

PHYSICO-CHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL QUALITY OF SPRING WATER IN THE COMMUNE OF KABONDO IN THE CITY OF KISANGANI

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DES SOURCES DE LA COMMUNE DE KABONDO DANS LA VILLE DE KISANGANI

Iungbi Singa Nathan^{1*}, Iungbi Singa Lambert², Lombale Tuwaelana Jean Paul³, Bola Manonge Alice⁴, Nagwago Anidigi Sylvie⁵

^{1*}*Chef de travaux à l'ISP/Lubutu et à l'Université libre de Kisangani, responsable de la cellule eau et cellule Informatique de l'Université libre de Kisangani. Chercheur dans les domaines de la chimie analytique et environnementale (chimie des eaux et des plantes médicinales), gestion informatique, sante environnementale et statistiques*

²*Chef de travaux à l'ISP/Lubutu et à l'Université Libre de Kisangani. Docteur en Médecine, Master 1 en Santé publique et Master 2 en Théologie*

³*Assistante2 à l'ISP/Lubutu et à l'Université Libre Docteur en Médecine Chercheur dans le domaine de biologie médicale et santé environnementale*

⁴*Assistante2 à l'ISP/Lubutu et Université Libre de Kisangani, chercheur dans le domaine de biologie (Biotechnologie)*

⁵*Assistante2 à l'ISP/Lubutu et à l'Université Libre de Kisangani, chercheur dans le domaine de santé environnementale et santé communautaire.*

***Corresponding Author:**

Summary

The purpose of this research is to determine the physico-chemical and bacteriological quality of spring water used for consumption and household use in the commune of Kabondo in the city of Kisangani in the Democratic Republic of Congo.

The results found after the analysis prove that on the physico-chemical level, the waters of the sources analyzed, give values of pH, turbidity content, iron content, nitrite content and chloride ion content at 100% in accordance with WHO standards while the temperature, nitrate content and oxidizable matter are non-compliant at 12.5%, 62.5% and 75%.

From the bacteriological quality point of view, all the waters from the sources analyzed are 62.5% compliant for total germs and 100% non-compliant for faecal coliforms, total coliforms, streptococci and Escherichia coli and 75% salmonella.

According to Feachem, 2 sources (Masele 1 and Kambakamba) out of 8 have good quality while 6 have average quality while having low consumption risks for the other two and intermediate for the other 6.

Resume

La présente recherche a pour but de déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des sources utilisées pour la consommation et usages ménagères dans la commune de Kabondo dans la ville de Kisangani en République Démocratique du Congo.

Les résultats trouvés après l'analyse prouvent que sur le plan physico-chimique, les eaux des sources analysées, donnent des valeurs de pH, teneur en turbidité, teneur en fer, teneur en nitrite et teneur en ion chlorure à 100% conformes aux normes de l'OMS tandis que la température, teneur en nitrate et matière oxydable sont non conformes à 12,5%, 62,5% et 75%

Du point de vu qualité bactériologique, l'ensemble des eaux des sources analysées sont conformes à 62,5% pour les germes totaux et non conformes à 100% pour les coliformes fécaux, coliformes totaux, streptocoques et Escherichia coli et à 75%les salmonella.

Selon Feachem, 2 sources (Masele 1 et Kambakamba) sur 8 ont la bonne qualité alors que 6 ont la qualité moyenne tout en ayant bas risques de consommation pour les deux autres et intermédiaires pour les 6 autre.

0. INTRODUCTION

0.1. Problématique

L'eau est une substance minérale la plus répandue à la surface terrestre, elle recouvre ses $\frac{3}{4}$ connus sous le nom d'hydrosphère. Elle est aussi le constituant majeur de la matière vivante englobée sous le terme de biosphère. L'eau est à l'origine de la vie sur terre, et elle est indispensable à la survie des êtres vivants, mais elle peut être un véhicule des maladies hydriques et un élément de destruction environnementale si elle est polluée. Aujourd'hui, la qualité de l'eau et l'environnement nous concerne tous, la qualité de l'eau et prioritairement une exigence de santé, c'est pourquoi, il est nécessaire de la traiter et de l'économiser. (Akil A. & al, 2014)

Elle est une ressource naturelle essentielle à la vie, vitale à l'homme et à la ville qu'il habite. Cette importance de l'eau à fait dire à saint Exupéry que « l'eau n'est pas à l'origine de la vie ; elle est la vie ». (Abdellatif, 2006)

La satisfaction des besoins en eau est fonction de la disponibilité de la ressource et surtout de sa qualité des activités humaines, du niveau de développement économique, de la démographie et du taux d'urbanisation. (Aka N & al, 2013)

L'étude de l'eau a pour objet de déterminer ses possibilités d'utilisation ; elle comporte une analyse physico-chimique et un examen microbiologique. L'analyse physico-chimique fait connaître les emplois aux quels convient une eau donnée, besoins ménages (eau de cuisson ou de lavage...), besoins industriels (eau de réfrigération ou de fabrication, ...), elle décèle les eaux risquant d'exercer une action chimique sur les canalisations, elle facilite la mise au point des traitements qui supprimeront les inconvénients révélés. L'eau est un constituant fondamental de notre environnement, c'est le seul composé qui peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, gazeux) aux températures ordinaires. (X. Anglaret, E. Mortier, 2002)

Les Européens utilisent des milliards de mètres cubes d'eau chaque année, non seulement pour boire, mais également pour l'agriculture, la fabrication, le chauffage et le refroidissement, pour le tourisme ou encore d'autres secteurs de services. En présence de centaines de lacs d'eau douce, de fleuves et de sources d'eaux souterraines, l'approvisionnement en eau en Europe pourrait sembler inépuisable.

Cependant, la croissance démographique, l'urbanisation, la pollution et les conséquences du changement climatique, notamment des sécheresses persistantes, font peser une énorme pression sur les approvisionnements en eau en Europe et sur leur qualité.

En fait, le stress hydrique est une problématique qui touche des millions des personnes dans le monde, dont plus de 100 millions d'individus en Europe. Comme dans beaucoup d'autres régions du monde, les inquiétudes liées au stress hydrique et à la pénurie d'eau grandissant en Europe également, dans un contexte de risque accru de sécheresses s'expliquant par le changement climatique.

Près de 80% de l'exploitation de l'eau douce (pour boire et pour d'autres utilisations) en Europe provient des fleuves et des eaux souterraines, ce qui rend ces sources extrêmement vulnérables aux menaces posées par la surexploitation, la pollution et le changement climatique. Si certains pays comme la Grèce, le Portugal et l'Espagne ont déjà connu de graves sécheresses pendant les mois d'été, la pénurie d'eau commence à toucher également les régions du Nord, dont certaines régions du Royaume-Uni et d'Allemagne. (Brangeon S., 2015)

Depuis le 26 mai, les dirigeants de compagnies de distribution d'eau et d'assainissement, des responsables gouvernementaux, ainsi que des membres d'organisations non-gouvernementales sont à Dakar dans le cadre de la semaine africaine de l'eau. Si beaucoup de pays africains se battent pour se rapprocher des objectifs de millénaires pour développement en matière d'accès à l'eau potable, d'autres sont toujours à la traîne.

Selon une étude publiée par long Wateraid, plus d'un tiers d'africains n'ont toujours pas accès à l'eau potable, tandis que 70% vivent dans des zones qui manquent d'assainissement de base. Ces manque d'eau potable et les absences d'assainissement adéquat provoquent des problèmes de santé publique dans plusieurs pays, cela coute 50 milliards de dollars aux Africains en terme de soins de santé et de productivité.

Bien que la République Démocratique du Congo (RDC) soit le pays d'Afrique possédant les ressources hydrologiques les plus importantes, elle doit aujourd'hui faire face à une crise aiguë de l'approvisionnement en eau potable dont, seuls 26% de la population congolaise ont accès à une eau potable salubre, une estimation bien en dessous de la moyenne des 60% pour l'ensemble de l'Afrique subsaharienne alors qu'elle est considérée comme « le château de l'Afrique », grâce à ses cours d'eau. Carbonnelle, et al, 1987. A Kisangani, une ville entourée des eaux, cette eau a des qualités appréciables d'odeur et du gout. La crainte est presque sur toute étendue de la ville où il Ya rareté des robinets dans certaines communes telles que commune de Lubunga, Kisangani, Kabondo et Mangobo dont vous trouverez dans une avenue moins de 8 robinets et cela entraine l'inaccessibilité à l'eau potable et ce qui pousse une majorité de la population de la ville de s'approvisionner aux sources d'eau non aménagées, dont la plupart ne sont pas consommable. (Cellule eau ULIKIS, 2020) Eu égard de tout ce qui précède, une question centrale de d'expliciter nos émotions dont :

- Quelle est la qualité des eaux des sources utilisées à l'usage buvable et ménager et son influence sur la santé de la population de la commune Kabondo dans la ville de Kisangani ?
- La consommation de ces eaux expose-t-elle la population aux risques sanitaires ?

L'objectif principal de cette étude est d'avoir connaissance de la qualité des eaux des sources que consomme la population de la commune de Kabondo en particulier et celle de Kisangani en générale.

Ainsi, nous poursuivrons les objectifs spécifiques selon lesquels :

- Identifier les grandes sources d'eau qu'utilise la population de la commune Kabondo ;
- Déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de ces sources de identifiées

Pour bien mener cette recherche, nous avons comme hypothèses :

- Les eaux de sources consommées dans la commune de Kabondo dans la ville de Kisangani ne seraient pas de bonne qualité ;
- La consommation de ces eaux exposerait la population aux risques sanitaires tels que les maladies hydriques.

Le dudit travail servira à la communauté comme support qui permettra l'amélioration de la qualité des eaux de sources de la commune Kabondo enfin de les rendre potable

Y égard l'introduction et la conclusion, la présente recherche comporte deux parties :

- Première partie prend les généralités sur les eaux, milieu d'étude, matériels et méthodes
- La seconde partie se focalise sur la présentation des résultats, son interprétation et la discussion.

PREMIERE PARTI : CONSIDERATIONS GENERALES, MILIEU D'ETUDE, MATERIELS ET METHODES

I.1. DEFINITION DE CONCEPTS

I.1.1. Eau

Est un corps liquide à la température et à la pression ordinaires, incolore, inodore, insipide, dont les molécules sont composées d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit l'eau potable comme étant celle dont la consommation est sans danger pour la santé. Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres organoleptiques (couleur, turbidité, odeur, saveur), physico-chimiques (température, pH, etc.), microbiologiques (coliformes fécaux et totaux, streptocoques fécaux, etc.) et à celle des substances indésirables et toxiques (nitrates, nitrites, arsenic, plomb, hydrocarbures, etc.).

I.1.2. les eaux souterraines : elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie. Elles constituent alors une nappe aquifère. De qualité constante, elles bénéficient également, vis-à-vis des pollutions, d'une meilleure protection que les eaux superficielles. Elles peuvent être captées à leur exutoire ou directement dans le sous-sol par forage. Les eaux tant souterraines que superficielles doivent bénéficier d'une protection réglementaire. Celle-ci est obligatoire pour tous les points de prélèvement ne bénéficiant pas d'une protection naturelle efficace. (Debabza, 2005)

I.1.3. Eau de Source : L'eau qui sort naturellement d'une source ; ou soit une eau d'origine souterraine, protégée et microbiologiquement saine.

I.1.4. Les eaux de surface : lorsque la ressource provient des nappes phréatiques, les prélèvements se font au moyen de puits ou de forages. Des réseaux d'observation qui permettent des études de qualité et de mesurer les débits, contribuent à cette gestion. On peut y distinguer les eaux de ruissellement qui se déplacent d'un endroit à un autre et les eaux stagnantes accumulées dans un endroit particulier tel qu'une mare, un lac, ou une flaque, ...

La qualité de ces eaux de surface est plus au moins acide, plus au moins chargées de particules de la terre ou de sol est souvent un élément important pour les cultivateurs, les pisciculteurs et les buveurs.

I.1.5. L'eau de pluie : elle n'est qu'une source temporaire, elle est produite par la rencontre des vents humides et d'un obstacle. Elle contient l'azote, de l'oxygène dissout, du chlorure de sodium, du magnésium, du calcium, de l'iode, du brome, du dioxyde de carbone, des carbonates, du nitrite, d'ammoniac, des phosphores et de la poussière.

On appelle ruissellement l'eau de pluie qui est recueillie par les ruisseaux et les rivières.

Le volume et la variation de ruissellement son influence principalement par les précipitations et leur distribution pour la grandeur, la forme, l'écorce et la topographie. (Dahel Zanat, 2009)

I.1.6 Microbe : Est un organisme vivant invisible à l'œil nu, ne peut être observé qu'à l'aide d'un microscope.

I.1.7 Agent Pathogène : Est un agent infectieux qui peut provoquer une maladie chez son hôte.

I.2. QUALITE DE L'EAU

La qualité de l'eau desservie et consommée par la population doit respecter les normes en vigueur en matière de potabilité pour limiter le risque de maladies.

I.2.1. Qualité microbiologique de l'eau

Plusieurs types de classifications existent pour la détermination de la qualité de l'eau de boisson parmi lesquelles nous avons l'échelle faite à partir de la norme de l'OMS et celle de FEACHEM. Ces deux types de classification sont celles qui ont été retenus pour l'étude (Feachem R. G & al 1983)

❖ Directives de l'OMS

L'objectif principal des *Directives de qualité pour l'eau de boisson* est de protéger la santé publique. Selon la définition qui en est donnée par les Directives, une eau de boisson saine ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie, compte tenu des variations de sensibilité éventuelles aux différents stades de la vie. Les directives présentent les recommandations de l'OMS pour la gestion des risques liés aux dangers pouvant affecter la sécurité sanitaire de l'eau de boisson. (Degremont, 1989)

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. En outre l'eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination ainsi que toute substance toxique. (Dos Santos S, Legrand T., 2007)

L'eau rurale ou péri-urbaine, en zones tropicales ou sub-tropicales, répond rarement aux normes de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé : coliformes totaux au plus à 10 pour 100 ml d'eau; coliformes fécaux 0 pour 100 ml. Il est fortement recommandé de se rapprocher, le plus possible, de ces valeurs indicatives.

Cependant, l'OMS, en publiant ses « Directives de qualité pour l'eau de boisson », laisse aux Autorités compétentes des Etats le soin d'établir des normes nationales en fonction des contextes économique, socioculturel et écologique.

Les tableaux 1, 2 et 3 donnent la classification de la qualité de l'eau en tenant compte du nombre ces indicateurs microbiologiques trouvés dans les échantillons d'eau :

Tableau 1 : Classification de la qualité de l'eau en fonction de nombre d'indicateurs [36].

Nombre d'indicateurs	Type de pollution
0	Eau potable
1	Eau peu polluée
2	Eau moyennement polluée
3 et plus	Eau très polluée

Tableau 2 : Classification de l'eau en fonction de risque pour la santé [26].

Coliformes fécaux/ 100ml	Risque pour la santé	Niveau d'intervention
0	Sans risque	Aucune action
1 à 10	Bas risque	Aucune action
11 à 100	Risque intermédiaire	Action faiblement prioritaire
101 à 1000	Haut risque	Action plus fortement prioritaire
Plus de 1000	Très haut risque	Action urgente requise

Tableau 3 : Risque associé à la contamination fécale de l'eau de boisson

Niveau d'E. coli (CFU/100 mL)	Risque	Action recommandée
0-10	Qualité raisonnable	L'eau peut être consommée telle quelle
11-100	Pollué	Traiter si possible, mais peut être consommée telle qu'elle est
101-1 000	Dangereuse	Doit être traitée
>1000	Très dangereuse	A rejeter ou à traiter intensivement

I.3. Normes de potabilité d'eau

I.3.1. Normes physico-chimiques de qualité de l'eau

Les normes physico-chimiques de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine ne subissent pas trop de variation les unes par rapport aux autres. Le tableau 2 présente la concentration maximale admissible selon les normes de l'OMS (2011) et de l'UE (2007).

Tableau 4 : Concentration maximale admissible dans l'eau destinée à la consommation humaine

Paramètres	Unité	OMS	UE
pH	Unité pH	6.5- 8.5	6.5-9.5
Conductivité à 20 °C	µS/cm	< 1200	<1250
Température	°C	22 - 25	25
Couleur vraie	UC	< 15	APC
Odeur	Seuil		APC
Turbidité	NTU	< 5	0.5
TDS	mg/l	< 600	PVG
Alcalinité phénolphtaléine	mg/l	PVG	PVG
Alcalinité totale	mg/l	PVG	PVG
Bicarbonates	mg/l	PVG	PVG
Carbonates	mg/l	PVG	PVG
Calcium	mg/l	100	100

Dureté calcique	mg/l	PVG	PVG
Dureté magnésienne	mg/l	PVG	PVG
Dureté totale	mg/l	100- 300	PVG
Salinité	mg/l	PVG	PVG
Sodium	mg/l	< 200	200
Nitrites	mg/l	< 0.2	0.5
Nitrates	mg/l	<50	50
Sulfates	mg/l	< 250	250
Fluorure	ug/l	<1500	1500
Chlorure	mg/l	< 250	250
Aluminium	mg/l	< 0.2	0.2
Ammonium	mg/l	PVG	0,5
Fer	mg/l	< 0.2	0.2
Magnésium	mg/l	< 50	50
Manganèse	mg/l	<0.1	0.05
Arsenic	ug/l	10	10
Cuivre	mg/l	< 2	2
Zinc	mg/l	<3	PVG
Cyanure	mg/l	<0,2	0,2
Phosphate	mg/l	0,02	1
Oxydabilité (O ₂ au KMnO ₄) en mg/l	mg/l	5	5

Légende : PVG=Pas de valeur Guide ; ACP= Acceptable pour consommateur

I.5. Normes microbiologiques de la qualité de l'eau

Les directives de qualité de l'eau potable sont très rigoureuses.

Elles s'appuient, en général, sur les travaux médicaux établissant les doses maximales admissibles (DMA). Sur cette base, on calcule la quantité maximale de chacun des composants, laquelle peut être apportée par l'eau, en prenant une confortable marge de sécurité. C'est le principe de précaution.

Ainsi, le tableau ci-dessous consigne les directives microbiologiques de l'eau établies par l'OMS.

Tableau 5 : Directives de potabilité microbiologique de l'eau selon l'OMS (2011)

Micro-organisme	Nombre de micro-organisme dans un volume d'eau
<i>Escherichia coli</i>	Absence dans 100 ml d'eau
Streptocoques fécaux	Absence dans 100 ml d'eau
Coliformes fécaux	Absence dans 100 ml d'eau
<i>Clostridium sulfo-réducteur</i>	Absence dans 100 ml d'eau

Bien que l'OMS, en publiant ses « Directives de qualité pour l'eau de boisson », laisse aux autorités étatiques le soin d'établir des normes nationales, en fonction des contextes économique, socio-culturel et écologique, tel est le cas de l'OCC en RD Congo.

Tableau 6 : Normes de potabilité de l'eau de distribution nationale en RD Congo (OCC, 2013)

Germes	Concentration maximale admissible dans l'eau
Coliformes fécaux (nombre / 100 ml)	< 10
Streptocoques fécaux (nombre / 100 ml)	< 10
Coliformes totaux (nombre / 100 ml)	< 10
<i>Escherichia coli</i> (nombre / 100 ml)	0
<i>Clostridium sulfito-réducteurs</i> (nombre/100ml)	< 10
Bactériophages fécaux (nombre / 100 ml)	0
Streptocoques pathogènes (nombre / 100ml)	0
Staphylocoques (nombre/100ml)	0
- <i>Salmonella</i> (nombre / 100 ml)	0
- <i>Shigella</i> (nombre/ 100ml)	0
- <i>Vibrio cholera</i> (nombre/100ml)	0
- Flores aérobies mésophiles (germes totaux) : Nombre /100ml	< 1000

I.3. Problème d'eau de consommation dans la ville de Kisangani

Bien que faisant partie de la République Démocratique du Congo possédant une grande quantité de ressource en eau comme le fleuve Congo, rivière Tshopo, rivière Lindi qui la traversent, depuis un certain temps, depuis le début des années 2000, la ville de Kisangani subie d'énormes problèmes d'eau, surtout celles potables.

Cette situation impacte le quotidien des Boyomais sur plusieurs plans et beaucoup plus au niveau des ménages et eau de boisson. Elle provoque plusieurs maux, surtout des maladies hydriques, des maladies des mains sales, des maladies des dermatologiques et tant autres, cela est causé suite à l'agrandissement de la ville dont plusieurs coins n'arrivent pas à être

servis par la REGIDESO, à mauvais entretien des tuyauteries de la REGIDESO qui date depuis les années 1960, à la mauvaise urbanisation des ménages dont les installations hygiéniques sont passées sur les voix de conditionnement d'eau de la REGIDESO, la coupure en répétition du courant et de l'eau de robinet qui font à ce qu'il y ait probabilité des métaux lourds et autres.

Vu la gravité de cette situation, plusieurs personnes font recours aux eaux souterraines pour s'approvisionner. D'après une étude que nous avons menée en 2016 dans la ville de Kisangani, nous nous sommes abouti à de conclusion telle que :

Seulement 41,78% de la population de la ville de Kisangani utilise normalement l'eau de robinet pour toute sorte de travaux, 33,21% font recours aux eaux des sources, 17,01% utilisent eaux de puits et 8,00% font recours aux eaux de fleuve et rivières. (Cellule eau ULIKIS, 2018)

I.3.2. Paramètres usuels déterminants la qualité d'une eau de consommation

Pour déterminer la qualité d'une potable ou de consommation humaine, on se base sur quelques paramètres suivants :

- Paramètres physiques et organoleptiques : Température, turbidité, coloration, la saveur,...
- Paramètres physico-chimiques : conductivité, pH, matières organiques, chlore, THA, THC, dureté totale, potassium, sodium, azote, Fer, DBO, DCO...
- Ions toxique : Nitrate, Nitrite, ...
- Paramètres bactériologiques : Coliformes totaux, germes totaux, *Escherichia coli*,...

Tableau n°7 synthèse des paramètres Physico-chimiques analysés

Paramètres analysés	Élément analysé
Physiques	Couleur, température, turbidité, odeur, ...
Physico-chimiques et ions toxiques	pH, Conductivité, MO, Alcalinité, TAC, TA, Cl ⁻ , ...
Bactériologiques	Coliformes totaux, Germes totaux, <i>Escherichia coli</i> ,...

I.4. Maladies hydriques

Une eau claire et limpide à vue d'œil peut être porteuse d'agents pathogènes ou vecteurs de maladies communément appelée maladies d'origines hydriques. Un auteur a démontré que toute eau contenant des agents pathogènes, consommée par un individu, occasionnerait un risque microbiologique pouvant entraîner une exposition à une maladie.

Définies comme étant des maladies causées par l'ingestion ou le contact avec des eaux de mauvaises qualités (insalubres), les maladies hydriques sont celles qui déciment le plus la population rurale dans les régions africaines. Ces maladies sont provoquées par une eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques Ces maladies sont répertoriées en quatre grands groupes :

- Les maladies hydriques ou les maladies de l'eau sale : ce sont des maladies causées par la consommation d'une eau sale ou d'une eau contenant des déchets humains ou chimiques ; On peut donc noter la fièvre typhoïde, les affections de diarrhéiques ;
- Les maladies à support hydriques qui sont causées par les vers. On a donc dans cette catégorie, les maladies comme la bilharziose, les plathelminthes ;
- Les maladies dues aux vecteurs liés à l'eau : ce sont des maladies dues à l'intervention d'un vecteur appelé agent pathogène. On peut donc citer le paludisme, ou la dengue ;
- Les maladies aggravées par la pénurie de l'eau : dans cette catégorie on retrouve le VIH, la tuberculose ou encore le trachome.

Tableau 8 : Quelques agents pathogènes, maladies et symptômes associés (OMS, 2013).

Groupes	Pathogènes	Maladies et symptômes
Bactéries	<i>Aeromonas spp</i>	Entérite
	<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Campylobactériose : diarrhée, crampes, douleurs abdominales, fièvre, nausée, arthrite ; syndrome de Guillain-Barré.
	<i>Escherichia coli</i>	Entérite
	<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Entérite
	<i>Samonella typhi/paratyphi</i>	Fièvre typhoïde/paratyphoïde, maux de tête, fièvre, malaise, anorexie, bradycardie, splénomégalie, toux.
	<i>Salmonella spp</i>	Salmonellose : diarrhée, fièvre, crampes Abdominales. Shigellose : dysenterie (diarrhée sanglante), vomissements, crampes, fièvre; syndrome de Reiter.
	<i>Shigella spp.</i>	Cholera : diarrhée aqueuse, létale dans les cas graves et non traités.
	<i>Vibrio cholerae</i>	Yersiniose : fièvre, douleur abdominale, diarrhée, douleurs articulaires, rash.

Virus	<i>Yersinia spp.</i>	
	Adénovirus entérique	Entérite
	Astrovirus	Entérite
	Calicivirus (norovirus)	Entérite
	Coxsackievirus	infection respiratoire ; entérite ; méningite virale Méningite aseptique ; encéphalite : souvent Asymptomatique
	Echovirus	Méningite ; encéphalite ; paralysie
	Entérovirus types 68–71	
	Virus de l'hépatite A	Hépatite : fièvre, malaise, anorexie, nausée, gêne abdominale, ictère
	Virus de l'hépatite E	Hépatite
	Poliovirus	Poliomyélite : souvent asymptomatique, fièvre, nausée, vomissement, maux de tête, paralysie
Rotavirus	Entérite	
Helminthes	<i>Cryptosporidium sp</i>	Cryptosporidiose : diarrhée aqueuse, crampes et douleurs abdominales. Amibiase : souvent asymptomatique ; dysenterie, gêne abdominale, fièvre frisson.
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Giardiase : diarrhée, crampes abdominales, malaise, perte de poids.
	<i>Giardia intestinalis</i>	Ascariadiase : respiration sifflante, toux, fièvre Enterite, eosinophilie
	Ascaris lumbricoides	pulmonaire Taeniase Richiuriase : d'asymptomatique (vague détresse du tractus digestif) à l'émaciation avec peau sèche et diarrhée. Prurit, rash, toux, anémie, déficience protéique
	<i>Taenia solium/saginata</i>	
	<i>Trichuris trichiura</i>	Schistosomiase, bilharziase
	<i>Ancylostomaduodenale</i> / <i>Necator americanus</i> (ver à crochets)	
	<i>Schistosoma spp</i> (douve)	

Tableau 9 : Classification du risque de l'eau pour la santé (WHO, 1997).

Nombre des C.F par 100 ml	Risque pour la santé
0	Sans risque
1-10	Bas risque
11-100	Risque intermédiaire
101-1000	Haut risque
>1000	Très haut risque

II.1.1. Présentation de la ville de Kisangani

1. Situation géographique

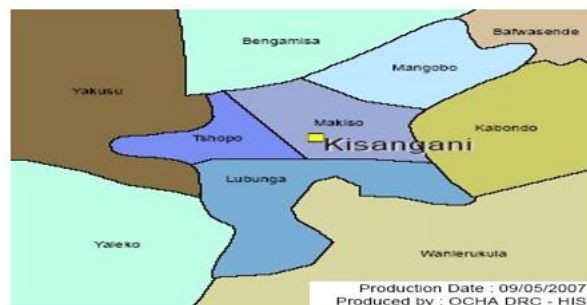


Fig 2. Carte géographique de la ville de Kisanga

La ville de Kisangani est le chef-lieu de la province de la Tshopo située au Nord-est de la République Démocratique du Congo. Elle est constituée de 6 communes urbano-rurales:

Mangobo, Makiso, Kisangani, Kabondo, Tchopo, Lubunga et secteur lubuya bera sur une superficie de 1910 Km². Sa population s'élève à 1,709 million d'habitants (2018), soit une densité de 895 habitants par Km².

Outre le fleuve Congo qui longe la ville de Kisangani dans ses limites Nord-est et Sud-est, la ville de Kisangani est parcourue par plusieurs rivières et ruisseaux.

Le relief est dominé par la plaine qui s'étend au Sud-ouest dont l'altitude est comprise entre 200 à 500m et qui se situe dans la cuvette centrale, province de la Tshopo.

Le climat est de type équatorial continental, caractérisé par les précipitations durant toute l'année, sans saison sèche déterminée, cette zone équatoriale englobe la quasi-totalité de la Tshopo et s'étend jusqu'au Sud des Uélé.

La ville de Kisangani est limitée au nord par le territoire de Banalia, au nord-est par le territoire de Bafwasende, à l'ouest par le territoire d'Opala, au nord-ouest par le territoire d'Isangi et au sud par le territoire d'Ubundu. Elle est située à 00° 31' latitude nord et 25° 11' longitude est. L'altitude est de 447 mètres et sa superficie est de 1 910 km² d'après l'Institut National de Statistique (INS). Sa météo varie de 24 à 30° (Mairie Kisangani, 2022

II.2. Matériels et Méthodes

II.2.1. Prélèvement

Pour n'est pas faire la confusion des échantillons lors de conservation, nous avons étiqueté chaque échantillon lors de prélèvement avant de le ramener au laboratoire pour une bonne conservation à la température ambiante pour attendre les analyses.

Les échantillons pour la physico-chimie ont été prélevés dans des flacons en plastique à un volume d'un litre pour une analyse complète. Nous avons utilisé pour les prélèvements destinés aux analyses bactériologiques des Erlen meyers stériles de 250ml dans les conditions aseptiques requises. Après le prélèvement, les Erlen meyers ont été lisiblement étiquetés et mis dans la glacière et amenés au laboratoire pour les analyses, accompagnés d'une note portant tous les renseignements nécessaires.

Tableau n°3. Les sources d'eaux échantillonnées dans la commune Kabondo

N°	Source	Commune	Coordonnées géographiques	
01	Masele 1	Kabondo	N 00°c 32' 03'' 8''	E 025°c 13' 00'' 5''
02	Kambakamba	Kabondo	N 00°c 32' 34'' 2''	E 025°c 13' 21'' 6''
03	Ndembe	Kabondo	N 00°c 31' 41'' 5''	E025°c 13' 14'' 6''
04	14ième trans	Kabondo	N 00°c 31' 45'' 7''	E025°c 13' 13'' 6''
05	Lofalanga	Kabondo	N 00°c 31'' 40'' 7''	E025°c 13' 10'' 8''
06	Masele 2	Kabondo	N 00°c 31' 41'' 5''	E025°c 15' 0'' 5''
07	Tokei	Kabondo	N 00°c 31' 30'' 2''	E025°c 14' 49'' 0''
08	<u>Tchapete</u>	Kabondo	N 00°c 31' 00'' 7''	E025°c 14' 41'' 9''



Fig 7. Prélèvement d'échantillon pour les analyses physico-chimiques



Fig 9. Prélèvement des échantillons pour la microbiologie

II.2.1. Matériel d'étude

Notre matériel d'étude est constitué des échantillons d'eau des sources utilisées et consommées par les habitants de la commune Kabondo.



Fig 4. Echantillon d'eau

En dehors de l'eau, nous avons aussi utilisé d'autres matériels d'accompagnement tels que : Bocal en plastique de 1,5litre , Erlenmeyer de 250ml, glacière, moto, pHmètre, Thermomètre, Turbidimètre, GPS, colorimètre, balance, bain marie, autoclave, béché, étuve, conductimètre, éprouvette gradué, burette, bec benzène, spectrophomètre, ...

II.3. Conservation des échantillons

II.3.1. Physico-chimique

Les échantillons prélevés sont conservés dans des bocaux en plastique de 1,5 litres bien nettoyés et rincés par les eaux à analyser et fermés, puis étiquetés selon les sites de prélèvement avant d'être acheminer au laboratoire pour les analyses. Sur le lieu de prélèvement avant la conservation, nous avons prélevé directement le pH, le chlore et la température. Ensuite les échantillons sont mis dans des frigo box (glacière) bien nettoyés tout en y ajoutant une quantité d'eau de la même source pour garder la température, puis acheminés au laboratoire où ils sont conservé pour attendre les analyses.



Fig 8. Frigo box de conservation pour les analyses physico-chimiques

Les échantillons pour la bactériologie sont conservés dans des bocaux à plastique de 500ml stérilisés au laboratoire de bactériologie puis bien conservé dans la marmite de conservation possédant 8 places pour 8 bocaux, bien étiquetés selon les sources, puis acheminés au laboratoire bactériologique de la faculté des Sciences de l'UNIKIS pour poursuivre les analyses.



Fig 10. Conservation des échantillons microbiologique

II. 4. Méthodes d'analyse

II.4.1. Paramètres physico-chimiques

Les méthodes utilisées par paramètre sont les suivantes: lep H est déterminé sur le terrain avec un pH-mètre WTW 330i/SET avec une précision de 0,1 ; les composés azotés (nitrates, nitrites) : les nitrates sont dosés au nitrover 5 (méthode de réduction du cadmium), les nitrites au nitriver 3 (méthode de diazotisation). La précision est de $\pm 0,03$ mg l N pour les nitrates, $\pm 0,0011$ mg l N pour les nitrites ; La turbidité est mesurée à partir d'un néphélomètre avec le détecteur installé au côté du faisceau lumineux. Plus de lumière atteint le détecteur s'il y a un bon nombre de petites particules dispersant le faisceau de source que s'il y a peu ; la dureté totale a été déterminée grâce à un spectrophotomètre DR/4000, avec la longueur d'onde de 522 nm ;

Le dosage de fer a été possible grâce à un spectrophotomètre DR/4000, avec la longueur d'onde de 562 nm ; La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré (HACH. 2000). Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques. Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates.

II.4.2. Paramètres Bactériologiques

II.4.2.1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.

Les coliformes fécaux ont été dénombrés dans le bouillon de lauryl sulfate selon la technique de filtration sur membrane. Cette méthode consiste à faire passer 100 ml au travers d'une membrane filtrante (une membrane Millipore dont la porosité moyenne est de 0,45 μm à 0,22 μm) sur laquelle sont retenus les microorganismes recherchés. Après filtration, cette membrane est déposée dans une boîte de Pétri contenant un milieu de bouillon de lauryl sulfate. Après 18 heures ou 24 heures d'incubation à 44°C, les coliformes fécaux se multiplient plusieurs fois et forment des colonies qu'on peut apercevoir à l'œil nu. On reconnaît les coliformes fécaux par leur capacité à changer la couleur (du rouge au jaune) du milieu de culture à 44°C. On enregistrera les résultats par unités de colonies formées par 100ml d'eau (CFU/100ml) (CUQ, 2010 ; LAMBERT, 1989).

II.4.2.2. Dénombrement des streptocoques fécaux.

Les streptocoques fécaux ont été dénombrés dans le milieu de Bile Esculine Azide selon la technique décrite ci-dessus. Après 24 heures d'incubation à 37°C, sur ce milieu, ces germes présentent un pigment noir, des colonies qu'on peut apercevoir à l'oeil nu. On enregistre les résultats par unités de colonies formées par 100ml d'eau (CFU/100ml) (LAMBERT, 1989 ; CUQ, 2010).

II.4.2.3. Isolement et dénombrement de E. coli

L'Escherichia coli a été isolé et dénombré sur le milieu Luria Bertani(LB). Le milieu LB favorise une croissance luxueuse des cellules d'E. coli, car la tryptone et l'extrait de levure fournissent des facteurs de croissance essentiels que les cellules d'E. coli devraient autrement synthétiser.

II.4.2.4. Recherche de Salmonella

La mise en évidence des *Salmonella* nécessite plusieurs phases ou étapes :

- Un pré-enrichissement (revivification) qui est facultatif pour les produits non soumis à certains types de traitements technologiques susceptibles de "stresser" les bactéries ;
- Un enrichissement sélectif (obligatoire) ;
- Un isolement sélectif.

a) Pré-enrichissement

Ainsi, 5 ml d'échantillons d'eau sont mélangés dans 45 ml de milieu d'eau peptonée tamponnée (pré-enrichissement) pendant 2 minutes. L'incubation est réalisée pendant 24 h à 37°C.

b) Enrichissement

Il a consisté à enrichir 25ml d'eau à analyser dans 50ml de bouillon Rappaport-Vassiliadis et à incuber le mélange obtenu à 37°C pendant 18-24 heures.

c) Isolement

La gélose SS a étéensemencée par stries à partir du Bouillon Rappaport-Vassiliadis. Après 48 h d'incubation à 37°C, les colonies se présentent sous les aspects suivants : colonies incolores lactose- (*Salmonella*) ou colonies à centre noir brillant (*Salmonella*).

II.4.3. Technique de Traitement

L'échantillon prélevé aux différentes sources de la commune de Makiso a été transporté au laboratoire de biotechnologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani pour qu'elle soit analysé, et ces données ont été traités par les logiciels SPSS et Excel.

II.5 Variables de la Recherche

Les paramètres physico-chimiques (les valeurs de pH, température, chlore libre, TA, TAC, THt, matières en suspension de l'eau, teneur en turbidité, teneur en fer, teneur en nitrite, teneur en ion chlorure, et teneur en nitrate)

Les paramètres bactériologiques : les coliformes fécaux et totaux, streptocoques fécaux, Escherichia coli et salmonella. (KAZADI M Z, 2012)

DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques (qualité les valeurs de pH , température, chlore libre, TA, TAC, THt, matières en suspension de l'eau, teneur en turbidité, teneur en fer, teneur en nitrite, teneur en ion chlorure, et teneur en

nitrate) des eaux de boisson des différentes sources de la commune Kabondo sont présentés dans le tableau en annexe tandis que le tableau 7 et la figure I donnent l’appréciation de la qualité physico chimiques des eaux des sources

Tableau 7. Appréciation de la qualité physico chimique des eaux des sources

Germes recherchés	Valeurs des paramètres			Taux de conformité en %	
	valeur Min-Max	Moy	Critère	Conforme	non conformes
pH	6,5-7	6,7875	6,5-8,5	100	0
Température en °C	23-27	24,875	25	87,5	12,5
Turbidité en NTU	2,9-4,8	4,0125	<5	100	0
Nitrate en mg/l	36-76	55,5	<50	37,5	62,5
Chlore libre en mg/L	0-0	0	< 0,3	0	100
Fer en mg/L	0,06-0,07	0,06375	< 0,3	100	0
Nitrite en mg/L	0,01- 0,02	0,01625	< 0,1	100	0
Chlorure	7,1-42,6	23,075	<250	100	0
Matière oxydable	1,5-5,1	4,0125	<5	25	75

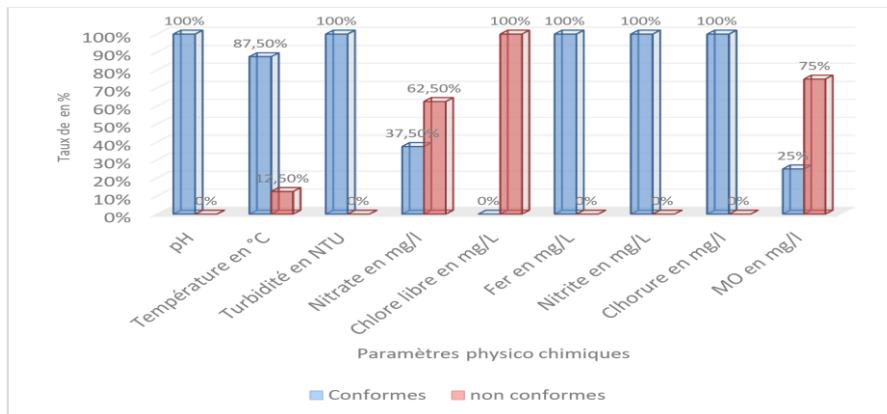


Figure I : Le taux de conformité et de non-conformité des paramètres étudiés

Il ressort du tableau 7 et de la figure I que dans l’ensemble des eaux des sources analysées, les valeurs de pH , teneur en turbidité, teneur en fer, teneur en nitrite et teneur en ion chlorure sont à 100% conformes aux normes de l’OMS tandis que la température, teneur en nitrate et en matière oxydable sont conformes respectivement en 87,5%, 37, 5% et 25%

III.2. Qualité bactériologique d’eaux de différentes sources

Les résultats des paramètres bactériologiques des eaux de boisson des différentes Sources de la commune Kabondo sont présentés dans le tableau en annexe tandis que la synthèse de ces résultats est reprise dans le tableau 8 et la figure II.

Tableau 8 Appréciation de la qualité bactériologique des eaux des sources

Germes recherchés	Nombre de germes en UFC/ml			Taux de conformité en %		
	valeur Min	Valeur Max	Moy	Critère	Conforme	non conformes
Germes tataux	22,7	189	88,9	100	62,5	37,5
Coliformes fécaux	9,667	53	28,5	0	0	100
Coliformes totaux Streptocoques fécaux	22,7	65,7	43,5	0	0	100
Escherichia coli	0,67	2	1,13	0	0	100
Salmonella	0	9,33	3,46	0	25	75

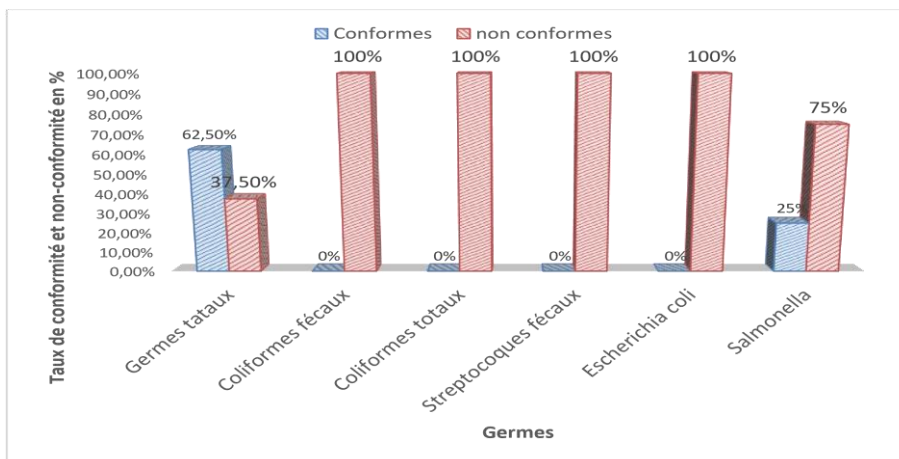


Figure II : Le taux de conformité et de non-conformité des paramètres étudiés

Le tableau 8 et de la figure II montrent que dans l'ensemble des eaux des sources analysées sont conformes à 62,5% pour les germes totaux et 25% pour les salmonella tandis qu'ils sont non conformes à 100% pour les coliformes fécaux, coliformes totaux streptocoque et Escherichia coli

Tableau 9 Qualité des eaux des sources analysées selon Feacher

Source	Moyenne de CF/100ml	Qualité selon Féachem
Masele 1	9,67	Bonne
Kambakamba	10,76	Bonne
Ndembe	12,67	Moyenne
14ième trans	23,33	Moyenne
Lofalanga	36	Moyenne
Masele 2	37,67	Moyenne
Tokei	53	Moyenne
Tchapete	45	Moyenne

Nous observons dans le tableau 9 que deux sources (% (Masele 1 et Kambakamba) sur les huit soit 25% sont de bonne qualité malgré la présence des coliformes fécaux.

Tableau 10 : Risque pour les consommateurs

Source	Moyenne de CF/100ml	Risque selon OMS
Masele 1	9,67	Bas risque
Kambakamba	10,76	Bas risque
Ndembe	12,67	Risque intermédiaire
14ième trans	23,33	Risque intermédiaire
Lofalanga	36	Risque intermédiaire
Masele 2	37,67	Risque intermédiaire
Tokei	53	Risque intermédiaire
Tchapete	45	Risque intermédiaire

Le tableau 10 montre que la consommation de l'eau de deux sources (Masele 1 et Kambakamba) sur les huit soit 25% présente un bas risque pour les consommateurs tandis que pour les autres sources le risque est intermédiaire.

CONCLUSION

Nous arrivons à la fin de cette recherche en disant à la population boyomaise vivant dans la commune de Kabondo et environs utilisant les eaux des sources analysées qu'il est important de purifier d'abord ces eaux avant sa consommation et d'autres usages ménagères qui touchent directement à la santé, car sur les 8 sources analysées, 6 présentent déjà des risques bactériologiques intermédiaires à la santé. Ce déjà un danger sanitaire qui peut être à la base de plusieurs maladies hydriques qu'elles subissent.

Nous interpellons les autorités politico-administratives de bien vouloir disponibiliser de l'eau potable à la population tout en disposant le nécessaire au service attitré, il faut agir maintenant pour sauver la santé de la population, car un peuple malade, c'est un pays en voie de disparition.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Abdellatif, 2006., *Traitement des eaux de source bousfer Oran*, Mémoire de Licence, Université des Sciences et de la Technologie, Oran, p120.
- [2]. Aka N, Bamba SB, Soro G, Soro N, 2013 : *Étude hydro chimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Cote d'Ivoire)*. Larhyss Journal, 16 : 31-52.
- [3]. Akil A., Hassan T., Fatima E. H., Lahcen B., Abderrahim L., 2014 : *Etude de la qualité physicochimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, (Haïti)*, 10p.
- [4]. X. Anglaret, E. Mortier, 2002 : *Maladies infectieuses*, Edition, Med-Lin., p: 40-43.
- [5]. Brangeon S., 2015 : *La gestion des déchets des acteurs de l'aide. Etude de cas, Haïti.CEFREPADE*. Observatoire du groupe URD en Haïti, 44p.
- [6]. Carbonnelle, et al, 1987 : *Bactériologie médicale : Techniques usuelles*. SIMEP SA, Paris, p121-137, 146-155.
- [7]. Chippaux J P, Houssier S, Gross P, Bouvier C et Brissaud F., 2002 : *Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger*. Bull Soc Pathol Exot, 119-223.
- [8]. Coulibaly K, 2005 : *Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits de certains quartiers du district de Bamako* ; Thèse de Doctorat en Pharmacie, Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie, Université de Bamako, pp69.
- [9]. Croix-Rouge, 2021 : *Traitement et stockage sûr de l'eau à domicile dans les situations d'urgence*, 51p.
- [10]. Dahel Zanat, 2009 : *Mémoire de Magistère, Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord-Est algérien à travers un bioindicateur la moule Perna perna*, Université Badji-Mokhtar, Annaba, p: 69.

- [11]. Dégbey C & al, 2008 : *qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin. Environnement Risques Santé* 2008; 7 : 279-283
- [12]. Debabza, 2005 :: *Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes*, Mémoire de Master en Microbiologie appliquée Université des sciences de BadjiMokhtar, Annaba(Algérie),125p.
- [13]. Degremont, 1989. *Mémento technique de l'eau, Tome 1 & 2, Collection Degremont, ISBN 2-9503984-0-5, p: 1459.*
- [14]. Dos Santos S, Legrand T., 2007 : *Accès à l'eau et mortalité des enfants à Ouagadougou (Burkina Faso). Environnement Risques & Santé* 2007; 6 (5): 365-71
- [15]. Feachem (1980) Feachem R. G., Bradley D. J., Garelick H., Mara D. D. (1983). *Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley Ed. :380-393.
- [16]. Ghazali D., Zaid A., 2013 : *Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (REGION DE MEKNES/MAROC)*. Larhyss Journal, ISSN1112-3680, n° 12, Janvier 2013, pp. 25-36.
- [17]. Ghizellaoui, (2010). S. Ghizellaoui, 2010 : *Evaluation de la qualité des ressources en eau alimentant la ville de Constantine, prévision de la demande en eau à l'horizon, Thèse de magister en chimie analytique et traitement des eaux, p: 13-24.*
- [18]. Kahoul M. et Touhami M., 2014 : *Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie)*. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, pp. 129-138.
- [19]. Kazadi Malumba A. Z ; 2012 : *Contribution à l'étude de la qualité et de la gestion de l'eau de boisson dans la région de Kisangani*, These inédite Fac.des Sciences, UNIKIS, 243p.
- [20]. Kimassoum D, Tidjani A, Doutoum AA, Ameyapoh Y, Soncy K, Dossou K, Anani K, de Souza C. 2011 : *Évaluation de la qualité hygiénique de l'eau de robinet produite par la Société Togolaise des Eaux (TdE) : cas de neuf quartiers de la Commune de Lomé (Togo)*. Association Africaine de Microbiologie et d'Hygiène Alimentaire, 23(68): 51-54.
- [21]. Lagnika M. & al., 2014 : *Caractéristiques physicochimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobé (Bénin, Afrique de l'Ouest)*. Journal of Applied Biosciences 79 :6887-6897. ISSN 1997-5902.
- [22]. Levallois P. et Phaneuf D., 1992 : *Les risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates*. Bulletin d'information en santé environnementale. Centre de santé publique de Québec. Volume 3 - No 3,18p.
- [23]. Leynaud G., 1968 : *Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique*. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- [24]. Makoutode M, Assani AK, Ouendo E-M, Agueh VD, Diallo O, 1999 : *Qualité et mode de gestion des eaux de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo*. Médecine d'Afrique Noire : 46 (11).
- [25]. Monjour L., 2000: *Désinfection et chloration de l'eau dans les pays du tiers-monde*. EAST, Paris, www.oieau.fr/ciedd/contributions/at1/contribution/monjour.htm, 4 p.
- [26]. Mouffok, 2008 : *hygiène et de microbiologie des eaux de boisson*, Manuel des travaux pratique des eaux. Institut Pasteur d'Algérie, p: 53.
- [27]. Odoulami L.,2009 : *Problématique de l'eau potable et de la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin)*. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi. 230p.
- [28]. OMS, 1994 : *Directives de qualité pour les eaux de boisson*. Volume 1 Recommandation. Organisation Mondiale de la Santé, 2e édition, 34p.
- [29]. OMS, 2011 : *Stratégies pour la gestion sans risque de l'eau de boisson destinée à la consommation humaine*, 7p.