux de surface des oueds Fès et Sebou. Ils estiment que ces résultats obtenus indiquent que les sols traversés par les eaux d'irrigation au niveau du bassin versant de Sebou sont des sols pauvres en calcium.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen). Sa teneur moyenne oscille entre $15,897 \pm 20,554$ mg/L en saison sèche et $5,416 \pm 1,722$ mg/L en saison pluvieuse. Ces valeurs sont inférieures aux directives de l'OMS (50 mg/L) pour l'eau de consommation excepté la station S1 (50,3 mg/L) en saison pluvieuse. Selon Paramasivama *et al.* (2015), une source potentielle du magnésium pourrait être due aux effluents industriels ou à la nature des roches présentes dans le site. Or notre zone d'étude n'abrite pas d'établissement industriel. La concentration élevée à la station S1 serait probablement due à l'altération des roches et l'hydrolyse acide des minéraux silicatés. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Mohamed (2017) en Algérie sur les eaux de surface dans la Wilaya de Skikda qui varient entre 18 et 25 mg/L en saison sèche et varient entre 17 et 40 mg/L en saison pluvieuse. Il estime que l'apport continu en magnésium est en liaison avec l'environnement géologique et l'action anthropique.

La teneur en sulfate varie au cours de l'étude de 0 à 20,82 mg/L avec une moyenne de $10,34 \pm 8,93$ mg/L en saison sèche et de 0 à 4 mg/L avec une moyenne de $1 \pm 1,73$ en saison des pluies. Les teneurs de la saison sèche sont élevées à l'exception des stations S1 (3,24 mg/L) et S2 (0 mg/L) tandis que celles de la saison pluvieuse sont nulles à l'exception des stations S2 (1 mg/L) et S5 (4 mg/L). Les valeurs obtenues durant ces deux saisons sont conformes aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation (250 mg/L). Selon Barry (1989), l'utilisation d'engrais chimique entraîne une production de sulfures. En effet, sur le bassin de la rivière Lobo, on constate l'utilisation d'engrais pour la production agricole. Les stations dépourvues de sulfates sont exemptées de ces produits chimiques. Les teneurs en sulfates sont inférieures à celles obtenues par Abboudi *et al.* (2014), pour son investigation sur les eaux de surface de l'Oued Guigou au Maroc qui oscillent de l'amont vers l'aval entre 14,03 mg/L et 237,74 mg/L. Ils stipulent que ces fortes teneurs de sulfates sont dues aux activités agricoles pratiquées sur cette rivière, mais la source principale de sulfate dans les eaux de cette rivière est la présence de formations secondaires principalement le gypse.

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Les valeurs obtenues pour le chlorure des eaux de notre zone d'étude sur les deux saisons sont inférieures aux directives de l'OMS (250 mg/L) pour l'eau de consommation. Elles sont comprises entre 18 et 45 mg/L avec une moyenne de $29,92 \pm 12,64$ mg/L en saison sèche et entre 4,9 et 71,6 mg/L avec une moyenne de $31,66 \pm 26,03$ mg/L en saison des pluies. La teneur élevée en chlorure en saison pluvieuse s'explique par le lessivage des fertilisants utilisés dans l'agriculture sur cette rivière. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Abboudi *et al.* (2014), pour son investigation sur les eaux de surface de l'Oued Guigou au Maroc. Ils estiment que cette forte teneur est liée principalement à la nature des terrains traversés.

Les teneurs en ion ammonium (NH_4^+) varient de 0,171 à 0,197 mg/L en saison sèche avec une moyenne de $0,183 \pm 0,012$ mg/L, tandis qu'en saison pluvieuse les teneurs varient de 0 à 3,44 mg/L avec une moyenne de $0,82 \pm 1,47$ mg/L. Seule la station S1 (3,44 mg/L) en saison pluvieuse dépasse la teneur limite fixée par l'OMS (0,5 mg/L) pour l'eau de consommation. Cette augmentation de la teneur en ammonium se manifeste par l'utilisation des pesticides, herbicides et autres produits chimique toxique pour la pratique agricole aux alentours de cette station. Ces valeurs sont comparables à celles obtenues par Guergazi & Achour (2005) à Biskra (Algérie) qui oscillent entre 0,02 et 0,34 mg/L du fait que

l'ammonium provient de la décomposition aérobie et anaérobie de la matière organique azotée sur cette rivière (Verma, 2010).

En ce qui concerne les ions nitrites, les valeurs oscillent en saison sèche entre 0 et 0,053 mg/L. En saison pluvieuse, ces valeurs oscillent entre 0 et 0,054 mg/L. Elles sont toutes inférieures à la teneur limite fixée par l'OMS qui est de 0,1 mg/L. Les eaux de la rivière Lobo ne sont pas assujetties à un risque de pollution par ce nutriment. En effet, les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles quantités rencontrées sur la rivière Lobo. Ces valeurs sont inférieures à celle de Walaa (2016) obtenues au Liban après son investigation sur le bassin de la rivière Litani. Il estime que la concentration élevée de nitrite dans cette rivière est due à la décomposition biologique de matières organiques azotées présentes dans les eaux usées et les déchets animaux et végétaux (Verma, 2010).

La teneur moyenne en nitrate varie au cours de l'étude entre $1,37 \pm 1,037$ mg/L en saison pluvieuse et $10,35 \pm 9,12$ mg/L en saison sèche. Les teneurs de la saison sèche sont élevées tandis que celles de la saison pluvieuse sont très faibles. Ces teneurs sont inférieures aux directives de l'OMS (50mg/L) pour l'eau de consommation. Selon Gaujous (1995), les nitrates proviennent de la minéralisation de la matière organique, des engrais azotés et des résidus d'animaux. La contamination des eaux de la rivière Lobo serait due aux rejets domestiques provenant des agglomérations avoisinantes, des déjections des animaux d'élevage (bœufs) vers les eaux étudiées et l'utilisation des engrais azotés pour la pratique agricole. De plus ces résultats sont en accord avec les travaux de Martinelli (1999) qui estime que la pollution au nitrate serait due à l'épandage de fumier ou d'engrais chimiques et au rejet d'eaux usées qui se retrouvent dans la retenue par pluvio-lessivage. En outre ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Derwich *et al.* (2008), sur les eaux de surface des oueds Fès et Sebou au Maroc. Ils estiment que l'origine des quantités importantes des nitrates résulte principalement de l'application des engrais chimiques lors de la fertilisation.

La teneur en phosphate (PO_4^{3-}) varie au cours de l'étude de 0,49 à 1,75 mg/L en saison sèche et de 0,12 à 0,25 mg/L en saison des pluies. Seule l'eau de la station S1 (1,75 mg/L) en saison sèche a une valeur supérieure à la teneur limite fixée par l'OMS (1,41 mg/L) pour l'eau de consommation. De nombreux auteurs (Hassoune *et al.*, 2006 ; Sally, 2009 et Simtchoou, 2011) ont montré que l'apport de phosphate dans les eaux est dû aux rejets des eaux usées domestiques, les intrants agricoles et industriels. Or notre zone d'étude n'abrite pas d'établissement industriel. La contamination des eaux de la rivière Lobo serait probablement

due au lessivage des terres riches en engrais phosphatés et aux pesticides beaucoup utilisés à la station S1. En outre, la consommation régulière des eaux polluées par le phosphate pourrait occasionner des troubles digestifs chez le consommateur (Samake, 2002). De plus, les teneurs en phosphates sont inférieures à celles obtenues par Walaa (2016) sur le bassin de la rivière Litani au Liban qui varient de 0,06 à 29,71 mg/L. Cette concentration élevée en phosphate pourrait être due à l'utilisation des fertilisateurs phosphatés et les fumiers de fermes à doses très élevées proche de cette rivière (Divya, 2012).

Les éléments métalliques sont présents dans les eaux de surface étudiées. Cette présence est souvent attribuée à leur abondance naturelle dans les sols, les sédiments et le socle rocheux. En ce qui concerne les métaux lourds étudiés, les teneurs en manganèse oscillent entre 0 et 0,245 mg/kg avec une moyenne de $0,104 \pm 0,091$ mg/kg en saison sèche, tandis qu'elles varient entre 0,2 et 3,3 mg/kg avec une moyenne de $1,82 \pm 1,54$ mg/kg en saison pluvieuse. Les teneurs en fer oscillent entre 0,202 et 1,78 mg/kg avec une moyenne de $1,00 \pm 0,59$ mg/kg en saison sèche, tandis qu'elles oscillent entre 0,745 et 2,707 mg/kg avec une moyenne de $1,61 \pm 0,77$ mg/kg en saison pluvieuse. Les teneurs en fer et en manganèse sont supérieures à la teneur limite fixée par l'OMS pour l'eau de consommation (respectivement 0,3 mg/kg et 0,05 mg/kg). Les concentrations de ces métaux lourds (fer et manganèse) dans l'eau sont plus élevées en saison des pluies qu'en saison sèche. Les taux élevés de métaux enregistrés pendant la saison pluvieuse peuvent être attribués au ruissellement et au lessivage des plantations par les eaux pluviales entraînant ainsi des résidus d'engrais, de produits agrochimiques et de pesticides. En réalité, les composés métalliques peuvent être transportés sur de grandes distances et subir des transformations menant parfois à une augmentation de la toxicité ou à une immobilisation. La faible teneur pendant la saison sèche peut être due à l'absorption des métaux par les organismes aquatiques dans les eaux (Goher *et al.*, 2017). L'analyse de ces éléments métalliques montre des caractéristiques similaires aux eaux de surface de la région d'Adiaké étudiées par Eblin *et al.* (2014). Ces auteurs ont souligné que ces éléments proviennent des formations géologiques de la région.

Les paramètres chimiques de qualité (Tableau VI) (pH, chlorures, nitrite, nitrate, ammonium, calcium, magnésium, sulfate et phosphate) sont tous en dessous des directives de l'OMS pour l'eau de consommation à l'exception de l'oxygène dissous. Les éléments métalliques en traces montrent des teneurs très élevées (le fer et le manganèse) dans les eaux dépassant les normes édictées par l'OMS pour l'eau de consommation. Le fer présente les teneurs les plus élevées variant de 0,202 à 2,705 mg/kg avec une moyenne de 1,311 mg/kg.

Ces observations traduisent l'existence de facteurs externes perturbateurs du milieu aquatique. L'abondante pluviométrie de la région et les importantes activités anthropiques dans la zone d'étude sont autant de facteurs qui contribuent à dégrader considérablement la qualité naturelle de cette rivière. Elle est ainsi en proie à une intense pollution organique à laquelle il faudra ajouter une pollution par les métaux lourds comme le fer, le manganèse. Soulignons que la méthode Seq-eau a révélée pour l'altération nitrate, pH, sulfate, magnésium, phosphate, que les eaux de la rivière Lobo sont de qualité excellente, les eaux de la rivière Lobo sont de qualité acceptable du point de vue chlorure, ammonium tandis qu'elles ne sont pas de bonne qualité du point de vue calcium, oxygène dissous, manganèse et fer (Tableau II).

Tableau VI : Comparaison eau brute, eau traitée et directive de l'OMS

Paramètres chimiques	Eau brute	Eau traitée	Directive OMS
pH	6,51-7,52	6,55	6,5-8,5
O₂ (mg/L)	0,64-8,02	6,7	5-8
PO₄³⁻ (mg/L)	0,1-1,75	1,45	1,41
NH₄⁺ (mg/L)	0-3,44	0,332	0,50
NO₂⁻ (mg/L)	0-0,054	0,032	0,1
SO₄²⁻ (mg/L)	0-20,82	18,55	250
NO₃⁻	0-26,6	2	50

Les eaux brutes présentent une forte teneur en oxygène dissous, phosphate et ammonium par rapport à l'eau traitée. Cela indique que la teneur de l'eau traitée en ces éléments est relativement faible par rapport à l'eau brute. De plus, les teneurs en nitrate, sulfate, nitrite et pH des eaux brutes sont conformes aux directives de l'OMS. Néanmoins après le traitement de ces eaux par le système de production d'eau potable, on observe une

amélioration de la qualité des eaux avec des teneurs qui sont toutes conformes aux directives de l’OMS, d’où l’efficacité du système du point de vue chimique.

La performance du système de production d’eau potable de la commune de Daloa, du point de vue chimique est comparable à celle obtenue par Bougrine & Gouahi (2015) après leur investigation sur la qualité des eaux traitée au niveau de la station de Tamarar (Province d’Essaouira). Elle est également comparable à celle obtenue par Fatimaezzahrae (2016) après son investigation sur le système de production de l’eau d’oued Sebou (Maroc). En effet, les teneurs observées pour les différents paramètres chimiques étudiés ne dépassent pas la teneur limite édictée par l’OMS pour l’eau potable. Ils estiment que le traitement a été efficace et surtout l’étape de pré chloration et de désinfection en utilisant le chlore, qui ont pour but principal l’élimination de certains éléments indésirables de l’eau destinée à l’alimentation humaine. Par contre notre système est performant à celui de de la station de traitement de Hammam Debegh (Algérie). En effet le diagnostic de la station de traitement d’eau potable de Hammam Debegh par Bouchemal & Hammoudi (2016), basé sur les résultats chimiques des analyses fournis a permis d’enregistrer quelques anomalies. Ils estiment que cela est dû à la qualité des eaux brutes, la qualité et la quantité du dosage du coagulant, le dysfonctionnement des filtres et l’ignorance des produits existants telle que la chaux.

Conclusion partielle

Cette partie avait pour but de présenter les résultats obtenus suivis d’une discussion générale. Les résultats obtenus révèlent une dégradation de la qualité chimique des eaux de la rivière Lobo qui s’explique par une abondance pluviométrique et les importantes activités anthropiques dans la zone d’étude.

De plus, on observe une amélioration de la qualité des eaux de cette rivière après le traitement par le système de production d’eau potable de la commune de Daloa.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a pour objectif d'évaluer la performance du système de production d'eau potable de la commune de Daloa. Au terme de ce travail, les résultats indiquent une dégradation de la qualité chimique des eaux de cette rivière. Cette dégradation se justifie par les fortes valeurs des paramètres chimiques tels que l'oxygène dissous, le fer et le manganèse qui sont supérieures aux valeurs limites prescrites par l'OMS pour les eaux destinées à la consommation. La dégradation des eaux de cette rivière serait principalement liée aux activités anthropiques (cultures maraîchères, pêche,) aux alentours de la rivière et aux apports d'eaux usées des aires d'habitation.

De plus, après avoir comparés les résultats des paramètres chimiques des eaux de cette rivière à ceux issus du système de production d'eau potable de la commune de Daloa, on observe une amélioration de la qualité de ces eaux et qui est conforme aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation. Cela traduit donc l'efficacité du point de vue chimique du système de production d'eau potable dans la commune de Daloa.

En vue de préserver, voire améliorer la qualité des eaux de cette rivière, la SODECI et les autorités compétentes de Daloa devront sensibiliser les populations sur :

- ✓ les risques liés aux rejets des intrants agricoles dans la rivière lors des cultures maraîchères ;
- ✓ les risques liés aux rejets d'effluents domestiques dans la rivière.
- ✓ Prôner l'utilisation des engrais organiques au détriment des engrais chimiques.

Bien que la présente étude ait montré que les eaux de la rivière Lobo gardent globalement leur caractère naturel nonobstant, les données demeurent insuffisantes et ne permettent pas encore d'évaluer le degré de pollution globale de cette rivière et d'apprécier sa capacité à s'auto-épurer

Pour compléter cette étude, il serait nécessaire d'analyser d'autres paramètres chimiques sur les différents sites étudiés tels que la demande biochimique en oxygène (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO), car elles donnent une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Effectuer les analyses bactériologiques pour mettre en évidence les contaminations fécales.

BIBLIOGRAPHIE

- Abboudi A. Tabyaoui H. & El Hamichi F. (2014). Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou (Maroc). *European Scientific Journal*, 10(23) : 84-94.
- Abdelbaki C & Boukli H.F. (2007). Étude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen (Algérie). *Revue des Énergies Renouvelables*, 10(2) : 257-263.
- AFNOR (2000). Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD)-Norme NF T90-354, 63 p.
- Ahoussi K.E. (2008). Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 270 p.
- Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G. & Biemi J. (2013). Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences* 63 : 4703 - 4719.
- Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G., Soro N. & Biémi J. (2012). Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(4) : 1854-1873.
- Ahoussi K.E., Soro N., Koffi Y.B., Soro G. & Biémi J. (2010). Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(3) : 782-797.
- Aranguren M. (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse de Doctorat en Science de la Terre et Environnement, Université Paul Sabatier (Toulouse, France), 489 p.
- Aw S., N'goran E.B.Z., Siaka S. & Parinet B. (2011). Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of*

Applied Biosciences, 38 : 2573-2585.

- Badjadj N. (2017). Analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia. Mémoire de Master en Hydraulique Option : Ouvrages et Aménagements Hydraulique, Université Abderrahmane MIRA (Bejaia, Algérie), 76 p.
- Ballouki K. (2012). Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya), Mémoire de Master en Hydraulique Option : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah (Fès, Maroc), 79 p.
- Baziz N. (2008). Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé : cas de la ville de Batna. Mémoire de Master en Aménagement du territoire Option : Dynamique des milieux physiques et risque naturels, Université Hadj Lakhdar (Batna, Algérie), 34 p.
- Beauchamp J (2006). Université de Picardie. Disponible sur <https://www.upicardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm> (dernière consultation, février 2020).
- Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D. & El Moustaine R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, 14 : 21-26.
- Belhadj M.Z. (2006). Etude de la pollution du barrage de ZIT EMBA (ALGERIE). Master en Hydraulique Option: Mobilisation des ressources hydriques. Université Hadj Lakhdar (Batna, Algérie), 62 p.
- Belkhiri L. (2011). Etude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel-Est Algérien. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Option : Hydraulique. Université Hadj Lakhdar (Batna, Algérie), 121 p.
- Biswas S. (1967). Hydrobiology of the Volta River and some of its tributaries before the formation of the Volta Lake (Ghana). *Ghana Journal of Science*, 8(3) : 152-166.
- Bontoux J. (1993). Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 166 p.
- Bouchemal A. & Hammoudi A.C. (2016). Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debegh. Mémoire de Master en Hydraulique Option :

- Hydraulique Urbaine, Université Larbi Ben M'hidi (Bouaghi, Algérie), 101 p.
- Bougrine A. & Gouahi S. (2015). Traitement et contrôle de la qualité des eaux traitées au niveau de la station de Tamanar (Province d'Essaouira). Mémoire de fin d'études Licence Sciences et Techniques Option Eau et Environnement, Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc), 76 p.
- Bricha S., Ounine K., Oulkheir S., EL Haloui N., & Attarassi B. (2007). Étude de la qualité physicochimique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique Science* 3(3) : 391-404.
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présentées en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, UFR Sciences et Technologies, Université de Lille (Lille, France), 226 p.
- Chalon C., Leroy D., Thome J.P. & Goffart A. (2006). Les micropolluants dans les eaux de surface en Région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. AQUAPOLE-Ulg, (Liège, Belgique), 137 p.
- Chelli L., Djouhri N. (2013). Analyses des eaux de réseau de la ville de Bejaia et évaluation de leur pouvoir entartrant. Mémoire de Master en Génie des Procédés, Option : Génie Chimique, Université Abderrahmane MIRA (Bejaia, Algérie), 86 p.
- Coulibaly A., Mondé S., Wognin V.A. & Aka K. (2008). State of anthropic pollution in the estuary of Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire) by analysis of the metal elements traces. *European Journal of Scientific Research*, 19(2) : 372-390.
- Darko G., Azanu D. & Logo K. N. (2016). Accumulation of toxic metals in fish raised from sewage-fed aquaculture and estimated health risks associated with their consumption. *Cogent Environmental Science*, 2(1) : 90-116.
- De Villers J., Squilbin M. & Yourassowsky C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 16p.
- Debieche T.H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de Doctorat, UFR Sciences et techniques, Université Franche-Comté (Besançon, France), 235 p.

- Degremont G. (2005). « Mémento technique de l'eau », 10^{ème} éd, tom1 : Tec et doc, 131 p.
- Derwich E., Beziane Z., Benaabidate L. & Belghyti D. (2008). Evaluation de la qualité des eaux de surface des oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraichère au Maroc. *Larhyss Journal*, 7 : 59-77
- Derwich L., Benziane Z. & Benaabidate L. (2011). Diagnostic of physicochemical and bacteriological quality of fez waste-waters rejected in Sebou River (Maroc) *Environmental Earth Sciences*, 63(4) : 839-846.
- Desjardins R. (1997). Le traitement des eaux, édition de l'école polytechnique de Montréal, 2^{ème} édition. Québec, Canada.
- Die K.P. (2006). Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire. Mémoire de fin de formation 2IE-Ex EIER-ETSHER (Ouagadougou, Burkina Faso), 60 p.
- Dimon F., Dovonou F., Adjahossou N., Chouti W., Mama D., Alassane A. & Boukari M. (2014). Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *Journal de la Société. Ouest-Africaine de Chimie*, 037 : 36-42.
- Divya. J.B.L. (2012). Impact of chemical fertilizers on water quality in selected agricultural areas of Mysore district, Karnataka (Inde). *India international journal of environmental sciences* 2:712-723
- Douagui A. (2012). Risques de pollution de la nappe du quaternaire de la zone Sud du district d'Abidjan: cas du secteur canal de vridi, Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 151 p.
- Eblin S.G., Soro G.M., Sombo A.P., Aka N., Kambiré O. & Soro N.S. (2014). Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (Sud-Est côtier de la Cote d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 75 : 6259–6271.
- FAO, 1996. Irrigation and drainage, paper n°55. Control of water pollution from agriculture.
- Fatimaezzahrae I. (2016). Les étapes de traitement des eaux et contrôle de qualité. Mémoire de fin d'études Licence Sciences et Techniques Option : Génie Chimique, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès, Maroc), 28 p.
- Gaujous D. (1995). La pollution des milieux aquatique : Aide-mémoire 2^{ème} édition Lavoisier TEC & DOC, 220 p.

- Goher M.E., Abdo M.H., Bayoumy W.A. & Mansour E.T.Y. (2017). Some heavy metal contents in surface water and sediment as a pollution index of El Manzala Lake, (Egypt). *Journal of Basic and Environmental Sciences*, 2 : 210 – 225.
- Gone D. (2000). Contribution des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à l'étude du fonctionnement des systèmes hydrauliques en milieu fissure de la région semi montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 182 p.
- Guergazi S. & Achour S. (2005). Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra (Algérie). *Pratique de la chloration, Larhyss Journal*, 4 : 119-127.
- Hakmi A. (2006). Traitement de l'eau de source bousfer ORAN. Mémoire Licence, Université des Sciences et de la Technologie Oran (Oran, Algérie), 42 p.
- Hamed M., Guettache A. & Bouamer L. (2012). Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du Barrage Djorf-Torba Bechar. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Biologie Option : Contrôle de qualité et d'analyse, Université Tahri Mohamed (Bechar, Algérie), 66 p.
- Hamidin N., Yu Q.J. & Connell D.W. (2008). Human health risk assessment of chlorinated disinfection by-products in drinking water using a probabilistic approach. *Water Research*, 42 : 3263-3274.
- Harter T., Unit O.D. & Kearny A. (2003). Groundwater pollution. *ANF Publ*, 80(84) : 1-5.
- Hasan J.S., Tanu B.M., Haidar I., Ahmed T. & Rubel A.S. (2015). Physicochemical characteristics and accumulation of heavy metals in water and sediments of the river Dakatia, Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(5): 300-304.
- Hassoune M., Bouzidi A., Koulali Y. & Hadarbach D. (2006). Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc), *Rabat, section Sciences de la Vie*, 28 : 61-71.
- Hawa S. (2003). Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S. des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Thèse de Doctorat d'Etat en Pharmacie, Université de Bamako (Bamako, Mali), 77 p.

- Karim F. & Rafi M. (2002). Drinking water in the hilly region of Bangladesh. How is the quality? *Water Resources development*, 439-452.
- Ketrane R., Leleyter L., Baraud F., Jeannin M., Gil O. & Saidani B. (2010). «Characterization of natural scale deposits formed in southern Algeria groundwater. Effect of its major ions on calcium carbonate precipitation». *Desalination*, 15: 21-30.
- Khelifi T. & Mouffok N. (2008). Etude expérimentale de la filtration sur sable dans le procédé d'épuration à boues activées. Mémoire d'ingénieur en hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen, Algérie), 65 p.
- Khelili R. & Lazali D. (2015). Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla). Mémoire de Master en Chimie Option : Chimie Pharmaceutique et Substances Naturelles, Université Djilali Bounaama (Khemis Miliana, Algérie), 43 p.
- Koné B. (2016). Variabilité pluviométrique saisonnière sur le bassin versant du Sassandra dans un contexte de péjoration climatique. Mémoire de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, UFR Géosciences et Environnement, Université Nangui-Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 60 p.
- Koné M., Bonou L., Bouvet Y., Joly P. & Kouliadiaty J. (2009). Étude de la pollution des eaux par les intrants agricoles : cas de cinq zones d'agriculture intensive du Burkina Faso. *Sud Sciences et Technologies*, 17 : 5-15.
- Koné Y.J.M., Abril G., Kouadio K.N., Delille B. & Borges A.V. (2009). Seasonal Variability of carbon dioxide in the rivers and lagoons of Ivory Coast (West Africa). *Est and Coasts*, 32 : 246-260.
- Kouadio N. (2010). Qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits de la commune d'Agboville. Mémoire de DEA à l'Université Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 55 p.
- Koukougnon W.G. (2012). Milieu urbain et accès à l'eau potable : cas de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 363 p.
- Kudri Née Belalia. Z (2006). Etude et traitement de l'eau du barrage djorf-eltor de la wilaya Bechar par filtration sur sables. Mémoire de Master en Génie des Procédés Option : Eau et Environnement, Université Hassiba Benbouaali (Chlef, Algérie), 78 p.

- Kumar M. P. (2012). A review of permissible limits of drinking water. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 16 : 40-44.
- Lapegue P. & Ribstein P. (2006). La qualité et les analyses d'eaux : Action contre la Faim Espagne en Mali. Mémoire de Master en Sciences de l'Univers, Environnement, écologie. Université Sorbonne (Paris, France), 65 p.
- Makhoukh M., Sbaal M., Berrahou A & Van. Clooster M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, 09 : 149-169.
- Martinelli I (1999). Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluants associés dans le sol urbain vers une approche globale et pluri disciplinaire. Thèse de Doctorat en Hydrologie Urbaine, INSA (Lyon, France), 207 p.
- Meeneskshi G., Kavita, Renuka & Anju M. (2004). Groundwater quality in some villages of Haryana, India : focus on fluoride and fluorosis. *Journal. Hazard. Mater*, 106(1) : 55-60.
- Menad K., Metadjer (2012). Traitement des eaux saumâtre par l'osmose inverse : cas de l'eau de Khemis Miliana. Mémoire Master en Hydrolitique, Université Djilali Bounaama, (Khemis Miliana, Algérie), 77 p.
- Mohamed Z.B. (2017). Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda. Thèse Doctorat en Sciences Hydrauliques Option : Hydraulique, Université Mohamed Khider (Biskra, Algérie), 153 p.
- Moulin B. (2004). Le kayak et la mer, édition le Canotier, 183 p.
- Nechad I., Fadil K. & Fadil F. (2014). Qualité physicochimique des eaux des sources ain regrag et ain sidi bouali dans la region de sefrou (moyen atlas, Maroc). *Larhyss Journal*, 20 : 127-146.
- Ngendo C. (2007). Etude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation dans le district de Musanze : cas de la rivière RUZIKU. Mémoire Master, Université National du Rwanda, Butare, (Kigali, Rwanda), 62 p.
- Ohou Y. (2010). Impact des activités d'origine anthropique sur la qualité physique et chimique des eaux souterraines du bassin versant de la Lobo (Buyo, Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 152 p.

- Olivier A. (2005). Chimie et pollution des eaux souterraines. Edition TEC et DOC, 390 p.
- OMS. (2011). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4^{ème} édition. Publication Organisation Mondiale de la Santé. Genève, Suisse : 307-447.
- Paramasivama K., Ramasamy V. & Suresh G. (2015). Impact of sediment characteristics on the heavy metal concentration and their ecological risk level of surface sediments of Vaigai River, Tamilnadu (India). *Spectrochimica Acta A Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 137 : 397-407.
- PNUD (2006). Au-delà de la pénurie : Pouvoir, pauvreté et la crise mondiale de l'eau. Human Development report, 422 p.
- Raja P., Muhindhar A., Elangovan R. & Palanivel M. (2008). Evaluation of physical and chemical parameters of river Kaveri, Tiruchirappalli, Tamil Nadu (India). *Journal of Environmental Biology*, 29(5) : 765-768.
- Redouane A. & Aouali A. (2012). Caractérisation physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Agrioun de la région de Bejaia. Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Ecologie et Environnement Option : Pathologie des Ecosystèmes, Université Abderrahmane MIRA (Bejaia, Algérie), 88 p.
- Rejseck F. (2002). Analyse des eaux : aspect réglementaire et technique édition CRDP AQUITAINE. Collection biologique technique, 64 p.
- Rodier J. (2009). Analyse de l'eau : Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 9^{ème} édition DUNOD, Paris (France), 1573 p.
- Rodier J. (1984). Analyse de l'eau : Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 7^{ème} édition DUNOD, Paris (France), 1353 p.
- Rylander R. (2014). Magnesium in drinking water - a case for prevention? *Journal of Water and Health*, 12 : 34-40.
- Saaoui B. & Tarzari N. (2005). Adduction et dimensionnement de la station de traitement des eaux de barrage de Tichi Haff. Mémoire d'Ingénieur en Hydraulique Urbaine, Université Abderrahmane MIRA (Bejaia, Algérie), 56 p.
- Sacchi & Testard. (1971). Ecologie animale (organismes et milieu). Edition Doin, 480.p.
- Sally Z. (2009). Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Thèse de Doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, 349 p.

- Samake H. (2002). Analyse physico-chimique et bactériologique au I.N.S. des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako (Bamako, Mali), 77 p.
- Savané I. & Soro N. (2001). Caractérisation chimique et isotopique des eaux souterraines du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire: recharge des aquifères discontinus de la région d'Odienné (Côte d'Ivoire), *Africa Géoscience Review*, 8(4) : 379-390
- Schafer A.L., Rossiter H.M A., Owusu P.A., Richards B.S. & Awuah E. (2009). Physico-chemical water quality in Ghana: Prospects for water supply technology implementation (Ghana). *Desali*, 248: 193-203.
- Simtchoou M. (2011). Evaluation de l'acceptabilité socio-économique et de la qualité de l'eau des systèmes d'approvisionnement en eau potable en milieu rural et semi-urbain: cas de la petite station de kpele-sud (préfecture de Kloto). Master international, Université de Lomé (Lomé, Togo), 32 p.
- Soro G. (2010). Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du District de Yamoussoukro et du département de Tiébissou. Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 250 p.
- Soro N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implications hydrologiques et hydrogéologiques. Thèse de Doctorat d'État es Sc. Nat., Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 272 p.
- Soro N., Ouattara L., Dongo K., Kouadio K. E., Ahoussi K. E., Soro G., Oga Y.M., Savane I. & Biémi J. (2010). Déchets municipaux dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire : sources potentielles de pollution des eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(6) : 2203-2219.
- Soudani S. (2016). Evaluation et caractérisation de l'eau potable dans différents quartiers de la ville de Biskra. Thèse de Doctorat en Hydraulique, Université Mohamed Khider (Biskra, Algérie), 168 p.
- Stigter T.Y., Ribeiro L. & Carvalho D. (2005). Application of groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies. Two Portuguese case studies. *Journal of Hydrology*, 3(4) : 578-591.

- Subin M.P., Husna A.H. (2013). An Assessment on the Impact of Waste Discharge on Water Quality of Priyar River Lets in Certain Selected Sites in the Northern Part of Ernakulum District in Kerala, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, 2(6) : 76-84.
- Tardat-Henry M. (1984). «Chimie des eaux», 1^{ère} édition griffon d'argile INC, Paris, 1215 p.
- Tazi S.H., (2007). Du droit de l'eau au droit à l'eau au Maroc et ailleurs. *Eddif*, 1 : 450-457.
- Thill G. & Ezin J.P. (2002). L'eau, patrimoine mondial commun : Co-expertise scientifique et participative et gouvernance. *Presse Universitaire de Namur* (Belgique), 6 : 17-20.
- Tuthill R.C. (1961). Elevated Sodium Levels in the Public Drinking Water as a Contributor to Elevated Blood Pressure Levels in the Community. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 34 : 1979-1987.
- Verma A (2010). Assessment of Water quality and Pollution Status of Kalpi (Morar) River, Gwalior, Madhya Pradesh: with special reference to Conservation and Management plan. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 1 : 10-17.
- Walaa D. (2016). Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse de Doctorat en Géosciences, UFR des Sciences de la Terre, Université de Lorraine (Nancy, France), 185 p.
- Ward M. H. (2005). Workgroup report: Drinking water Nitrate and Health-Recent Findings and Research Needs. *Environ Health Perspect*, 113 (11) : 1607-1614.
- WHO (2003). Ammonia in Drinking-water.
- Willem J. P. (2017). Les dégâts des métaux lourds : prévention et détoxification naturelle. 2^{ème} Edition : Guy Trédaniel, Paris (France), 418 p.
- Yao A.B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Géosciences Option Hydrologie, UFR Environnement, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192 p.

RESUME

L'étude concerne l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux du bassin versant de la Lobo (centre-ouest de la Côte d'Ivoire), afin d'établir un diagnostic de l'état de pollution des eaux de cette rivière et la performance du système de production d'eau potable dans la commune de Daloa. Ainsi, des prélèvements d'eau ont été effectués au niveau de cinq stations en février et juillet 2019. Les résultats d'analyse des échantillons d'eau ont été comparés aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation. Les teneurs en chlorures, pH, ammonium, calcium, magnésium, sulfates, nitrites, nitrates et phosphates sont dans les limites des normes internationales. Quant aux métaux lourds, leurs teneurs oscillent entre 0,202 et 2,705 mg/kg pour le fer ; entre 0,054 et 3,36 mg/kg pour le manganèse, qui sont au-delà des directives de l'OMS pour l'eau de consommation. Les eaux de la rivière Lobo sont donc impropres à la consommation humaine. Après traitement de ces eaux par le système de production d'eau potable de la commune de Daloa, on observe une amélioration de la qualité de l'eau avec des teneurs qui sont conformes aux directives de l'OMS pour l'eau de consommation d'où l'efficacité du système.

Mots clés : Eau, Norme, Qualité, Analyse chimique, Lobo.

ABSTRACT

The study involves the analysis of the physico-chemical parameters of the waters of the Lobo watershed (west-center of the Ivory Coast), in order to establish a diagnosis of the state of water pollution of this river and the performance of the drinking water production system in the municipality of Daloa. So, water samples were taken at five stations in February and July 2019. The results of analysis of the water samples were compared with the WHO guidelines for drinking water. The chloride, pH, ammonium, calcium, magnesium, sulfate, nitrite, nitrate and phosphate contents are within the limits of international standards. As for heavy metals, their contents oscillate between 0.202 and 2.705 mg/L for iron; between 0.054 and 3.36 mg/L for manganese, which are beyond the WHO guidelines for drinking water. The waters of the Lobo River are therefore unfit for human consumption. After the treatment of these water by the drinking water production system of the municipality of Daloa, we observe an improvement in the quality of the water with levels which comply with the WHO guidelines for drinking water, hence the effectiveness of the system.

Keywords: Water, Standard, Quality, Chemical Analysis, Lobo.