

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT

**DISTRIBUTION DES FORMES DE RESISTANCE DES PARASITES
INTESTINAUX DANS LES EAUX SOUTERRAINES A CONSOMMATION
DOMESTIQUE DE NKOMETOU (Région du centre) : Relations avec les
variables abiotiques**

Présenté en vue d'obtenir le diplôme de Master en Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

JOUEGO WAFO GENEVIÈVE

Licenciée ès-Sciences

Matricule : 14L2740

Sous la direction de

AJEAGAH Gidéon AGHAINDUM

Professeur



Année académique : 2023-2024

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT

**DISTRIBUTION DES FORMES DE RESISTANCE DES PARASITES
INTESTINAUX DANS LES EAUX SOUTERRAINES A CONSOMMATION
DOMESTIQUE DE NKOMETOU (Région du centre) : Relations avec les
variables abiotiques**

Présenté en vue d'obtenir le diplôme de Master en Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

JOUEGO WAFO GENEVIÈVE

Licenciée ès-Sciences

Matricule : 14L2740

Sous la direction de

AJEAGAH Gidéon AGHAINDUM

Professeur

Année académique : 2023-2024

DEDICACE

A mes enfants **DEPP BEMO** Elon Joël et **DEPP BAKAM** Angela Nolwenn.

REMERCIEMENTS

La rédaction de ce mémoire n'aurait été possible sans l'intervention de certaines personnes, qu'elles trouvent ici l'expression de mes plus sincères remerciements.

Je rends grâce au Seigneur Dieu Tout -Puissant pour la force et le courage qu'il m'a procurés afin que ce travail soit réalisé, surtout son accompagnement à chaque instant de ma vie.

Je tiens en premier lieu à exprimer ma reconnaissance envers le Pr. **AJEAGAH Gideon AGHAINDUM** pour avoir accepté l'encadrement de ce travail, pour sa patience et son encouragement.

J'exprime ma gratitude à nos Professeurs d'Hydrobiologie et Environnement, en particulier les Professeurs **NOLA Moïse, ZEBAZE TOGOUET Serge, FOTO MENBOHAN Samuel, NOAH EWOTI Olive MOUNGANG Lucianne Marlyse** et **TAMSA Antoine Arfao** pour la qualité de formation reçues.

Je suis également reconnaissante à l'égard de mes aînés et amis du laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement en particulier les Docteur **ASI Quiggle ATUD** et **TSOMENE Pierre** pour leur disponibilité et leur contribution à l'élaboration de ce travail ; Mlles **YOUNGUI Cynthia, MVOE Stéphanie, MATIALEU Blandine, KOMBO Maëva, MAMBOUNE Martine,** Messieurs **NDOURWE Bolivar, NZOMBI Yannick, et NWUKI Ibrahim** mes remerciements à **MORNDA Exaucé** pour son soutien.

J'exprime ma reconnaissance à l'endroit de mes très chers parents **WAFO Leonid et BAKAM Solange**

qui m'ont encouragé tout au long de mes études, m'ont incité à la vigilance, à l'honnêteté et à l'amour du savoir. Que ce travail soit la preuve de mon grand amour, de ma gratitude et de mon attachement éternel. Que Dieu tout- puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie afin que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants.

A mon mari **DEPP Rudi Brecht** merci pour ton amour, ton soutien et tes encouragements qui ont toujours été pour moi d'un grand réconfort.

A mes frères et ma sœur, je vous suis très reconnaissant pour ces années passées auprès de vous. Merci d'avoir été là, vous avez rendu les choses faciles.

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
RESUME	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
I.1. Généralités et définition des eaux souterraines.....	3
I.1.1. Caractéristiques des eaux souterraines.....	3
I.1.2. Emergence des eaux souterraines à la surface des sols.....	4
I.1.3. Définition et différents types de sources	4
I.1.4. Principaux types et origine de la pollution des eaux souterraines	4
I.1.5. Paramètres physiques d'évaluation de la qualité des eaux souterraines	5
I.1.6. Quelques paramètres chimiques d'évaluation de la qualité des eaux souterraines.....	5
I.2. Généralités sur les Protozoaires	5
I.2.1. Protozoaires Flagellés	6
I.3. Amibes.....	7
I.3.1. Position systématique des amibes entéropathogènes	7
I.3.2. Description d'une amibe : <i>Entamoeba histolytica/dispar</i>	8
I.3.3. Cycle évolutif de <i>Entamoeba histolytica/dispar</i>	9
I.4. Sporozoaires.....	9
I.4.1. Systématique des sporozoaires	10
I.4.2. Description et cycle de développement d'un sporozoaire : <i>Cryptosporidium</i> <i>parvum</i>	11
I.5. Les Ciliés.....	12
I.5.1. Systématique des ciliés.....	12
I.5.2. Cycle évolutif de <i>Balantidium coli</i>	13
I.6. Prophylaxie contre les protozooses	13
I.7. Généralités sur les Helminthes.....	13
I.7.1. Caractéristiques des helminthes parasites intestinaux.....	14

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	19
II.1. Matériel.....	19
II.2. Description des stations d'étude	20
II.2.1. Paramètres biologiques	22
II.2.2. Paramètres hydrologiques	23
II.2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	23
II.2.4. Analyses des données.....	25
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	27
III.1. RESULTATS.....	26
III.1.1. Paramètres hydrologiques	26
III.1.2. Analyse biologique.....	26
III.1.3. Variation spatiotemporelle des paramètres physiques.....	34
III.1.4. Variation spatiotemporelle des paramètres chimiques	36
III.1.5. Corrélation de Spearman.....	39
III.1.6. Analyse en Composantes Principales	40
III.2. DISCUSSION.....	42
III.2.1. Caractéristiques biologiques	42
III.2.2. Caractéristiques physico-chimiques	43
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45
ANNEXES	A

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Description de quelques formes de résistance des flagellés intestinaux	6
Tableau II : Description de quelques formes de résistances des Amibes intestinales.....	8
Tableau III : Description de quelques formes de résistance des Coccidies.....	10
Tableau IV : Description de la forme de résistance de <i>Balantidium coli</i>	12
Tableau V : Description de quelques formes de résistance des Cestodes intestinaux.....	15
Tableau VI : Variation des paramètres hydrologiques et calcul des risques de pollution.	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Processus d'émergence des eaux souterraines.....	4
Figure 2 : Cycle évolutif de <i>Giardia intestinalis</i> modifiée.....	7
Figure 3 : Cycle évolutif de <i>Entamoeba histolytica</i>	9
Figure 4 : Morphologie des Coccidies (Thivierge, 2014).....	11
Figure 5 : Cycle évolutif de <i>Cryptosporidium</i> sp.....	12
Figure 6 : Cycle évolutif de <i>Balantidium coli</i>	13
Figure 7 : Généralités sur les trématodes	14
Figure 8 : Cycle de développement des <i>Schistosomes</i>	14
Figure 9 : Généralités sur les <i>Cestodes</i>	15
Figure 10 : Cycle de développement de <i>Tænia solium</i>	16
Figure 11 : Caractéristiques des Nématodes.....	17
Figure 12 : Cycle de développement d' <i>Ascaris</i> sp.....	18
Figure 13 : Positions géographiques des stations d'échantillonnage.....	19
Figure 15 : Densité relative des différents kystes et oocystes de Protozoaires identifiés pendant la période d'étude.	27
Figure 16 : Variation spatiale et temporelle des espèces de protozoaires pendant la période d'étude.....	28
Figure 17 : Oocystes observés pendant la période d'étude (A : <i>Cryptosporidium</i> sp, B : <i>Cyclospora cayetanensis</i> , C : <i>Isospora belli</i> . Forme sporulée, D : <i>Sarcocystis hominis</i> .).....	28
Figure 18 : <i>Blastocystis hominis</i>	29
Figure 19 : Kystes d'amibe rencontrées pendant l'étude (A : <i>Entamoeba coli</i> , B : <i>Entamoeba histolytica</i>).	29
Figure 21 : kyste de <i>Balantidium coli</i> observé pendant l'étude.....	30
Figure 22 : Densité relative des différents œufs et larves des helminthes identifiés pendant la période d'étude.	31
Figure 22 : Variation spatio-temporelle des espèces d'helminthes pendant la période d'étude.	32
Figure 23 : Œufs de nématodes observés pendant l'étude (A : <i>Ascaris</i> sp., B : <i>Ankylostome</i> sp., C : <i>Enterobius vermicularis</i> , D : <i>Trichostrongyloides</i> , E : Les larves de strongyloides	33
Figure 24 : Œufs de cestodes observés pendant l'étude (A : <i>Hymenolepis nana</i> , B : <i>Diphyllobothrium</i> sp).....	33
Figure 25 : Œufs de <i>Fasciola</i> sp. observés pendant la période l'étude.....	34
Figure 26 : Variation spatiotemporelle de la température pendant la période d'étude.	34

Figure 27 : Variation spatiotemporelle des TDS et Densités pendant la période d'étude.	35
Figure 28 : Variation spatiotemporelle de MES pendant la période d'étude.....	35
Figure 29 : Variation des paramètres chimiques pendant la période d'étude, pH (A) et l'alcalinité (B).....	36
Figure 30 : Variation des paramètres chimiques pendant la période d'étude (oxygène (A), CO2(B) oxydabilité (C), conductivité électrique (D).....	37
Figure 31 : Variation des paramètres chimiques pendant la période d'étude (Ammonium(A), Carbonates(B), Nitrates (C), Nitrites (D).....	38
Figure 32 : Variations spatio-temporelle des chlorures (A) et Dureté totale (B).....	39
Figure 33 : ACP des paramètres physico-chimiques et biologiques.	41

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ACP	: Analyse en Composantes Principales
CDC	: Centers for Disease Control and prevention
CDE	: Camerounaise Des Eaux
HCFELCD	: Haut-Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification
HCL	: acide chlorhydrique
MES	: Matières en Suspension
NTU	: Nephelometric Turbidity unit
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONU	: Organisation des Nations Unies
PAEPYS	: projet d'alimentation en eau potable de la ville de Yaoundé et ses environs
Pt-Co	: Platinium-Cobal
S	: Source
S E	: Source Externe
S I	: Source Interne
SP	: Santé publique
TDS	: Total Dissolved Solids
U.C	: Unité Conventiionelle

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Variation des paramètres physico-chimiques pendant la période d'étude.....	A
Annexe 2 : Abondance des kystes et oocystes des protozoaires pendant l'étude (Kystes/L).....	B
Annexe 3: Abondance des œufs d'helminthes pendant l'étude (Œufs/L)	C
Annexe 4: Corrélation entre la biologie interne et la biologie externe	D
Annexe 5: Corrélation entre Les paramètres physico-chimiques et la biologie interne	E

RESUME

En vue d'évaluer la qualité biologique et physico-chimique des eaux souterraines de la localité de Nkometou pour une meilleure connaissance de cet écosystème, une étude a été menée de février 2024 à juillet 2024 sur quatre stations de cette localité (quatre sources). Des méthodes ont été employées pour les observations: la méthode de Faust pour les observations des oocystes protozoaires ; la méthode de Kato-katz pour les œufs d'helminthes et la méthode de sédimentation simple pour l'observation des kystes, oocystes de protozoaires et les œufs, larves des helminthes ; l'observation des formes de disséminations des Protozoaires ont permis d'identifier et dénombrer 765 kystes et oocystes de protozoaires appartenant 5grands groupes et 10 espèces. Il s'agit de : 593 oocystes des Coccidies (78%) avec 208 oocystes de *Cryptosporidium* sp., 60 oocystes de *Cyclospora cayetanensis*, 153 oocystes *Isospora belli* et 172 oocystes de *Sarcocystis hominis* ; 7 oocystes de *blastocystes* (1%) ; 115 kystes d'Amibes(15%) avec 54 kystes d'*Entamoeba coli* et 61 kystes d'*Entamoeba histolytica* ; 8kystes de Ciliés (1%) avec kystes de *Banlantidium coli* et enfin 42 kystes de Flagellés (5%) dont 28 kystes de *Giardia intestinalis* et 14 kystes de *Chilomastix mesnili* . Ces analyses ont également révélé la présence des œufs et larves d'Helminthes au total 93 ; Ces différentes formes ont été réparties en trois grands groupes à savoir : 7 œufs de Cestodes (8%) représentés comme suite : 3 oeufs *Hymenolepis nana*, 4 *Diphyllobothrium latum* ; 9 œufs de Trématodes (9%) 9 oeufs de *Fasciola* sp. ; 77 œufs et larves de Nématodes (83%) avec 44 œufs d'*Ascaris* sp. , 7 œufs d'Ankylostomes sp.,3 œufs d'*Enterobius vermicularis* , 4 œufs de *Trichostrongyloides* et 19 larves de *Strongyloides* . Les densités les plus élevées de ces parasites ont été obtenues durant les mois de février et avril à la station S1 avec la prédominance respective des espèces *Cryptosporidium* sp. et *Ascaris* sp. . Les analyses physico-chimiques ont été effectuées à la fois sur le terrain et au laboratoire d'hydrobiologie -environnement de l'université de Yaoundé I. Les analyses physico-chimiques montrent que les eaux analysées ont une température moyenne de $(29,03 \pm 3,54)$ °C ; un pH légèrement acide $(6,75 \pm 0,54)$ U.C, des faibles teneurs en Nitrate $(3,89 \pm 2,46)$ mg/L de NO_3^- ; une minéralisation moyenne $(26,93 \pm 9,62)$ $\mu\text{S/cm}$, des valeurs moyennement élevées d'oxydabilité $(8,44 \pm 5,22)$ mg/L de O_2 et des matières en suspensions $(14,85 \pm 9,02)$ mg/L. Les analyses statistiques ont montré des corrélations significatives positives et négatives au seuil 1% pour les paramètres physico- chimiques d'une part : entre les nitrates et l'oxygène dissous ,le pH et nitrite et d'autres parts entre les paramètres physico-chimiques et certains parasites intestinaux : Carbonate et *Chilomastix mesnili* ;la température et *Chilomastix mesnili* ; TDS et larves de *strongyloides* , afin conductivité et *isospora belli* . ; des corrélations significatives positives et négatives au seuil 5% pour les paramètres physico- chimiques d'une part physico-chimiques et biologiques d'autres parts . Les résultats obtenus montrent que les eaux souterraines de Nkometou étudiées sont sujettes à une pollution d'origine particulière et fécale dégradant la qualité des eaux. Des traitements avant consommation y sont impératifs.

Mots clés : Eaux souterraine, qualité biologique, physico-chimique, parasites intestinaux, Nkometou (Yaoundé).

ABSTRACT

In order to evaluate the biological and physico-chemical quality of groundwater in the locality of Nkometou for a better understanding of this ecosystem, a study was carried out from February 2024 to July 2024 on four stations in this locality (four sources). Methods were used for the observations: the Faust method, for the observations of protozoan oocysts, the Kato-katz method for helminth eggs and the simple sedimentation method for the observation of cysts, protozoan oocysts and eggs, larvae of helminths; The observation of the forms of dissemination of Protozoa made it possible to identify and count 765 cysts and oocysts of protozoa belonging to 5 major groups and 10 species. These are: 593 *Coccidia* oocysts (78%) with 208 *Cryptosporidium* sp. oocysts, 60 *Cyclospora cayetanensis* oocysts, 153 *Isospora belli* oocysts and 172 *Sarcocystis hominis* oocysts; 7 oocysts of blastocysts (1%); 115 *Amoeba* cysts (15%) with 54 *Entamoeba coli* cysts and 61 *Entamoeba histolytica* cysts; 8 Ciliated cysts (1%) with *Banlantidium coli* cysts and finally Flagellate cysts (5%) including *Giardia intestinalis* cysts and *Chilomastix mesnili* cysts. These analyzes also revealed the presence of helminth eggs and larvae in total 93 eggs and larvae. These different forms were divided into three large groups, namely: 7 Cestodes eggs (8%) represented as follows: 3 *Hymenolepis nana* eggs, 4 *Diphyllobothrium latum*; 9 Trematode eggs (9%) 9 *Fasciola* sp. eggs. ; 77 eggs and larvae of Nematodes (83%) with 44 eggs of *Ascaris* sp. , 7 eggs of Hookworm sp., 3 eggs of *Enterobius vermicularis*, 4 eggs of *Trichostrongyloides* and 19 larvae of *Strongyloides*. The highest densities of these parasites were obtained during the months of February and April at stations S1 with the respective predominance of *Cryptosporidium* sp. and *Ascaris* sp. The physicochemical analyzes were carried out both in the field and at the hydrobiology-environment laboratory of the University of Yaoundé I. The physicochemical analyzes show that the waters analyzed have an average temperature of $(29.03 \pm 3.54^\circ\text{C})$; a slightly acidic pH (6.75 ± 0.54) U.C, low Nitrate contents (3.89 ± 2.46) ; low mineralization (26.93 ± 9.62) $\mu\text{S/cm}$, moderately high oxidizability values (8.44 ± 5.22) mg/L O₂ and suspended matter (14.85 ± 9.02) mg/L . Statistical analyzes showed significant positive and negative correlations at the 1% threshold for the physico-chemical parameters on the one hand: between nitrates and dissolved oxygen, pH and nitrite and on the other hand between the physico-chemical parameters and certain intestinal parasites: Carbonate and *Chilomastix mesnili*; temperature and *Chilomastix mesnili*; TDS and *strongyloides* larvae, for conductivity and *isospora belli*. ; significant positive and negative correlations at the 5% threshold for the physico-chemical parameters on the one hand, physico-chemical and biological parameters on the other. The results obtained show that the Nkometou groundwater studied is subject to pollution of particulate and fecal origin degrading water quality. Treatments before consumption are imperative.

Key words: Groundwater, biological quality, physicochemical, intestinal parasites, Nkometou (Yaoundé).

INTRODUCTION

L'eau essence de vie, est une ressource naturelle indispensable pour la survie des êtres vivants, tous les hommes doivent disposer d'un approvisionnement important en eau. Cependant l'accès en eau potable en quantité suffisante demeure problématique et inégal entre les pays du monde, particulièrement en Afrique subsaharienne (Bertrand *et al.*, 2005). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2023) estime à 2,2 milliards le nombre de personnes n'ayant pas accès à cette ressource. En 2011 un rapport d'étude de la camerounaise des eaux (CDE) montrait que 65% de la population n'a pas accès à l'eau de façon courante, les grandes villes qui abritent la majorité de la population sont à 86,2% équipées en systèmes d'alimentation en eau potable (DSCE, 2009), à peine 25% des ménages y ont réellement accès de manière continue (Rapport National du Cameroun pour HABITAT-III, 2015).

A l'issue du Conseil de cabinet qui s'est tenu le 31 mai 2018, le Ministre de l'Eau et de l'Energie a procédé au lancement de plusieurs projets de renforcement du système de production d'eau potable en milieu urbain. Il s'agissait, entre autres, du projet d'alimentation en eau potable de la ville de Yaoundé et ses environs (Paepys), destiné à accroître la production de 300 000 m³ par jour ; du projet de construction de 11 forages dans la ville de Douala permettant d'injecter 30 000 m³ d'eau dans le réseau de distribution ou encore des projets d'alimentation en eau potable des villes de Bertoua, Ngaoundéré ainsi qu'Edéa.

Toutefois, malgré ces efforts, l'accès à l'eau potable en milieu urbain apparaît toujours sélectif et, les populations des quartiers situés en périphérie y ont accès difficilement (Diane MOUSSIMA YAKA *et al.*, juin 2020) ; pour pallier à cette défaillance nous avons recouru aux réseaux de distribution des eaux souterraines jugée sur aspect physique (l'eau claire), généralement accessible au niveau des puits et des sources, fréquemment utilisées pour les travaux domestiques, la cuisson des aliments, l'hygiène corporelle et même la consommation directe, sans se préoccuper bien souvent de la qualité (Nola *et al.*, 1998) pourtant la conformité de ces eaux aux exigences de la norme camerounaise pourrait être mise en cause en raison de la vulnérabilité aux contaminations d'origine diverses (fayer *et al.*, 2018).

En effet l'absence des systèmes d'assainissements, l'agriculture, l'expansion rapide des habitations et leurs proximités constituent des sources potentielles de contamination des eaux souterraines (WHO, 2017), qui se traduisent très souvent par la production et le rejet considérables des déchets dans la nature, lesquels sont susceptibles de contaminer la nappe phréatique (Nkhuwa, 2003). En outre les eaux souterraines vecteurs de maladies, notamment lorsqu'elles sont contaminées par des parasites peuvent abriter de nombreux agents pathogènes à l'instar des protozoaires et les helminthes (OMS, 2019 ; Xavier *et al.*, 2001), se retrouvant sous la forme de kystes, oocystes, larves et œufs assurant ainsi leur dissémination, de par leur fréquence en continuelle augmentation, avec un pouvoir

pathogène très variable qui peut passer du simple portage asymptomatique à des tableaux symptomatiques graves, voir mortel (Gilles *et al.*, 2019) causant ainsi de nombreux problèmes de santé ,parmi ces maladies dites du péri fécal nous pouvons citer entre autres les helminthiases: l'ascaridiose et l'Ankylostomiase ; et les protozooses: la giardiose , l'amibiase. Ainsi, l'ascaris, l'ankylostome et l'amibe dysenterie occasionnaient à eux seuls 195000 décès chaque année dans le monde.

D'après l'organisation Mondiale de la santé (OMS), près de la moitié de la population mondiale, soit plus de 2milliards de personnes sont infectées par des parasites intestinaux (OMS, 2019), dont 450 millions à l'état chroniques, touchant principalement les enfants en âge scolaire, (Crompton, 1999). L'incidence de ces parasitoses intestinales est nettement plus élevée dans les régions tropicales, (pays en voie de développement) à cause de plusieurs facteurs tels que les conditions climatiques, l'hygiène précaire et la misère (Adou-Bryn *et al.*, 2001 ; Raccurt *et al.*, 2006). Ce qui nous amène à nous appesantir sur cette thématique, bien que des études ont été effectuées dans la ville de Yaoundé et ses environs concernant la distribution des parasites intestinaux dans les eaux souterraines, entre autres ceux de Okoa Nadège (2015), Ajeegah *et al.* (2016), Tsomene (2018) et Asi (2020), il en dispose peu de données sur les formes de résistances parasitaires dans les eaux souterraines destinées à la consommation domestique dans la localité de Nkometou au Cameroun, alors que ces eaux de source sont utilisées par les populations pour besoin d'usage et de boisson. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude avec pour objectif général d'évaluer la qualité biologique et physico-chimique des eaux souterraines afin de comprendre comment ces parasites interagissent avec l'environnement aquatique. Il s'agit plus spécifiquement de :

- identifier et dénombrer les formes de résistance des protozoaires et des helminthes présentes dans ces eaux ;
- déterminer la qualité physico-chimique des eaux de sources étudiées ;
- évaluer l'influence des paramètres physico-chimiques sur les formes de dissémination de ces parasites.

Ce travail est organisé en trois chapitres : tout d'abord nous allons présenter la revue de littérature, en suite matériel et méthodes utilisés et afin les résultats et la discussion tout ceci suivi d'une conclusion, des recommandations et des perspectives.

CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE

I.1. Généralités et définition des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant à la surface de la terre dans les espaces poreux et les fractures des roches et des sols, elles proviennent généralement de la pluie qui s'infiltré dans le sol et peut-être stockée dans les nappes phréatiques ou des aquifères. Elles sont vitales pour la provision en eau potable et l'irrigation jouant un rôle crucial dans l'équilibre des écosystèmes. Les eaux souterraines peuvent être influencées par divers facteurs tels que la recharge, l'extraction et la qualité de l'eau, Elles représentent au total environ 97% des eaux douces continentales liquides (Bosca, 2002). De ce fait 75 à 90% de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine (Aït Boughrous, 2007), d'où l'importance de l'étude des nappes souterraines dans toutes leurs composantes en vue d'une meilleure connaissance de ces écosystèmes et d'introduire des concepts scientifiques nouveaux en matière de gestion, d'aménagement, de surveillance, de protection et de conservation (Daniel opol *et al.*, 2004).

I.1.1. Caractéristiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines présentent une importante valeur socioéconomique en tant que ressource naturelle inestimable pour les besoins agricoles, industriels et domestiques dans les pays développés ou en voie de développement (Daniel opol *et al.*, 2003 ; Gibert *et al.*, 2004). Du point de vue écologique, les gîtes aquifères se subdivisent en deux catégories : les nappes libres ou phréatiques et les nappes captives ou géologiques (Vilaginès, 2003).

➤ Nappes phréatiques

Les nappes phréatiques sont les premières couches d'eau les plus proches de la surface du sol (Boutin, 1987), situées à faible profondeur. Elles sont exposées à des pollutions en provenance de la surface et alimentent traditionnellement les puits et les sources. Elles sont dites « libres » lorsque son niveau piézométrique généralement inférieure à 30 mètres (Adam, 1992), peut varier sans être bloqué par une couche imperméable.

➤ Nappes géologiques ou nappes fossiles

Les nappes géologiques sont des nappes d'eau ancienne, surmontées par une formation peu perméable où la surface aquifère est très poreuse et dont la charge hydraulique (surface piézométrique) de l'eau qu'elle contient est supérieure au toit de la nappe. Ce sont des nappes très profondes généralement supérieures à 30 mètres (Adam, 1992). Ces grandes profondeurs limitent au maximum les pollutions diverses grâce à l'action épuratrice du sol (Tuékam Kayo, 2007). Elles sont ditzzzes

captives car elles sont emprisonnées entre deux couches de terrains imperméables et leur niveau ne varie pas ou du moins très peu et très lentement avec la pluviométrie locale de la région.

I.1.2. Emergence des eaux souterraines à la surface des sols

L'exutoire d'eau souterraine à la surface du sol peut être caractérisée par le terme d'émergence. Les eaux souterraines jaillissent à la surface du sol au niveau des sources, des puits et des forages (Figure 1).

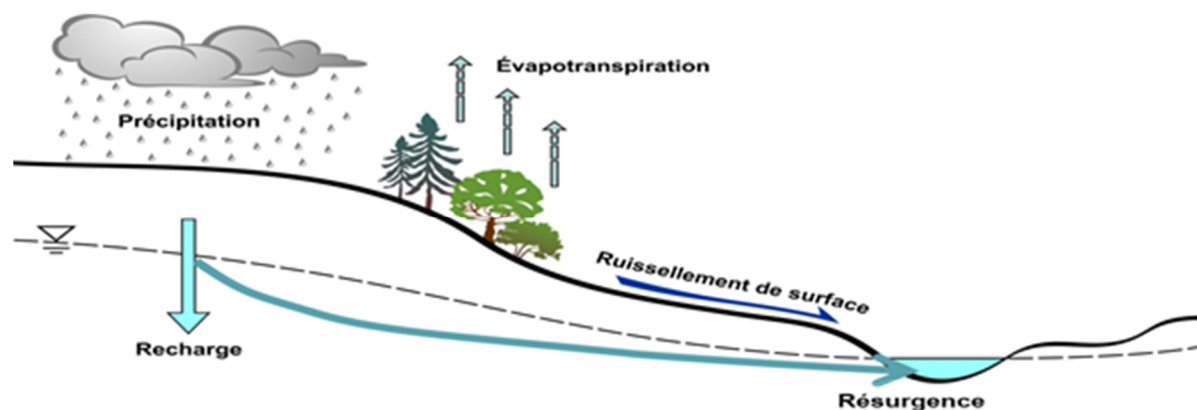


Figure 1 : Processus d'émergence des eaux souterraines.

I.1.3. Définition et différents types de sources

Une source est un point d'émergence naturel d'eau souterraine à la surface de sol, ou l'eau s'écoule spontanément. Une source est très souvent à l'origine d'un cours d'eau, d'un ruisseau, d'une rivière ou même d'un fleuve et peut aussi disparaître rapidement dans le sol. Si elle coule en permanence elle est dite pérenne, sinon elle est dite temporaire ou intermittente. Dans la plupart des cas le débit d'une source est variable, souvent selon la météorologie (exemple : la pluviométrie), parfois périodiquement (exemple : selon la saison) ou en conséquence d'un phénomène hydraulique de vidange et de remplissage de réservoirs souterrains successifs situés en amont de la source.

I.1.4. Principaux types et origine de la pollution des eaux souterraines

Les polluants des eaux souterraines peuvent varier en fonction de divers facteurs tels que l'activité humaine, l'agriculture intense, l'industrie, l'environnement naturel et les déchets ou encore de rejets physico-chimiques.

Il est essentiel de surveiller et de gérer ces polluants pour protéger la qualité de l'eau souterraine et préserver la santé publique.

I.1.4.1. Pollution physique

C'est une pollution perceptible dans les nappes d'eau souterraines par le changement des paramètres physiques tels que la température, les MES, la turbidité, la couleur entre autres. Ces

matières qui sont responsables d'une pollution organique, augmentent la turbidité de l'eau, diminuent sa transparence et réduisent le pouvoir de pénétration de la lumière (Leynaud et Verrel, 1980).

I.1.4.2. Pollution biologique

Une pollution biologique est endogène. Se manifestant par une croissance envahissante de micro-organismes ou de végétaux, micro ou macroscopiques qui cause un déséquilibre du milieu environnant pouvant entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents. Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine : enrichissement en nitrates d'un milieu (rejets organiques), développement de virus, de bactéries, des protozoaires, des helminthes, introduction d'espèces invasives entre autres.

I.1.4.3. Pollution chimique

La pollution chimique est une pollution engendrée par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique. Elles peuvent résulter notamment de l'utilisation des pesticides, des détergents ou encore des métaux lourds.

I.1.5. Paramètres physiques d'évaluation de la qualité des eaux souterraines

Les paramètres physiques qui renseignent sur la qualité d'une eau sont entre autres la température, les Matières en Suspension (MES), la turbidité, la couleur et les Solides Totaux Dissous (TDS) (Rodier *et al.*, 2009) ; la température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Derwich *et al.*, 2010).

I.1.6. Quelques paramètres chimiques d'évaluation de la qualité des eaux souterraines

Plusieurs paramètres chimiques peuvent renseigner sur la qualité des eaux souterraines parmi lesquels : le pH ; la conductivité électrique ; les différentes formes d'azote ; l'alcalinité ; l'oxydabilité, l'orthophosphate ; le dioxyde de carbone et l'oxygène dissous.

I.2. Généralités sur les Protozoaires

Les protozoaires constituent la composante animale du règne des protistes. Ce sont des organismes unicellulaires, eucaryotes, et microscopiques (5 à 20 μ), mobiles ou moins à un stade de leurs développements, fondamentalement hétérotrophes, se nourrissant de matières organiques par osmose ou par endocytose et leurs principaux modes de reproduction est la reproduction asexuée, néanmoins la reproduction sexuée est également commune. Les protozoaires sont les ancêtres des animaux, Ces organismes colonisent les eaux, les sols et certains échappent aux mauvaises conditions environnementales à savoir : (la dessiccation progressive, la pollution,

l'appauvrissement des éléments nutritifs, la surcharge en substances de déchets, la variation de la température ou du pH) grâce aux kystes, aux oocystes, aux spores et autres formes de résistance. Ces protozoaires peuvent être non-pathogènes ou pathogènes pour l'Homme. Selon leur mode de déplacement, les protozoaires peuvent être classés en quatre grands groupes à savoir : les Rhizopodes ou amibes, les Flagellés, les Sporozoaires et les Ciliés.

I.2.1. Protozoaires Flagellés

I.2.1.1. Systématique des Protozoaires Flagellés (Lacoste, 2009)

Embranchement : Sarcomastigophora

Sous-embranchement : Mastigophora

Classe : Zoomastigophorea

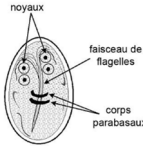


Ordres : Diplomonadida, Retortamonida, Trichomonadida

Familles : Hexamitidae, Chilomastigidae, Enteromonadidae, Trichomonadidés

Genres : *Giardia*, *Chilomastix*, *Retortamonas*, *Enteromonas*, *Trichomonas*

Espèces : *Giardia intestinalis*/ *Giardia duodenalis*/ *Giardia lamblia*, *Chilomastix mesnili*, *Retortamonas intestinalis*, *Enteromonas hominis* (Tableau I)

Tableau I : Description de quelques formes de résistance des flagellés intestinaux (Lacoste, 2009)

Espèces Kystes	Forme de résistance	Taille (µm)	Coque	Contenu	Maladies	Manifestations
<i>Giardia intestinalis</i>		10-15	Double, paroi mince et réfringente	2 ou 4 noyaux, 1 axostyle, flagelles groupés en forme de « S », 1 corps parabasal	Giardiose	Diarrhée aqueuse, troubles digestifs, nausées, douleurs abdominales, malabsorption
<i>Enteromonas hominis</i>		6-8	Très mince, peu nette, peu réfringente	1 à 4 noyaux disposés aux extrémités du kyste	pas pathogènes	Asymptomatique
<i>Retortamonas Intestinalis</i>		4-6	Epaisse, réfringente	1 noyau allongé entouré d'un flagelle en « U »		Asymptomatique

I.2.1.2. Description du cycle de développement d'un protozoaire flagellé : *Giardia intestinalis*

Le cycle de *Giardia* est simple, monoxène, faisant alterner la phase de multiplication des trophozoïtes et le stade kystique (Figure 2). Les kystes mûrs quadri nucléés ingérés par l'homme

s'ouvrent sous l'action des sucs gastriques et chaque kyste donne naissance à deux trophozoïtes au niveau du duodénum (désenkystement). Elles se multiplient activement par simple fission binaire longitudinale et vivent collées à la surface de toute la muqueuse intestinale à l'aide de leur ventouse centrale (Golvan, 1983) appelée disque adhésif. D'autres trophozoïtes progressent dans le tube digestif et subissent l'enkystement (Thompson *et al.*, 1999) dans la partie distale de l'iléum et dans le gros intestin, par des mécanismes encore mal connus (Leib et Zajac, 1999). Les kystes formés sont expulsés à l'extérieur avec les fèces et sont susceptibles d'infecter un sujet sain par ingestion.

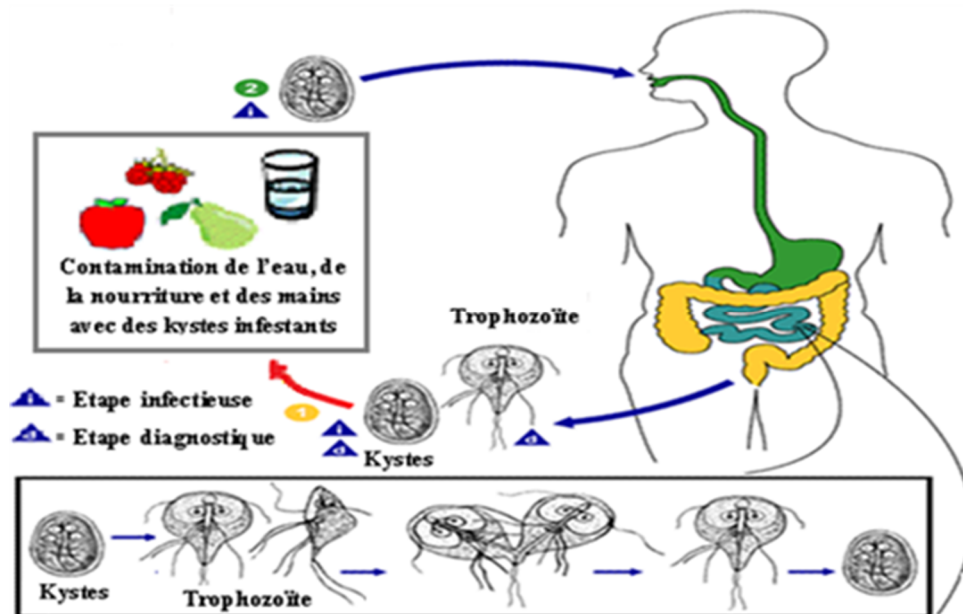


Figure 2 : Cycle évolutif de *Giardia intestinalis* (CDC, 2007) modifiée.

I.3. Amibes

Une amibe est un microorganisme appartenant à divers groupes de cellules complexes eucaryotes. Dans l'usage, le terme amibe désigne en fait des organismes membres de nombreux groupes de protistes amiboïdes de différents taxons eucaryotes : Amoebozoa, Rhizaria, Heterokonta, Excavata et Opisthokonta : il ne s'agit donc pas d'un groupe monophylétique mais polyphylétique.

I.3.1. Position systématique des amibes entéropathogènes (Lacoste, 2009)

Embranchement : Sarcomastigophora

Sous-embranchement : Sarcodina

Classe : Lobosasidea





Ordre : Amoebida

Familles : Entamoebidae et Monocercomonadidae

Genres : *Entamoeba*, *Pseudolimax*, *Endolimax*, *Dientamoeba*

Espèces : *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, *Entamoeba hartmani*, *Entamoeba polecki*, *Endolimax nana*, *Pseudolimax butschlii*, *Dientamoeba fragilis* (Tableau II)

Tableau II : Description de quelques formes de résistances des Amibes intestinales (Lacoste, 2009)

Espèces	Taille	Coque	Contenu	Maladies	Manifestation
 <i>Entamoeba histolytica /dispar</i>	12-15	Epaisse	1 à 4 noyaux, 1 vacuole, cristalloïdes	Amibiases	Pathogène, diarrhée Sanglante, atteinte hépatique et neurologique
 <i>Entamoeba coli</i>	16-28	Double Paroi très réfringente	1 à 8 noyaux, 1 vacuole, cristalloïdes	Amibiases	Peu ou pas pathogène et asymptomatique
<i>Entamoeba polecki</i>	10-12	Epaisse et réfringente	1 à 2 noyaux, 1 vacuole Bâtonnets chromatidiens	Amibiases	Peu ou pas pathogène et asymptomatique
 <i>Entamoeba hartmani</i>	6-8	Epaisse	1 à 4 noyaux, 1 vacuole	Amibiases	Peu ou pas pathogène et asymptomatique
 <i>Endolimax nana</i>	6-8	Mince et peu réfringente	1 à 4 noyaux	Amibiases	Peu ou pas pathogène et asymptomatique

I.3.2. Description d'une amibe : *Entamoeba histolytica/dispar*

L'amibe *Entamoeba histolytica* est un Rhizopode qui se présente sous deux formes : une forme végétative et une forme kystique (Aminata, 2006). La forme végétative ou trophozoïtose présente sous deux formes. La forme minuta qui est non invasive, non hématophage et non pathogène. Elle est commensale de la lumière colique et se retrouve dans les selles des sujets apparemment sains. Elle mesure 10 à 15µm. Elle est moins mobile que la forme invasive et est capable de s'enkyster. Son noyau à petit caryosome central punctiforme est périphérique et mesure 3 à 4µm. La membrane nucléaire est fine et possède une chromatine périphérique en liseré ou pointillé. L'endoplasme est granuleux,

contient de nombreuses vacuoles et des bactéries phagocytées mais, jamais d'hématies. L'ectoplasme est hyalin, transparent et bien visible.

I.3.3. Cycle évolutif de *Entamoeba histolytica/dispar*

C'est un cycle direct monoxène avec pour principal hôte l'homme (Figure 3). Ce cycle peut être double dans l'intestin de l'homme : commensal et pathogène. Le cycle commensal non pathogène correspond à l'amibiase infestation. Au cours de ce cycle, les kystes ingérés par l'homme, une fois dans l'estomac, perdent leur coque par lyse sous l'action des sucs gastriques entraînant la libération d'une amibe à 4 noyaux. Cette amibe divise une fois ses noyaux et son cytoplasme et, il se forme 8 amoebules qui donneront des formes minuta. Ces formes minuta se divisent par scissiparité, vont s'arrondir et donner des formes pré-kystiques. Ces formes pré-kystiques s'entourent d'une coque et vont se diviser pour donner des kystes à 4 noyaux qui seront éliminés passivement avec les selles, 6 à 8 jours après la contamination (Aminata, 2006).

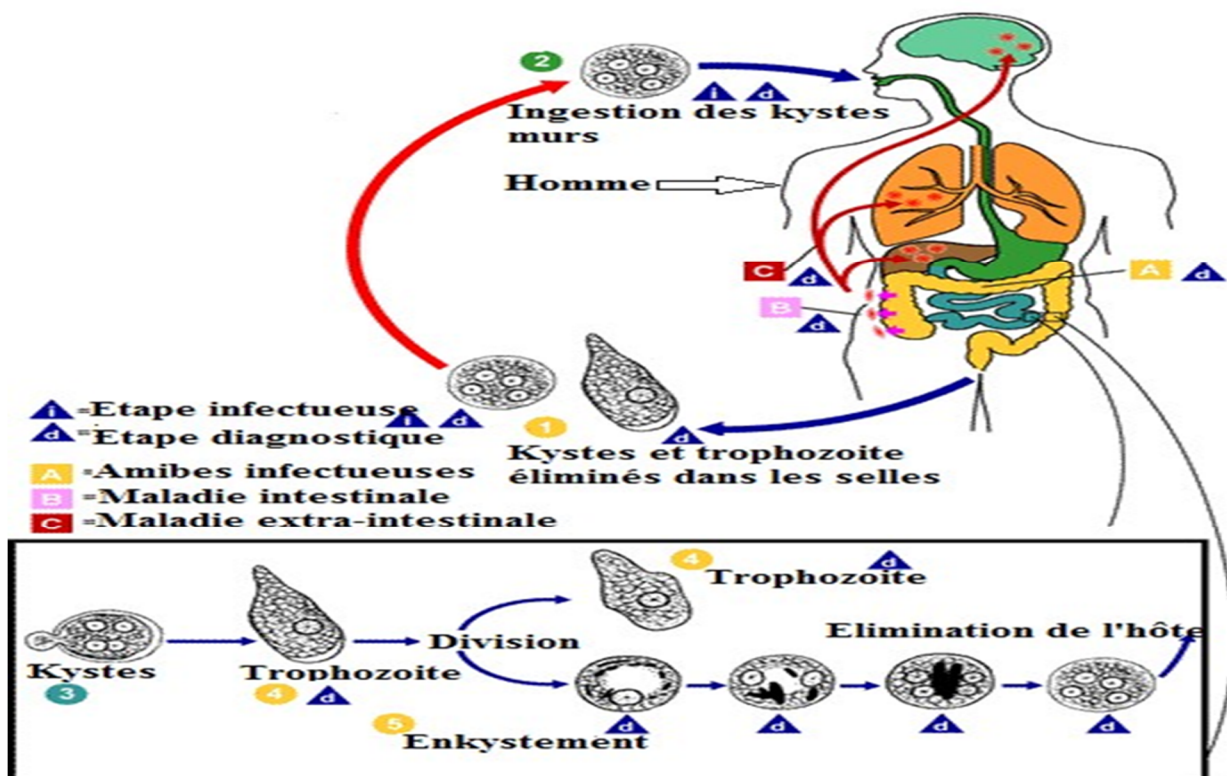


Figure 3 : Cycle évolutif de *Entamoeba histolytica* (CDC, 2007).

I.4. Sporozoaires

Les sporozoaires sont des organismes unicellulaires, tous parasites de métazoaires ; ils ne possèdent pas de flagelle sauf à certains stades du cycle vital. Celui-ci fait généralement intervenir plusieurs hôtes. La présence d'un ADN chloroplastique vestigial chez certaines espèces laissent penser

que ces organismes dérivent d'un ancêtre photosynthétique, ou qu'ils ont acquis et recyclé certains gènes d'un organisme photosynthétique.(Figure 4).

I.4.1. Systématique des sporozoaires (Lacoste, 2009)

Embranchement : Apicomplexa

Classe : Conoidasida

Sous classe : Coccidiasina

Sous ordre : Eimeriorina

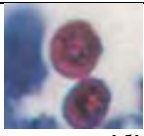



Familles : Cryptosporidiidae ; Eimeriidae ; Sarcocystidae

Genres : *Cryptosporidium* ; *Cyclospora* ; *Isospora* ; *Sarcocystis*

Espèces : *Cryptosporidium parvum* ; *Cyclospora cayetanensis* ; *Isospora belli* ; *Sarcocystis hominis*

(Tableau III)

Tableau III : Description de quelques formes de résistance des Coccidies (Anses, 2011 ; INSP, 2014 modifié)

Espèces	Formes de résistance	Tailles (µm)	Coques	Contenus	Auto-infestation	Maladies	Manifestation
 <i>Cryptosporidium</i> spp.	Oocyste	4-6	Paroi épaisse double	4 sporozoïtes ; pas de sporocyste	Possible	Cryptosporidiose	Déshydratation, gastroentérites, perte de poids, fièvre, nausée
 <i>Cyclospora cayetanensis</i>	Oocyste	8-10	Paroi double, lisse, non réfringent	2 sporocystes contenant chacun 2 sporozoïtes	Impossible	Cyclosporese	Douleurs abdominales, Nausées et vomissements
 <i>Isospora belli</i>	Oocyste	20-33	Mince, lisse, peu réfringente	1 à 2 sporocystes contenant 4 sporozoïtes	Impossible	Isosporose	Amaigrissement colique, diarrhée chronique
 <i>Sarcocystis</i> spp.	Oocyste, sporocyste	9-15	Mince	2 sporocystes contenant chacun 4 sporozoïtes	Impossible	Sarcocystose	Diarrhée non sanglante

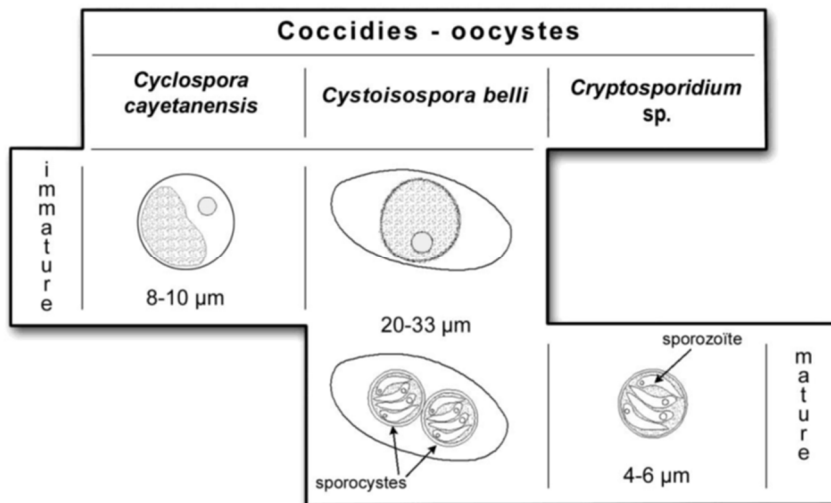


Figure 4 : Morphologie des Coccidies (Thivierge, 2014).

I.4.2. Description et cycle de développement d'un sporozoaire : *Cryptosporidium parvum*

L'espèce qui est presque exclusivement responsable de l'infection chez les humains est *Cryptosporidium parvum*. Le cycle vital du *Cryptosporidium* comprend six étapes (Figure 5). *Cryptosporidium parvum* est un parasite protozoaire intracellulaire de la famille des *Cryptosporidiidae* et de l'embranchement des *Apicomplexa*. Il présente un cycle évolutif complexe, constitué de cycles sexués et asexués qui se produisent dans un seul hôte. Le cycle commence avec l'ingestion, par l'hôte, d'oocystes (4 à 6 µm de diamètre) qui subissent alors un dékystement, libérant ainsi des sporozoïtes qui parasitent les cellules épithéliales gastro-intestinales. Les sporozoïtes mûrissent en trophozoïtes, puis en mérozoïtes qui infectent d'autres cellules épithéliales (cette étape, qualifiée de mérogonie, correspond à la reproduction asexuée). Les mérozoïtes initient la reproduction sexuée en donnant naissance à des gamètes qui se développent finalement en oocystes. Environ 20 % des oocystes ont une paroi mince et servent à maintenir l'infection chez l'hôte ; la majorité des oocystes (environ 80 %) développent cependant une double paroi épaisse et sont évacués avec les selles, contaminant ainsi l'environnement (Percival *et al.*, 2000). L'infection provoque une gastroentérite aiguë. Au nombre des symptômes figurent la diarrhée sans globules rouges, les douleurs abdominales, les crampes, la fièvre, les vomissements, la myalgie, les flatulences, les nausées, l'anorexie, un malaise général et la fatigue. Chez les personnes immunocompétentes, la maladie est spontanément résolutive et les symptômes peuvent durer jusqu'à trois semaines. Chez les personnes immunodéficientes, la cryptosporidiose peut se prolonger et devenir chronique, ce qui peut mener à des manifestations cliniques plus graves comme une perte de poids importante, une cholangite, une pancréatite, une cholangite sclérosante et une cirrhose ; elle est également associée à une hausse du taux de morbidité et de mortalité.

Cryptosporidium sp.

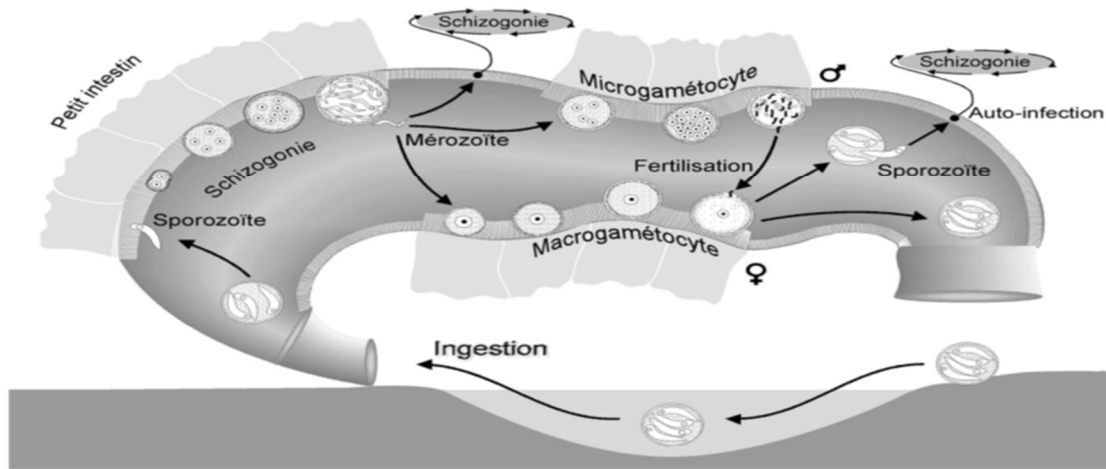


Figure 5 : Cycle évolutif de *Cryptosporidium* sp (Thivierge, 2014).

I.5. Les Ciliés

Les ciliés constituent un groupe monophylétique dont la forte diversité fascine les protistologues depuis les premières observations microscopiques de Leeuwenhoek (1674). Il existe plus de 8000 espèces de Ciliés dont les deux tiers mènent une vie libre et le reste est soit parasite, symbiotique, commensal, ou mutualiste (Lynn, 2008). Les Ciliés parasites par exemple *Ichthyophthirius* se déplacent dans l'épithélium de la peau et les branchies de poissons et cause la maladie dite des taches blanches alors que *Balantidium* peut envahir l'épithélium intestinal des cochons et des êtres humains (Lynn et Small, 2002).

I.5.1. Systématique des ciliés (Hernandez *et al.*, 1993)

Embranchement : Ciliophora

Classe : Lipostomea

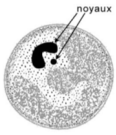
Ordre : Trichostomatiida

Famille : Balantididae

Genre : Balantidium

Espèce : *Balantidium coli* (Tableau IV)

Tableau IV : Description de la forme de résistance de *Balantidium coli*

<i>Organismes</i>	<i>Forme</i>	<i>Contenu</i>	<i>Taille</i>	<i>Maladie</i>
<i>Balantidium coli</i>		Noyaux -macronucléus - micronucleus	50-70 µm	Balantidiose

I.5.2. Cycle évolutif de *Balantidium coli*

Le cycle est monoxène (Figure 6). Les animaux se contaminent par ingestion de kystes, parfois de formes végétatives. Ces kystes transitent dans le tube digestif jusqu'au côlon. La reproduction sexuée a lieu par conjugaison de deux formes végétatives et la multiplication asexuée est possible par fission binaire longitudinale. Deux formes sont éliminées avec les fèces dans le milieu extérieur : la forme végétative et les kystes.

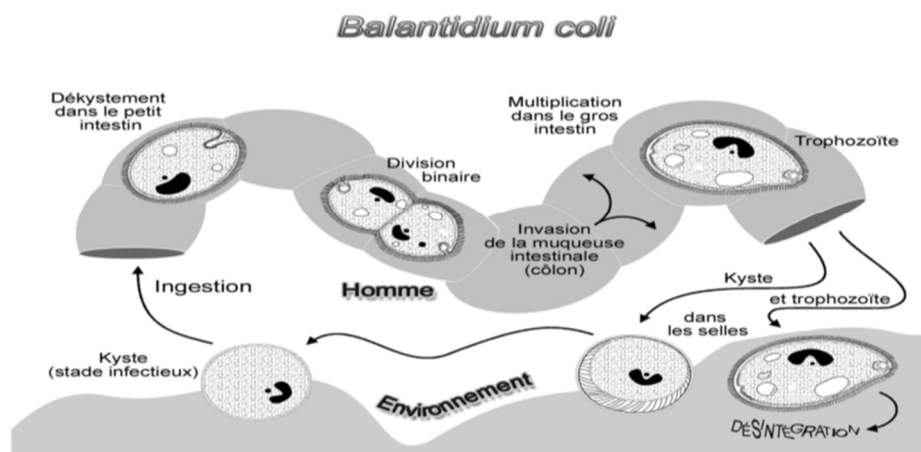


Figure 6 : Cycle évolutif de *Balantidium coli* (CDC, 2007) modifié.

I.6. Prophylaxie contre les protozooses

Consiste à prendre des mesures pour prévenir l'infection par les protozoaires, de façon générale, nous devons protéger les sources d'eau, traiter l'eau par les méthodes telles que ; la filtration, la désinfection ..., effectuer une surveillance régulière, gérer les déchets, éduquer les populations et mettre en place des réglementations, détecter et traiter tous les porteurs, découvrir les sources de contamination.

Sur le plan individuel, il faut réduire les risques de contamination par des oocystes et kystes en respectant de façon rigoureuse les règles d'hygiène fécale, manuelle et alimentaire.

I.7. Généralités sur les Helminthes

Les helminthes ou vers parasites sont des métazoaires triblastiques dépourvus de coelome véritable. Les helminthes comprennent trois embranchements : les plathelminthes, les némathelminthes et les acanthocéphales. Cependant, nous ne parlerons que des plathelminthes (vers plats) et des némathelminthes (vers ronds) car ce sont les deux embranchements qui contiennent les helminthes parasites gastro-intestinaux.

I.7.1. Caractéristiques des helminthes parasites intestinaux

I.7.1.1. Plathelminthes

Ils sont des vers plats dont beaucoup d'espèces sont parasites. Ils introduisent un troisième feuillet cellulaire, le mésoderme, ainsi que la symétrie bilatérale. Les plathelminthes parasites ont le corps recouvert par une épaisse cuticule. Les deux principales classes sont les cestodes au corps segmenté et les trématodes au corps non segmenté (Figure 7).

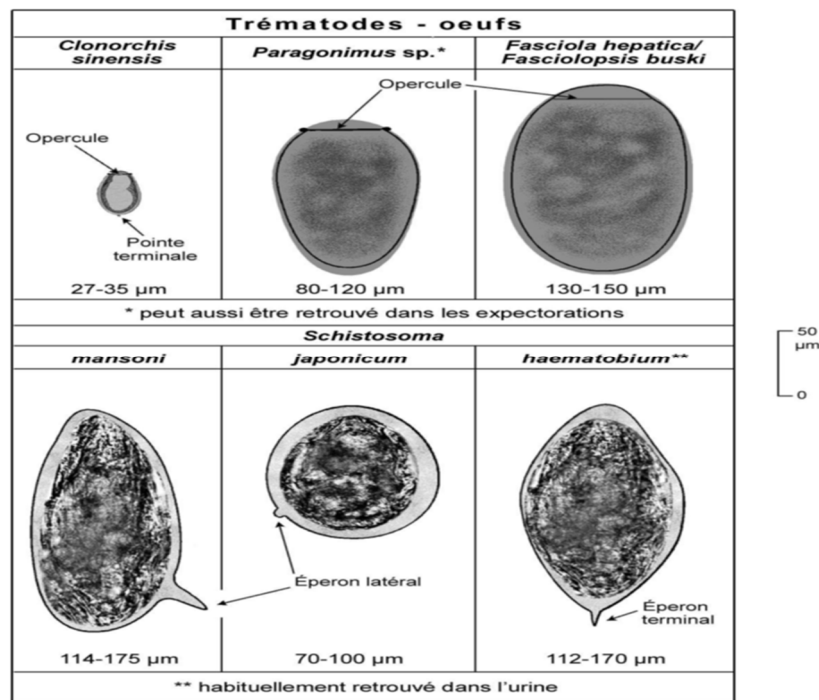


Figure 7 : Généralités sur les trématodes (Thivierge, 2014).

Les trématodes n'ont pas d'anus (douves, schistosomes). Pour les schistosomes, le cycle évolutif des quatre espèces est identique dans ses grandes lignes, nécessitant l'intervention obligatoire d'un hôte intermédiaire, mollusque d'eau douce (Figure 8).

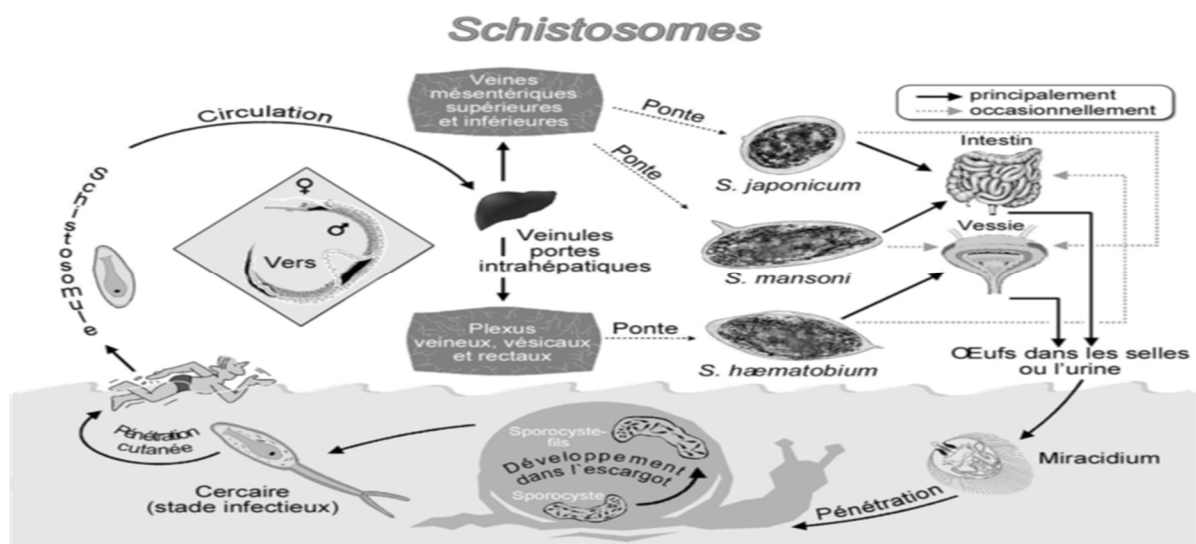


Figure 8 : Cycle de développement des *Schistosomes* (Thivierge, 2014).

Les cestodes sont des vers plats segmentés (hermaphrodites) n'ayant pas de tube digestif (Ténias) (Figure 9). Le ténia (*Taenia solium*) ou vers solitaire, vit dans l'intestin grêle de l'Homme. Il absorbe directement les nutriments qui circulent dans le tube digestif. Seul sa tête ou scolex, possédant ventouses et crochets, est fortement attachée à la paroi de l'intestin. Le corps est segmenté en anneau ou proglottis. Les anneaux les plus anciens sont les plus éloignés de la tête. Lorsqu'ils se détachent, l'ovaire possède de nombreux œufs fécondés. Ceux-ci ingérés par un porc, passent dans le sang et engendrent des cysticerques enkystés dans le tissu musculaire (Figure 10). C'est en mangeant de la viande de porcs mal cuite que l'homme se contamine (Tableau V).

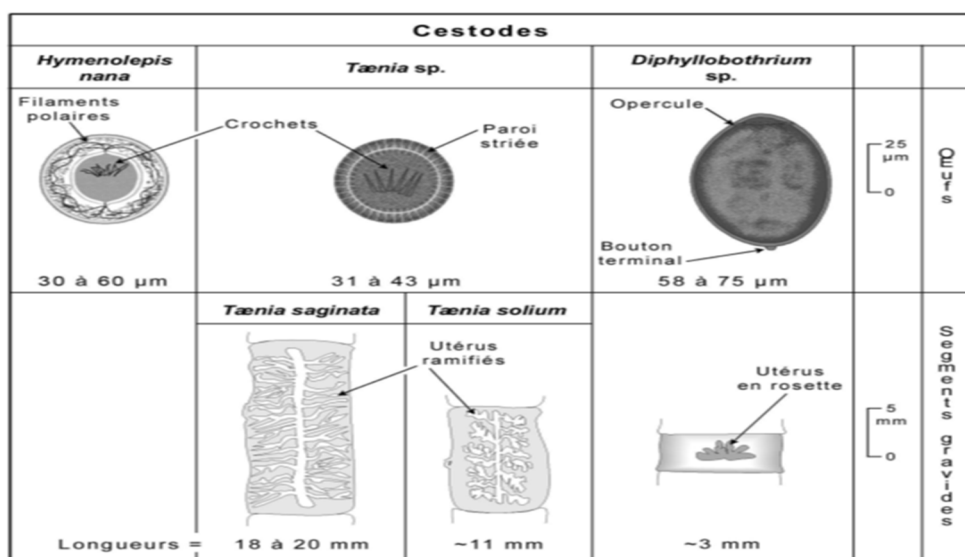


Figure 9 : Généralités sur les Cestodes (Thivierge, 2014).

Tableau V : Description de quelques formes de résistance des Cestodes intestinaux

ORGANISME	TAILLE (µm)	FORME	COULEUR	ÉPAISSEUR DE LA PAROI	STADE DE DÉVELOPPEMENT	PARTICULARITÉS
<i>hymenolepis nana</i>	30-60 µm	Rond ou légèrement ovale	Incolore (jaunâtre à l'iode)	Mince	Embryon à 6 crochets	Filaments polai
<i>diphylobothrium sp.</i>	58-75 µm x 40-50 µm	Ovale	Incolore (brun à l'iode)	Modérément épaisse	Embryon non développé	Opercule et bouton terminal
<i>taenia sp.</i>	31-43 µm	Rond ou légèrement ovale	Jaune-brun (plus foncé à l'iode)	Épaisse et striée	Embryon à 6 crochets	Peut être entouré d'une fine membrane claire (membrane vitelline)

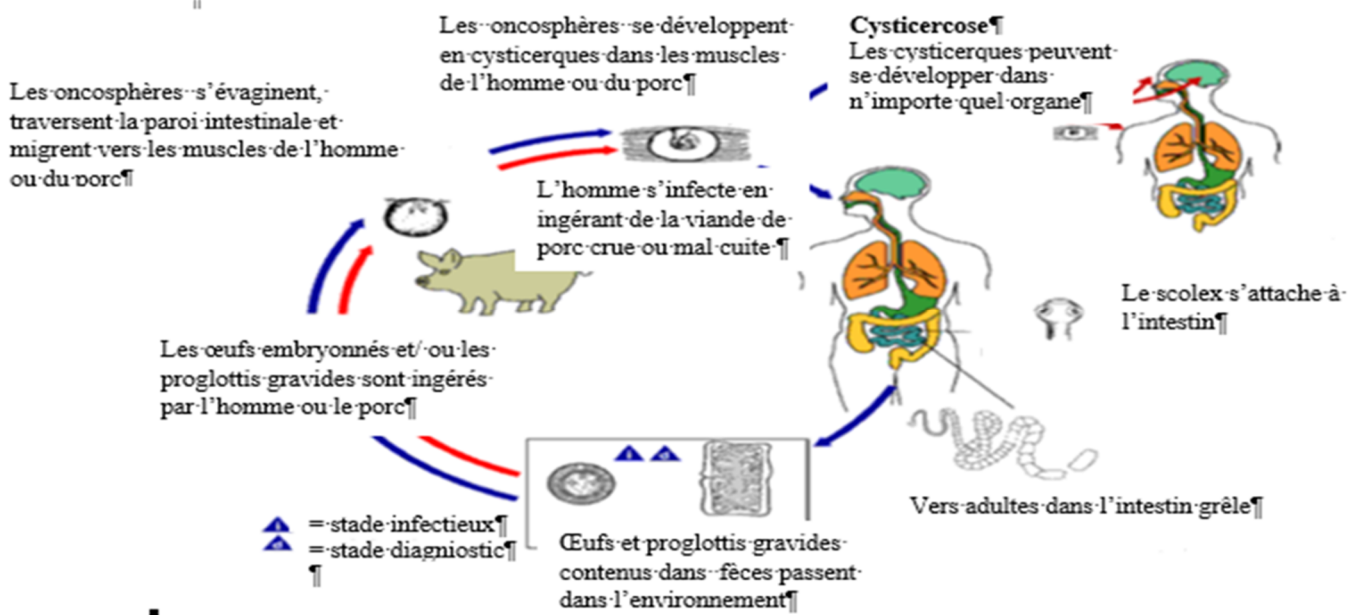


Figure 10 : Cycle de développement de *Taenia solium* (CDC, 2007).

I.7.1.2. Nématelminthes

Ils sont des Vers de forme cylindrique et allongée, parasites des animaux et des plantes : ascaris, strongles, trichine, filaire, oxyures entre autres. Les Nématelminthes sont des eumétazoaires triploblastiques pseudocœlomates, regroupant les Nématodes, les Nématomorphes, les Priapuliers, Loricifères et Kinorhynques. Placés aujourd'hui au sein des Protostomiens ecdysozoaires, les Nématodes y sont plus proches des Nématomorphes et, avec eux, sans doute plus des Panarthropodes que des trois autres phyla regroupés au sein des Céphalorhynques ou Scalidophores. Leur cavité cœlomique est dérivée du blastocèle. Les nématelminthes ont un tube digestif simple, rectiligne, comprenant une bouche, un pharynx, un œsophage, un intestin et un anus ventral. Leur système nerveux se limite à un anneau péri œsophagien et à deux cordons nerveux : un ventral et un dorsal. Les nématodes produisent des œufs qui embryonnent *in utero* ou en dehors de l'hôte. Les larves émergentes subissent 4 métamorphoses (mues) avant de parvenir à maturité en tant que vers adulte mâle ou femelle (Figure 11).

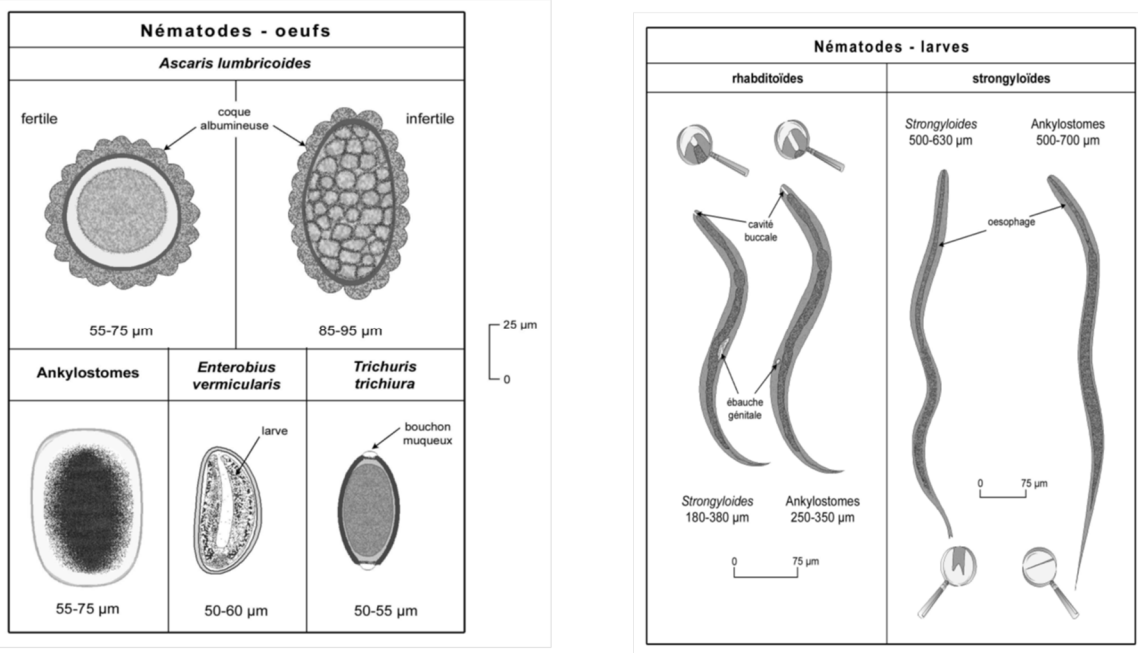


Figure 11 : Caractéristiques des Nématodes (Thivierge, 2014).

I.7.1.3. Cycle évolutif des nématodes

Ascaris sp.

L'homme est l'hôte définitif. Le mode de contamination est alimentaire de type oro-fécale. Les œufs sont excrétés dans les selles. Seuls les œufs fécondés provoquent une infection. Les œufs fécondés se développent dans la terre. Les œufs se développent mieux dans un sol humide, chaud et ombragé. une personne est infectée lorsqu'elle ingère des œufs d'*ascaris*, souvent présents dans des aliments et boissons en contact avec les matières fécales humaines ensuite ces œufs éclosent et libèrent des larves dans l'intestin. Les larves vont traverser la paroi de l'intestin grêle avant d'être transportées par les vaisseaux lymphatiques et sanguins jusqu'aux poumons, une fois dans les poumons, les larves pénètrent dans les alvéoles des poumons, remontent les voies respiratoires, puis lorsqu'elles ont atteint la gorge, elles sont avalées. Lorsque les larves atteignent l'intestin grêle, elles se transforment en vers adultes et ensuite libérés avec les selles constituant des œufs embryonnés et mamelonnés (Figure 12).

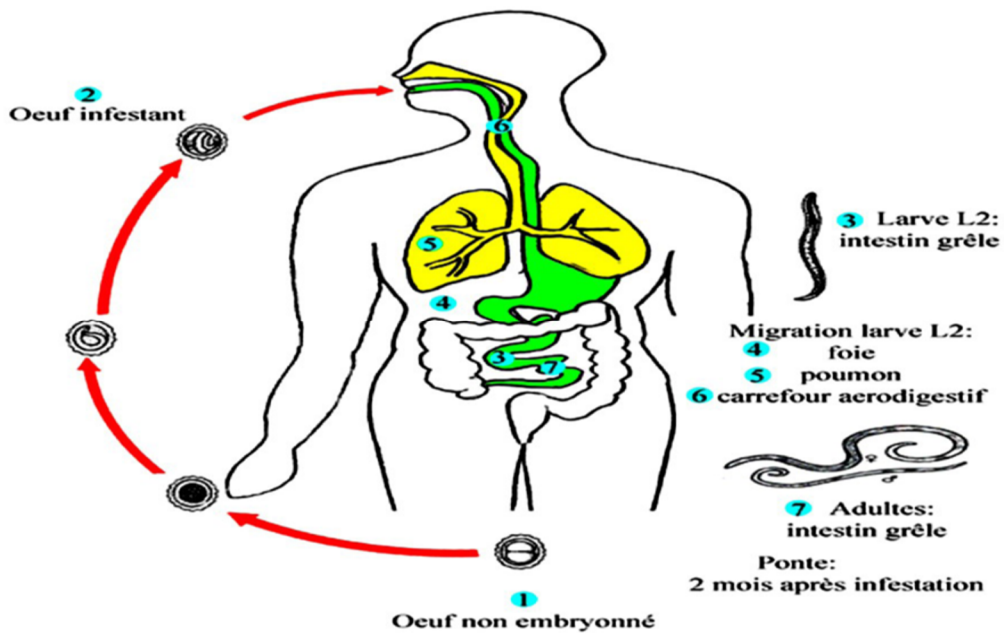


Figure 12 : Cycle de développement d'*Ascaris* sp.(CDC, 2007).

I.7.1.4. Prophylaxie contre les helminthiases

La prophylaxie au niveau collectif consiste à traiter les eaux usées, proscrire l'épandage des matières fécales, protéger les cultures maraîchères, désinfecter l'eau, dépister et traiter les porteurs sains. Au niveau individuel elle consiste à laver les fruits et légumes, bien cuire les viandes, éviter les aliments irritants pour l'intestin, se couper les ongles, laver les mains à la sortie des toilettes et avant de manger, faire bouillir l'eau de qualité douteuse.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel

Présentation de la zone d'étude

Nkometou est une localité de l'arrondissement d'Obala, dans le département de la Lékié, implanté dans la région du centre Cameroun, Elle est située à 4.05° de latitude nord et 11.55° de longitude ouest, et comprend trois villages : Nkometou I, Nkometou II et Nkometou III.

À 27 km au nord de Yaoundé, la localité est traversée par la route nationale 1, sur l'axe routier reliant Yaoundé et Obala, elle est caractérisée par un climat de type équatorial selon la classification de Köppen-Geiger et propice à l'agriculture. C'est une zone avec des précipitations importantes en moyenne de 831.7mm. La température moyenne est de 23.5°C et les précipitations sont.

La roche-mère est principalement composée de gneiss, de granite et de schiste. Les sols sont variés (sols argileux, sols sableux), ils sont très riches en nutriments et ont une bonne capacité de rétention d'eau, le pH des sols varie en fonction des types de sol présents, pour les sols sableux le pH a tendance à être plus acide en raison de leur capacité à laisser filtrer l'eau plus rapidement, d'autres part les sols argileux ont souvent un pH plus neutre et légèrement alcalin en raison de leur capacité à retenir les éléments nutritifs. La végétation est de type forêt tropicale luxuriante avec un écosystème riche en biodiversité. La population de Nkometou est estimée à 1575 habitants.

Cadre d'étude

L'étude s'est déroulée en deux phases. La première phase est la prospection qui s'est étendue durant le mois de janvier 2024. Les multiples descentes sur le terrain, ont permis de choisir les stations d'échantillonnages en fonction de l'exploitation par le public, du niveau piézomètre, leur proximité avec les sources de pollution et la fréquentation de l'ouvrage. Quatre stations ont été identifiées dans quatre sources (Figure 13). La deuxième phase allant du mois de février jusqu'au mois de juillet soit six (6) mois avec une fréquence de prélèvement mensuelle de l'eau, pour les analyses biologiques et physico-chimiques de façon concise et précise dans l'optique d'avoir de bons résultats.

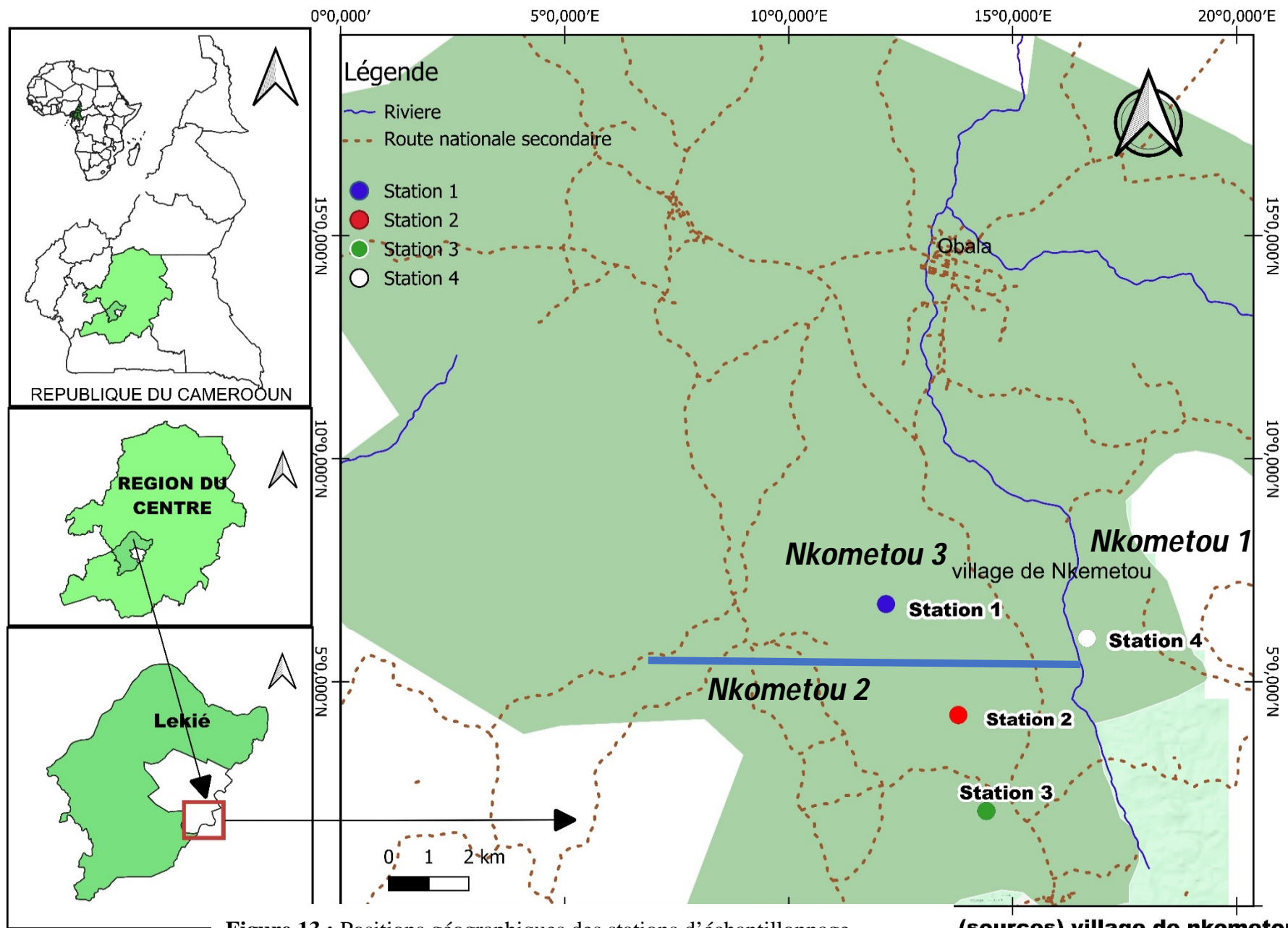


Figure 13 : Positions géographiques des stations d'échantillonnage

(sources) village de nkometou

II.2. Description des stations d'étude

La source S1 (Nkometou3) (Figure 14A), de coordonnées géographiques 04°5'6.46188'' de latitude Nord, 011°32'54.52188'' de longitude Est et 595m d'altitude. Elle est située dans le quartier Nkometou3 est semi-aménagée, à proximité des habitations, d'une porcherie et des latrines. Les eaux de cette source sont utilisées pour la lessive, le ménage et aussi comme eau de boisson.

La source S2 (Nkometou 2) (Figure 14B), de coordonnées géographiques 04°4'25.52412'' de latitude Nord, de longitude Est 011°32'53.17548'' et 604m d'altitude dans le quartier Nkometou 2 et semi aménagée, située à proximité entre les habitations. Elle est utilisée pour la consommation (la cuisine et le ménage).

La source S3 (Nkometou 2) (Figure 14C), de coordonnées géographiques 04°4'03.92448'' de latitude Nord, 011°33'28.665'' de longitude Est et 608m d'altitude est située dans le quartier Nkometou2 et est une source très bien aménagée dans les bas-fonds et à proximité des habitations et d'une station de pompage des eaux. Elle est utilisée pour la consommation, (cuisine, le ménage) ces eaux sont aussi utilisées par les populations comme eaux de boisson.

La source S4 (Nkometou1) (Figure 14D), de coordonnées géographiques 04°03'07.614'' de latitude Nord, 011°32'51.7866'' de longitude Est et 713m d'altitude est située dans le quartier Nkometou1, est une source aménagée située à distance des habitations environ 180 m des toilettes. Elle est utilisée pour la consommation, (la cuisine, le ménage). Ces eaux sont utilisées par les populations de cette zone comme eau de boisson.



Figure 14 : Vue partielle des stations d'échantillonnage (A,A' : S1, B,B' : S2, C,C' : S3, D,D' : S4 ,).

II.2.1. Paramètres biologiques

L'échantillonnage d'eau à l'endroit stratégique pour l'identification des kystes, oocystes des protozoaires et les œufs, larves d'helminthes a été effectué à chaque sources (au niveau du jet de la source une brosse a été utilisée pour frotter les parois du tuyau pour la biologie interne). L'eau a été légèrement agitée pour ramener les particules en suspension (biologie externe), puis prélevée à l'aide des flacons stériles en polyéthylène de 1000 ml fixée à l'aide du formol 10% (2ml). Ensuite, l'ensemble est transporté au laboratoire d'hydrobiologie et Environnement dans des conditions appropriées pour préserver leur intégrité. Au laboratoire, les échantillons ont été laissés pour décantation pendant 24 heures. Le surnageant a été versé et le culot restant mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée afin d'obtenir le volume initial. Plusieurs méthodes ont été employées pour les observations : la méthode de Faust, pour les observations des kystes et oocystes protozoaires, la méthode de Kato-katz pour les œufs d'helminthes et la méthode de sédimentation pour l'observation des protozoaires et des helminthes.

II.2.1.1. Méthode de sédimentation simple de Ritchie (1948).

Après homogénéisation du culot, 5mL d'échantillon ont été prélevés et introduits dans un tube à essai. Puis, 1mL de formol 10% a été ajouté pour assurer la fixation des organismes, puis 5 mL d'eau distillée et 2 gouttes de Lugol. Le mélange obtenu a été centrifugé à 1500 tours/min pendant 5 min à l'aide d'une centrifugeuse de marque MINOR35. Par la suite, 1 à 2 gouttes de culot ont été prélevées au fond du tube et déposées sur une lame porte-objet et recouvertes d'une lamelle pour observation au microscope de marque YVIMEN à l'objectif 40X.

II.2.1.2. Méthode par flottation au sulfate de zinc ou technique de Faust (1938).

Cette méthode permet la flottation des oocystes. Après homogénéisation du culot, 5 mL d'échantillon ont été prélevés à l'aide d'une seringue graduée et introduits dans un tube à essai. A cela, 1mL de formol à 10% a été ajouté ainsi que 3mL de sulfate de zinc à 33%. Le mélange obtenu a été centrifugé à 500 tours/min pendant 5minutes à l'aide d'une centrifugeuse de marque MINOR35 pour faire flotter les oocystes. Le surnageant dans lequel se trouvent les parasites est prélevé à l'aide d'une micropipette et déposé sur une lame porte-objet recouverte d'une lamelle pour observation au microscope de marque YVIMEN à l'objectif 40X.

II.2.1.3. Technique de Kato-Katz

Cette technique a été décrite par Katz *et al.* (1970). Elle permet d'identifier et de quantifier les œufs et les larves d'helminthes intestinaux présents dans les selles. Mais celle qui a été adaptée à notre

travail est le culot d'eau prélevé issu d'une centrifugation à 500 tours/min pendant 5 minutes (Ajeegah *et al.*, 2014).

L'identification des organismes a été réalisée selon plusieurs critères notamment la taille, la forme, le nombre de noyaux, le contenu du cytoplasme, ceci à l'aide des planches de l'OMS (1994), Viviane Guillaume (2007) et Cheikhrouhou Fatma (2010). En plus, la taille des kystes a été mesurée à l'aide du micromètre oculaire. Ainsi, le dénombrement et l'identification ont été effectués à l'aide de la formule proposée par Ajeegah *et al.* (2010) et à l'aide de planches de l'OMS. Le nombre (x) de kystes contenus dans 1L d'échantillon est obtenu par la formule :

$$x = y \frac{Vx}{Vy}$$

Avec Vx = le volume du culot dans 1L d'échantillon, Vy = le volume du culot utilisé pour observer, y le nombre de kystes et œufs observé dans Vy . Les résultats sont donnés en nombre de kystes/L, d'oocyste/L et d'œufs/L (Ajeegah *et al.*, 2010).

II.2.2. Paramètres hydrologiques

Le débit a été mesuré chaque mois à l'aide d'un chronomètre et d'un seau de 10L, mesuré placé sous le jet de la source et le temps nécessaire de remplissage du seau mesuré. Donné par la formule :

$$\text{Débit (m}^3/\text{s)} = \text{Volume} \times \text{temps}$$

Selon le mode d'apparition de l'eau à la surface, le type de source a été déterminé et la distance des toilettes, des habitations et autres sources de pollution évaluées à l'aide d'une application mobile Google Maps.

II.2.3. Mesure des paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques des eaux prélevées se sont déroulées à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant la méthode APHA (1998) et les recommandations de Rodier *et al.* (2009). En ce qui concerne les paramètres mesurés au laboratoire, les échantillons d'eau ont été prélevés et introduits dans des flacons en polyéthylène à double bouchage, en absence de bulle de 250 et 1000 mL, et ramenés au laboratoire via une enceinte réfrigérée.

II.2.3.1. Température, Conductivité électrique, Solides Totaux Dissous (STD), et pH

Sur le terrain, les paramètres tels que la température, la conductivité électrique, les TDS et le pH ont été mesurés à l'aide d'un multi paramètre de marque Backlights et le pH à l'aide d'un pH-mètre, ceci en introduisant les électrodes du multi paramètre et du pH-mètre à l'intérieur de l'échantillon d'eau prélevé. Les résultats obtenus sont exprimés respectivement en °C, $\mu\text{S/cm}$, mg/L, U.C.

II.2.3.2. Oxygène dissous (O₂)

La mesure de la teneur en oxygène dissous a été obtenue sur le terrain à l'aide d'un oxymètre de marque DO9100 Backlights, en plongeant les électrodes de l'appareil dans l'eau. Les résultats obtenus sont exprimés en mg/L.

II.2.3.3. Gaz carbonique dissous (CO₂)

La mesure de la teneur de l'eau en CO₂ dissous s'est faite en deux temps : sur le terrain, le CO₂ a été fixé en introduisant dans une fiole jaugée de 200 mL, 20 mL de NaOH N/20, 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine et l'échantillon d'eau est complété jusqu'au trait de jauge. Le mélange obtenu, de coloration rose est transvasé dans un flacon en polyéthylène de 250 mL. Au laboratoire, 50 mL de cet échantillon sont titrés avec du HCl N/10 jusqu'à décoloration complète. La teneur de l'eau en CO₂ exprimée en mg/L est déterminée par la formule ci-après :

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/L)} = (\text{descente de burette du témoin} - \text{descente de burette de l'échantillon}) \times 17,6$$

II.2.3.4. Alcalinité

La valeur de l'alcalinité de l'eau a été déterminée à l'aide d'un kit approprié, en introduisant la bandelette du kit dans l'échantillon d'eau. Comparer la couleur. La valeur de l'alcalinité est ensuite lue sur la carte de référence du kit et les résultats obtenus sont exprimés en mg/L.

II.2.3.5. Matières en Suspension (MES), Couleur et turbidité

Les MES, la couleur et la turbidité de l'eau ont été mesurées au laboratoire par colorimétrie au spectrophotomètre Hach DR/2000, aux longueurs d'onde respectives 810 nm, 455 nm et 450 nm. Les valeurs ont été exprimées respectivement en mg/L Pt-Co (Unité Platiniun-Cobalt) et NTU.

II.2.3.6. Oxydabilité

Au laboratoire, 200 mL d'échantillon d'eau à analyser sont introduits dans un erlenmeyer de 500 mL et 2 mL de carbonate monosodique y sont ajoutés et l'ensemble porté à ébullition. Dès le début de l'ébullition, 20 mL de KMnO₄ N/80 y sont introduits. Dix minutes après ébullition, l'ensemble est refroidi à l'eau courante puis, 5 mL de H₂SO₄ 25 % et 20 mL de sel de Mohr y sont ajoutés simultanément. La solution ainsi constituée est titrée au permanganate de potassium N/80 jusqu'à persistance de la coloration rose. Les résultats exprimés en mg/L de O₂ sont calculés par la formule :

$$\text{Oxydabilité (mg/L d'O}_2\text{)} = \frac{q - q_0}{2} \times 3,95$$

Avec q = descente de burette de l'échantillon, q₀ = descente de burette du témoin

II.2.3.7. Nitrites/Nitrates

Les valeurs du Nitrites et du Nitrates ont été effectuées par un test à kit.

En introduisant les bandelettes du kit à l'intérieur de l'échantillon d'eau, attendre 1 minute, puis repérer les différentes colorations de chaque paramètre et les comparer avec celles indiquées sur le kit de référence puis relever respectivement les valeurs de ces paramètres, les résultats ainsi obtenus sont exprimés respectivement en mg/L de NO_3^- , mg /L de NO_2^- .

II.2.3.8. Ammonium /Chlorures / Carbonates/ Duretés/ Densités

La mesure des teneurs de l'eau de ces paramètres a été réalisée en introduisant les bandelettes du kit à l'intérieur de l'échantillon d'eau, et en les comparant aux valeurs indiquées sur le kit de référence. Les valeurs de ces paramètres, les résultats ainsi obtenus sont exprimés respectivement en mg /Lde NH_4^+ , mg /L de Cl^- , mg /L CO_3^{2-} , ppm ou mg/L pour les duretés, g/L pour les densités.

II.2.4. Analyses des données

Test de corrélation de rang « r » de Spearman

La distribution étant anormale, les corrélations de rang de Spearman ont permis d'évaluer le degré de liaison entre les paramètres physicochimiques d'une part, et physico-chimiques et biologiques d'autre part. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 16.0 et les résultats appréciés au seuil de sécurité de 99 % ($P < 0,01$) et 95 % ($P < 0,05$).

Tests de comparaison des moyennes

La variation spatiale des paramètres physico-chimiques et biologiques mesurés, a été testée à l'aide du test de Kruskal-Wallis associé au test de Mann-Whitney. Le test de Kruskal-Wallis a ainsi permis de déterminer si un paramètre varie de façon significative d'une station à une autre. Le test de Mann-Whitney appliqué aux paramètres qui varient d'une station à une autre a permis de déceler la source de variation. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 16.0 et les résultats appréciés au seuil de sécurité de 95 % ($P < 0,05$).

Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP a permis d'une part de mettre en évidence les relations de dépendance entre les différents paramètres mesurés et d'autre part, de déterminer les variables qui caractérisent chaque station. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT.

Evaluation des risques sanitaires

Les risques de contamination associés aux sources d'eau ont été évalués à l'aide de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) contrôle d'observation sanitaire des sources d'eau potable (OMS, 2008).

Ce test a été utilisé pour évaluer les potentiels facteurs pouvant présenter des risques pour la qualité de l'eau des sources. La procédure impliquait la réalisation d'un examen physique examen des sources d'eau et ensuite inspecter l'environnement environnant. L'état de chaque facteur de risque identifié (indiqué dans le tableau VI) a été enregistré comme « Oui » ou « Non ». Un score positif indique la présence d'un facteur de risque, tandis qu'un score négatif indique l'absence de risque de contamination. Pour obtenir un risque final de scores, les scores de chaque source d'eau ont été additionnés. Les scores totaux ont ensuite été classés en différents niveaux de risque : "Très élevé " pour un score total de 9-10, "élevé" pour 6-8, « Moyen » pour 3-5 et « Faible » pour 0-2 catégories de risques.

Facteurs de risque pour les sources d'eau	
OUI/NON	Facteur de risque
1	Latrine ou fosse septique puisard à moins de 10 m de la source
2	Latrines/fosse septiques en hauteur par rapport au source
3	Absence de zones de drainage des eaux sources
4	Autres sources de contamination à proximité telles que les eaux usées
5	Égoutter, décharge à proximité, déjections animales, etc. à moins de 10 m.
6	Activités récréatives (baignades, lessives, pêche)
7	Absence de protection supérieure(bloc d'aménagement)
8	Mauvaise Profondeur et Absence du revêtement interne
9	Défauts de conception ou d'entretien des systèmes d'eau
10	Construction et urbanisation à proximité

Risque de contamination	
Score d'assainissement	Catégorie de risque
0-2	Faible
3-5	Modéré
6-8	Élevé
9-10	Très élevé

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. RESULTATS

III.1.1. Paramètres hydrologiques

Les sources répertoriées pendant l'étude étaient de type rhéocrène avec un débit moyen de 2 L/s pour la source S1, 4,9 L/s pour la source S3, 3 L/s pour S4. Le débit le plus élevé étant observé à la source S2 (Tableau VI).

Tableau VI : Variation des paramètres hydrologiques et calcul des risques de pollution.

Variables	Stations			
	S1	S2	S3	S4
Type de source	Rhéocrène	Rhéocrène	Rhéocrène	Rhéocrène
Débit (L/s)	2	6,3	4,9	3
Distance des toilettes	6 m	10 m	20 m	180 m
Distance des habitations	10 m	50 m	50 m	200 m
Calcul des Risques de pollutions				
Facteurs de risque pour les sources d'eau	S1	S2	S3	S4
Latrine ou fosse septique puisard à moins de 10 m de la source	1	0	0	0
Latrines/fosse septiques en hauteur par rapport au source	1	1	1	1
Absence de zone de drainage des eaux de sources	1	0	0	1
Autres sources de contamination à proximité telles que les eaux usées	1	1	0	1
Égout, décharge à proximité, déjections animales, etc. à moins de 10 m.	1	0	0	0
Activités récréatives (baignades, lessives, pêche)	0	1	0	0
Absence de protection supérieure(bloc d'aménagement)	1	1	0	0
Mauvaise Profondeur et absence du revêtement	1	1	0	0
Défauts de conception ou d'entretien des systèmes d'eau	1	1	0	0
Construction et urbanisation à proximité	1	0	0	0
Scores totaux d'assainissement	9	6	1	3
	Très élevé	Elevé	Faible	Modéré

III.1.2. Analyse biologique

III.1.2.1. Densité relative des kystes et oocystes des protozoaires entéropathogènes identifiés dans les sources internes

Les observations des formes de dissémination des Protozoaires ont permis d'identifier et dénombrer 765 kystes et oocystes de protozoaires appartenant à 5 grands groupes et 10 espèces. Il s'agit de 593 oocystes des Coccidies (78%) avec 208 oocystes de *Cryptosporidium* sp., 60 oocystes de *Cyclospora cayetanensis*, 153 oocystes *Isospora belli* et 172 oocystes de *Sarcocystis hominis*, 7 oocystes de blastocystes (1%), 115 kystes d'Amibes (15%) avec 54 kystes d'*Entamoeba coli* et 61 kystes d'*Entamoeba histolytica*, 8 kystes de Ciliés (1%) avec 8 kystes de

Balantidium coli et enfin 42 kystes de Flagellés (5%) dont 28 kystes de *Giardia intestinalis* et 14 kystes de *Chilomastix mesnili* (Figure 15).

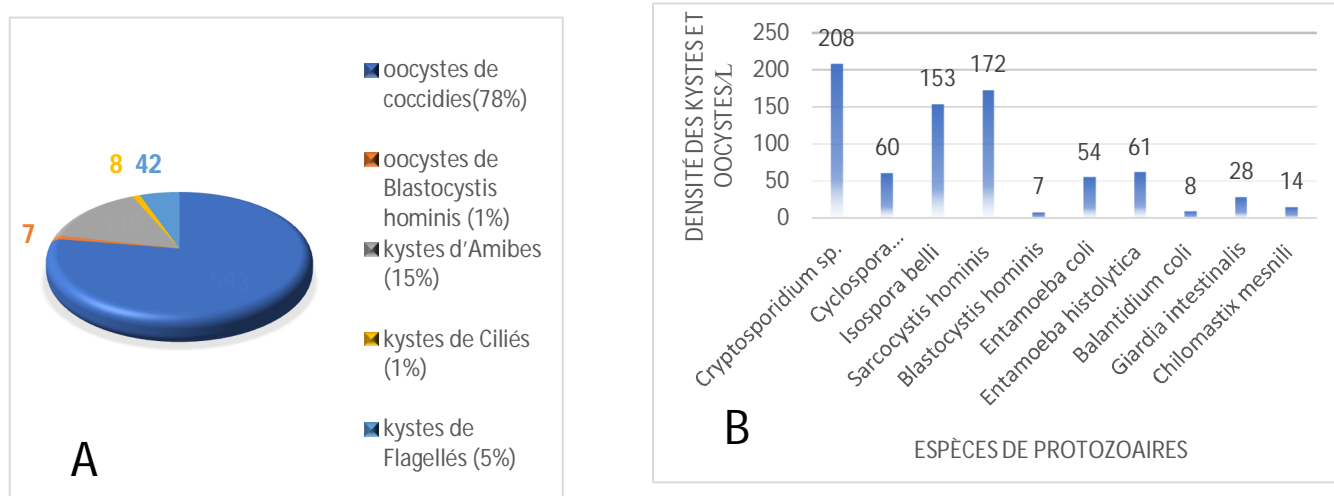


Figure 15 : Densité relative des différents kystes et oocystes de Protozoaires identifiés pendant la période d'étude.

III.1.2.2. Variation spatiotemporelle des densités des kystes et oocystes des protozoaires entéropathogènes identifiés dans les sources internes

Sur le plan spatial, la charge parasitaire a été plus élevée à la station S1 avec 281 kystes, et oocystes et une moyenne de $(28,1 \pm 22,52)$ kystes/L et moins élevée à la station S2 avec 145 kystes, et oocystes pour une moyenne de $(14,5 \pm 15,8)$ kystes/L (Figure 16). Il n'existe pas de différence significative sur le plan spatial ($p=0,06$). Pendant la période d'étude, l'abondance des kystes, et oocystes des protozoaires a été plus élevée pendant le mois de février avec 183 kystes, et oocystes avec une moyenne $(20,33 \pm 14,44)$ kystes/L et moins élevée pendant le mois de juillet avec 60 kystes, et oocystes pour une moyenne de $(6,66 \pm 4,44)$ kystes/L. L'espèce la plus dense a été *Cryptosporidium* sp. avec un total de 208 kystes, La densité la plus élevée (65kystes) a été obtenue au mois de février et la moins élevée (8 kystes) au mois de juillet. *Blastocystis hominis* ont été les espèces les moins denses avec un total de 7 kystes. Une différence significative n'a pas été obtenue sur le plan temporel ($P = 0,50$).

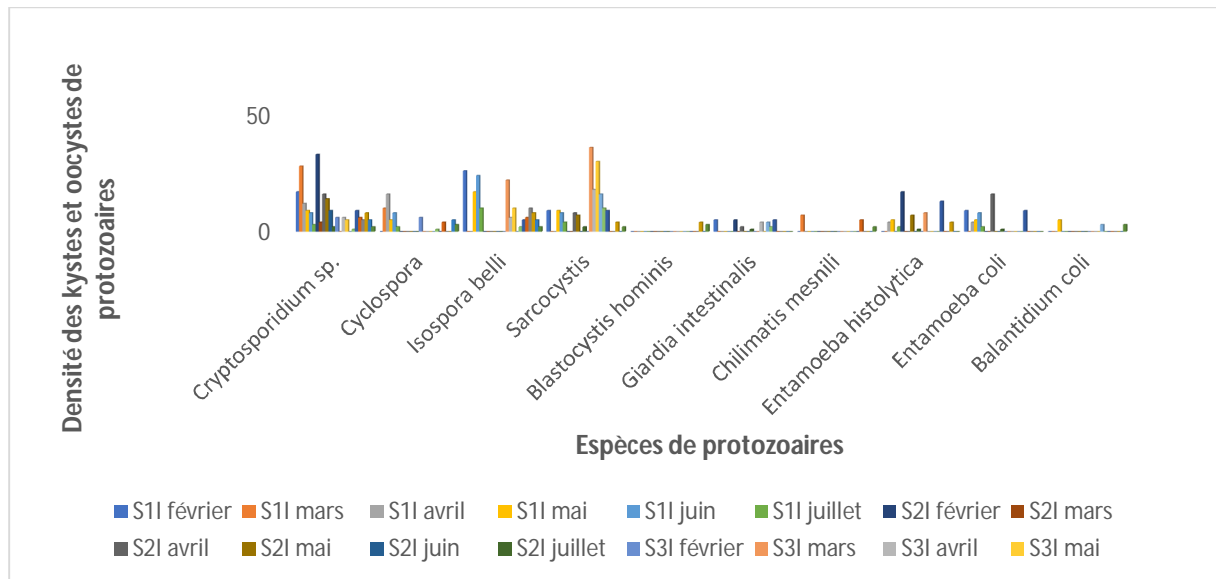


Figure 16 : Variation spatiale et temporelle des espèces de protozoaires pendant la période d'étude.

III.1.2.3. Caractérisations et identifications des oocystes, sporocystes des sporozoaires et cystes de Blastocystes pendant la période d'étude dans les sources internes

III.1.2.3.1. Caractérisation et identification des oocystes

Les oocystes de *Cryptosporidium sp.* sont de très petite taille (4 à 6 μm de diamètre) et renferment une vacuole visible ou pas, leur paroi est épaisse(Figure 17 A).

Les oocystes de *Cyclospora cayetanensis* sont circulaires avec une double paroi lisse. A l'intérieur de ceux-ci se trouve un amas verdâtre appelé morula. Leur taille varie de 7 à 10 μm de long (Figure 17 B).

Les oocystes d'*Isospora belli* ont une taille qui oscille entre 17 et 36 μm de long avec une paroi mince, lisse et peu réfringente. Ils contiennent des cellules ovulaires rondes finement granulées (Figure 17 C).

Les sporocystes de *Sarcocystis hominis* se présentent sous une forme ovoïde et contiennent des sporozoïtes. Leur coque est mince et leur taille fluctue entre 10 et 25 μm de long (Figure 17 D).

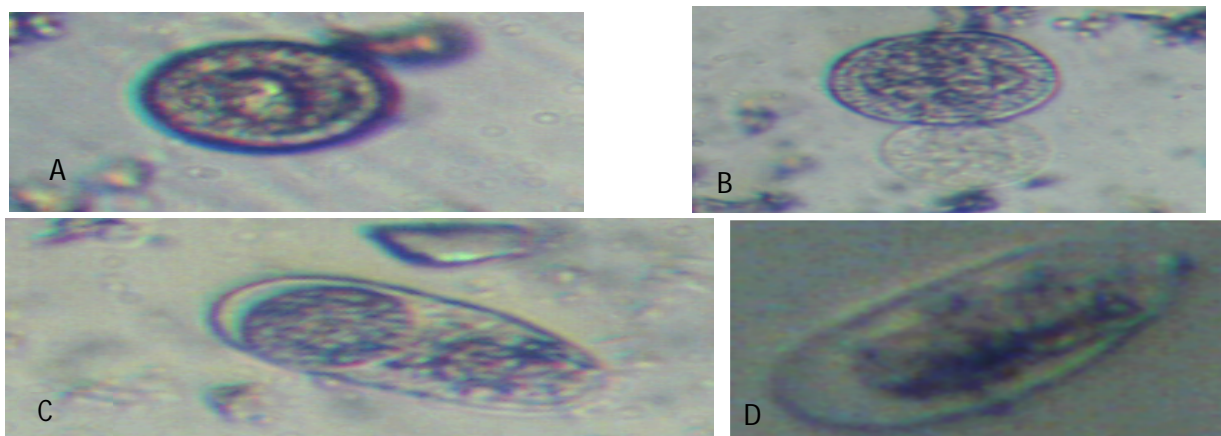


Figure 17 : Oocystes observés pendant la période d'étude (A : *Cryptosporidium sp.*, B : *Cyclospora cayetanensis*, C : *Isospora belli*. Forme sporulée, D : *Sarcocystis hominis*.)

III.1.2.3.2. Caractérisation et identification des cystes Blastocystes

Les cystes de *blastocystis hominis* sont sphériques avec une paroi cellulaire épaisse et résistante, leurs tailles peuvent variées entre (5 à 15 μm de diamètre), la forme kystique : est arrondie, mesure 3 à 10 μm avec un cytoplasme condensé et plusieurs vacuoles. Le cycle du parasite n'a pas encore été élucidé à ce jour mais toutes les hypothèses s'accordent à dire que l'infestation débute par l'ingestion de kystes de *Blastocystis. hominis* retrouvés dans les eaux et aliments souillés par les matières fécales humaines ou animales. (Figure18).

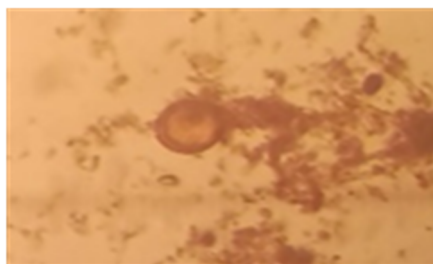


Figure 18 : Blastocystis hominis.

III.1.2.3.3. Caractérisation et identification des kystes d'Amibes

Les kystes d'*Entamoeba coli* (Figure 19 A) ont une taille allant de 14 à 30 μm de long et sont de forme circulaire. Ils présentent une paroi épaisse et contiennent 1 à 7 noyaux, une vacuole et quelques cristoïdes. Les kystes d'*Entamoeba histolytica/dispar* (Figure19 B) qui ont une taille variant de 11 à 16 μm de long, sont sphériques et présentent un contour épais. Chaque kyste contient 1 à 4 noyaux, une vacuole et quelques cristoïdes.

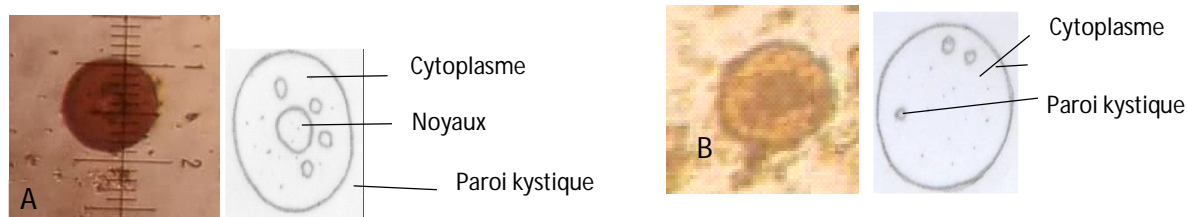


Figure 19 : Kystes d'amibe rencontrés pendant l'étude (A : *Entamoeba coli*, B : *Entamoeba histolytica*).

III.1.2.3.4. Caractérisation et identification des kystes de flagellés

Les kystes de *Giardia.intestinalis* (Figure 20A) ont une taille variante de 8 à 17 μm de long. Ils sont de forme ovulaire ou ovoïde avec un contour lisse, assez mince et assez réfringent. Chaque kyste contient deux à quatre noyaux, des reliquats flagellés et un axostyle qui passe verticalement dans l'axe du kyste.

Le kyste de *Chilomastix mesnili* (Figure 20B) a une taille qui oscille entre 5 et 10 μm de long. Il a la forme d'amande ou d'une poire avec la coque externe lisse, épaisse, très nette et très réfringente. Le contenu est constitué d'un gros noyau excentrique.

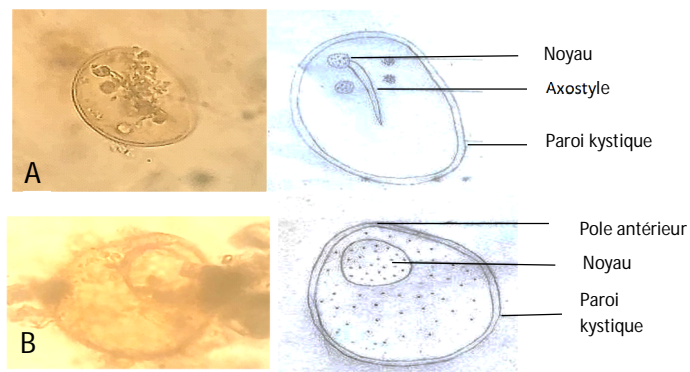


Figure 20 : kystes de *Giardia intestinalis* et de *Chilomastix mesnili* observés pendant l'étude.

III.1.2.3.5. Caractérisation et identification des kystes de Ciliés

les kystes du cilié *Balantidium coli* (Figure 21) se distinguent par leur grande taille (45-66 μm de long) et présentent une forme circulaire ; leur paroi est épaisse. Ils sont pourvus de deux noyaux (un micronucleus parfois invisible et un macronucleus).

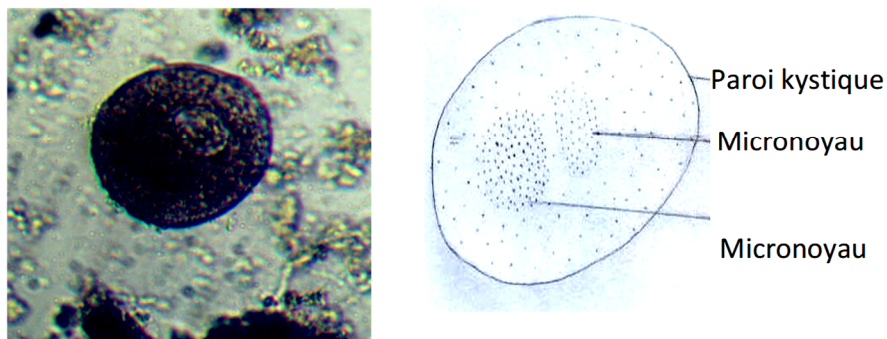


Figure 21 : kyste de *Balantidium coli* observé pendant l'étude.

III.1.2. Densité relative des œufs et larves d'helminthes

Les observations des formes environnementales d'Helminthes pendant la période d'étude ont permis d'identifier et de dénombrer au total 93 œufs et de larves. Ces différentes formes ont été réparties en trois grands groupes (Figure 22) à savoir : 7 œufs de Cestodes (8%) représenté comme suite 3 œufs *Hymenolepis nana*, 4 *Diphyllobothrium latum* ; 9 œufs de Trématodes (9%) 9œufs de *Faciola* spp. ; 77 œufs et larves de Nématodes (83%) avec 44 œufs d'*Ascaris* sp., 7 œufs d'*Ankylostomes* sp., 3 œufs d'*Enterobius vermicularis* , 4 œufs de *Trichostrongyloides* et 19 larves de *Strongyloïdes* .

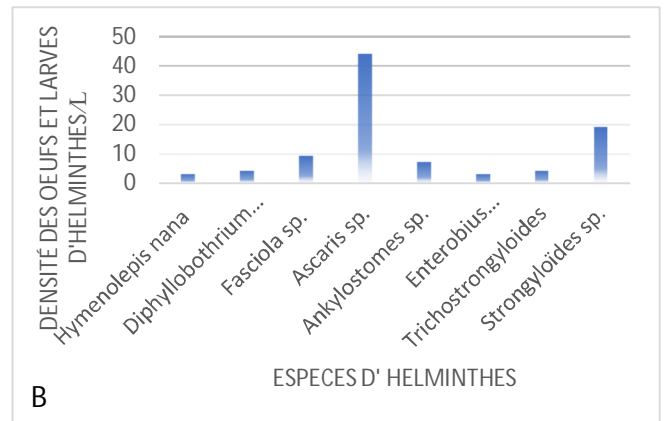
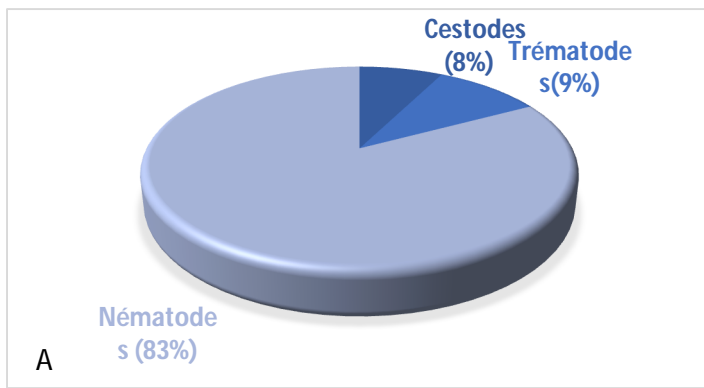


Figure 22 : Densité relative des différents œufs et larves des helminthes identifiés pendant la période d'étude.

III.1.2.6. Variation spatiotemporelle des densités des œufs d'helminthes identifiés

Sur le plan spatial, les œufs d'helminthes ont été plus abondants à la station S1 avec 36 œufs d'helminthes pour une moyenne ($4,5 \pm 6$) œufs/L et moins abondants à la station S3 avec 3 œufs d'helminthes pour une moyenne de ($0,35 \pm 0,65$) œufs/L.

Sur le plan temporel, l'abondance des œufs d'helminthes a été plus élevée au mois d'avril avec un total de 36 œufs pour une moyenne de ($4,5 \pm 7,1$) œufs/L et plus faible au mois de février avec un total 5 œufs pour une moyenne de ($0,62 \pm 1,09$) œufs/L. Sur le plan temporel l'espèce la plus dense a été *Ascaris* sp. Cette densité a été plus élevée au mois d'avril avec 33 œufs et moins élevée au de de juin avec 6 œufs, alors que les espèces les moins denses ont été *Hymenolepis nana* et *Entérobis vermicularis* avec 3 œufs aux mois respectifs de juin et avril, aucun œuf pour le reste des mois. De même sur plan spatial l'espèce la plus abondante est *Ascaris* sp. avec 18 œufs à la station S2 et la valeur la plus faible est 12œufs à la station S4 ; *Hymenolepis nana* et *Entérobis vermicularis* sont les espèces les moins abondantes avec 3 œufs aux stations respectives S1 et S3 alors qu'elles sont nulles pour le reste des stations. Les différences obtenues entre les diverses espèces n'ont pas été significatives sur le plan spatio-temporel ($p > 0,05$) (Figure 23).

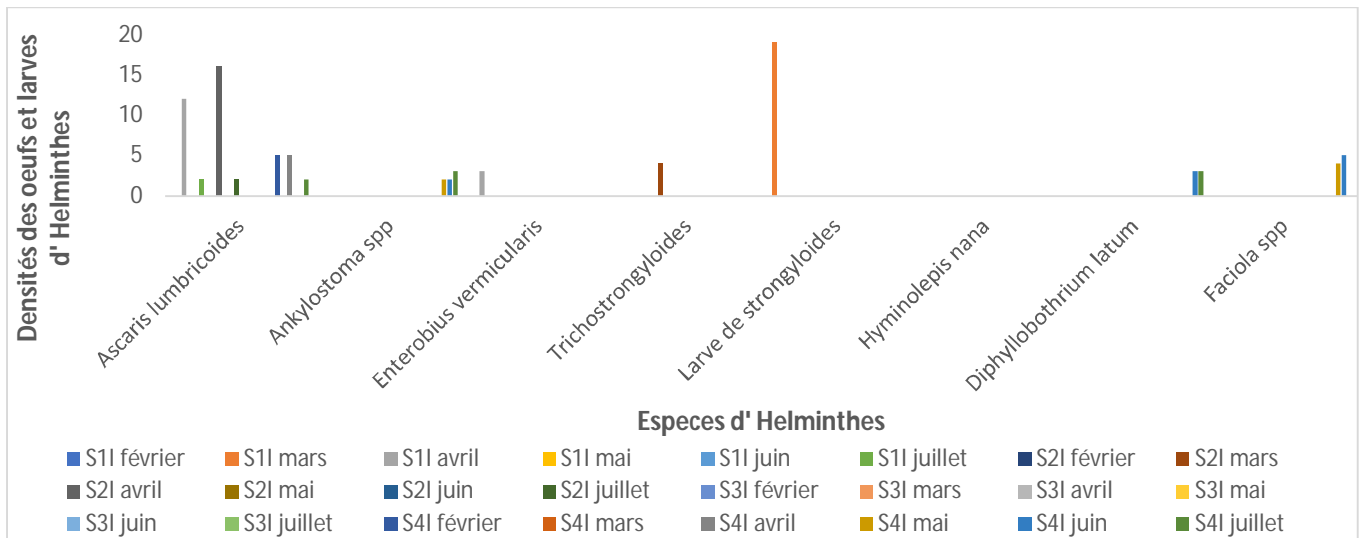


Figure 22 : Variation spatio-temporelle des espèces d'helminthes pendant la période d'étude.

III.1.2.7. Caractérisation et identification des Helminthes étudiés pendant la période d'étude dans les sources internes

III.1.2.7.1. Caractérisation et identification des œufs et larves de nématodes

Les œufs d'*Ascaris* sp. Sont ovoïdes (60 à 70 µm de long sur 40 à 50 µm de large) sont pondus en très grand nombre dans l'intestin (jusqu'à 200.000 par jour) et évacués avec les fèces (stade 1 du cycle parasite). Ces œufs sont entourés d'une double coque brune, d'aspect mamelonné très caractéristique, qui les rend très résistants dans le milieu extérieur (Figure 23A).

Les œufs d'*Ankylostomes* sp. sont ellipsoïdes, symétriques à coque lisse et mince mesurent de 60 µm à 65 µm de long sur 40 µm de large. Ils contiennent à l'émission quatre à huit blastomères (Figure 23 B).

Les œufs d'*Enterobius vermicularis* mesurent entre 50 et 60µm/ 30 à 32µm, ils sont ovoïdes et asymétriques. Ils sont caractérisés par leur double faces. L'une des faces est convexe et l'autre est presque plane. La coque à double membrane est épaisse et lisse (Figure23 C).

Les œufs de *Trichostrongyloides* ont une forme ovale, mesurant 40 à 50 µm de longueur. Ils sont caractérisés par une paroi épaisse et lisse (Figure23 D).

La larve de *strongyloides* est la larve L3 infestante, elle mesure entre 190 et 230 µm de long et possède un œsophage cylindrique filiforme occupant la longueur du corps. Elle Possède également une bouche à bout pointue ou en fourche et une extrémité postérieure peu effilée (Figure23E).

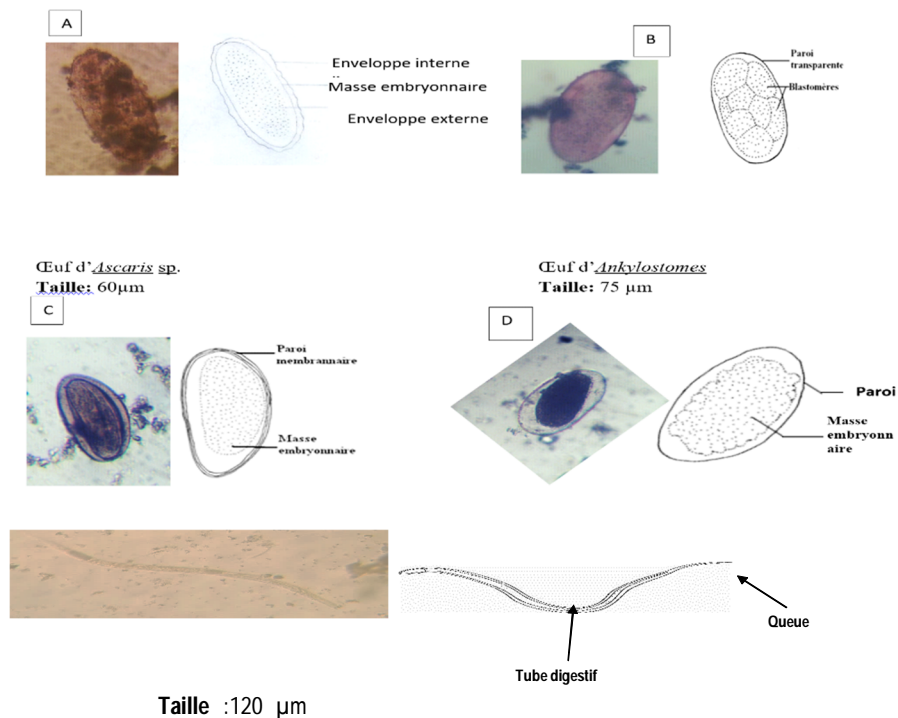


Figure 23 : Œufs de nématodes observés pendant l'étude (A : *Ascaris* sp., B : *Ankylostome* sp., C : *Enterobius vermicularis*, D : *Trichostrongyloides*, E : Les larves de strongyloides .

III.1.2.7.2. Caractérisation et identification des œufs de cestodes

Les œufs d'*Hymenolepis nana* mesurent 35 µm à 45 µm, ils sont elliptiques et contiennent un embryon hexacanthe. La coque est lisse, mince et incolore, la coque interne porte deux mamelons diamétralement opposés d'où partent 4 à 5 filaments (Figure 24 A).

Les œufs de *Diphyllobothrium latum* mesurent 67 à 71 µm de long sur 40 à 51 µm de large. Ils sont ovales, operculés et légèrement brun. Une des extrémités va en s'arrondissant, les œufs ne sont pas embryonnés quand ils passent dans les fèces (Figure 24 B).

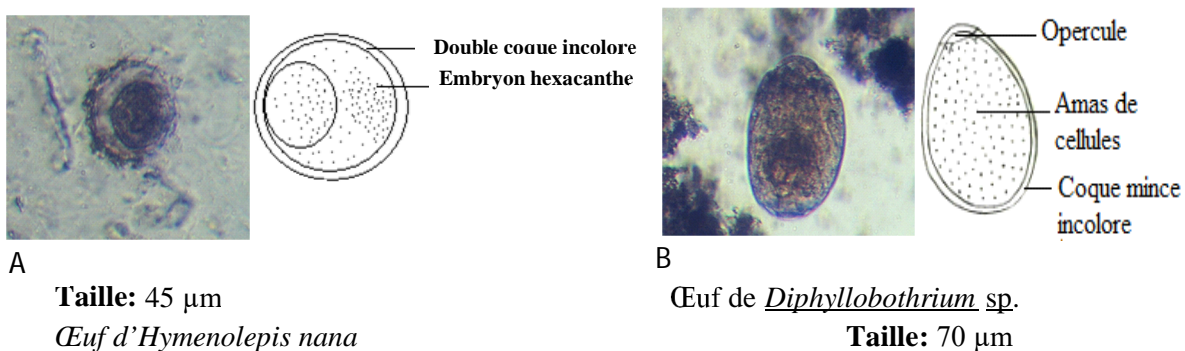
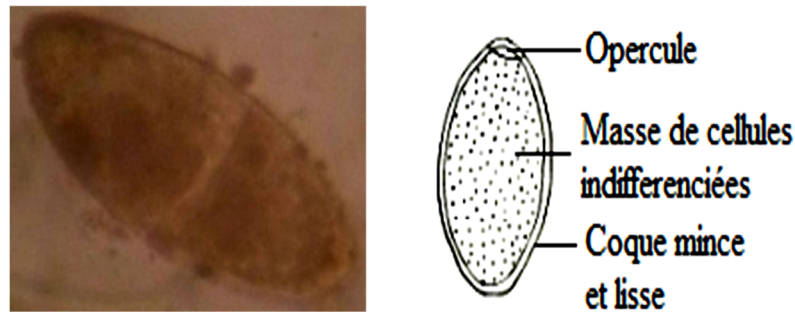


Figure 24 : Œufs de cestodes observés pendant l'étude (A : *Hymenolepis nana*, B : *Diphyllobothrium* sp)

III.1.2.7.3. Caractérisation et identification des œufs de trématodes

Les œufs de *Fasciola* sp. ont une taille variante entre 120 et 140 µm de long. Ils sont ovoïdes, symétriques, à coque mince, lisse avec un opercule à une extrémité l'autre étant renfoncée. Le contenu est une masse de cellules indifférenciées (non embryonnés.) (Figure 25)



Œuf de *Fasciola* sp.

Taille: 120 µm

Figure 25 : Œufs de *Fasciola* sp. observés pendant la période l'étude.

III.1.3. Variation spatiotemporelle des paramètres physiques

III.1.3.1. Température

Durant la période d'études, la température a fluctué entre 23 °C (à la station S4 au mois de mars) et 35°C (à la station S3 au mois d'avril et juin), avec une amplitude thermique de 12. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de $(29,03 \pm 3,54)$ °C. D'un point de vue temporel, les résultats de l'analyse statistique révèlent des variations significatives de la température ($p < 0,05$) par conséquent le test de Mann-whitney, nous révèle notamment une similitude de température entre les mois de février, mars, avril, mai, juin. En revanche, sur le plan spatial, l'analyse n'a pas révélé des variations significatives de la température ($P=0,56$) selon le test de Kruskal-Wallis (Figure 26).

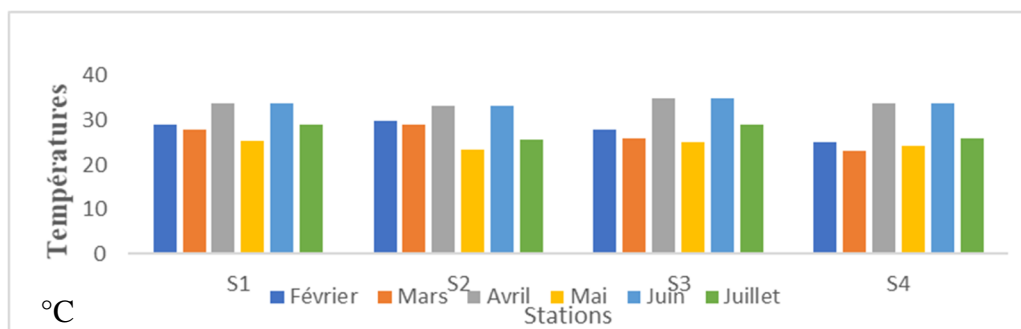


Figure 26 : Variation spatiotemporelle de la température pendant la période d'étude.

III.1.3.2. Solides Totaux Dissous et Densité.

Les teneurs en Solides Totaux Dissous (TDS) obtenues pendant la période d'étude varient entre 2 mg/L (obtenue à la station S3 au mois de février) et 22 mg/L à la station S3 au mois de mai et juillet, avec une amplitude de 20. Ces valeurs s'inscrivent autour d'une moyenne de $(13,14 \pm 4,76)$ mg/L. Cette variation de teneur ne montre pas une différence significative sur le plan spatial ($p = 0,27$) et sur le plan temporel ($p = 0,08$). En outre les densités observées au cours de la période d'étude sont constantes (1,001) avec une amplitude nulle et une moyenne de 1,001, raison pour laquelle il n'y a pas de différence significative sur le plan spatio-temporel (Figure 27).

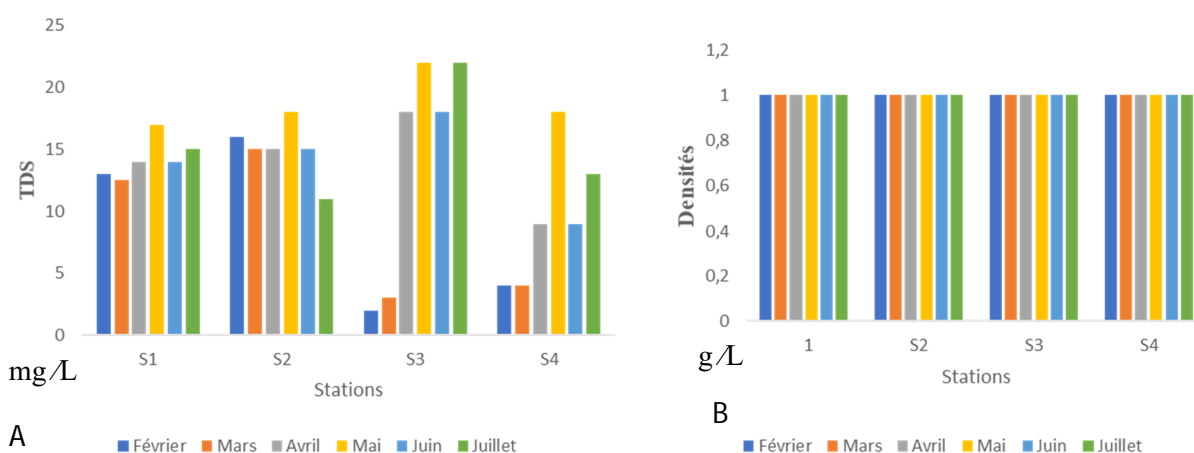


Figure 27 : Variation spatiotemporelle des TDS et Densités pendant la période d'étude.

III.1.3.3. Matières en suspension

La concentration de MES a variées entre 0 mg/L et 48mg/L (au mois de février a la station S1) avec une amplitude de 48 et une moyenne qui alterne autour de $(14,85 \pm 9,02)$ mg/L. Ce paramètre ne montre pas une différence significative sur le plan spatial ($p = 0,23$) et sur le plan temporel ($p = 0,84$) (Figure 28).

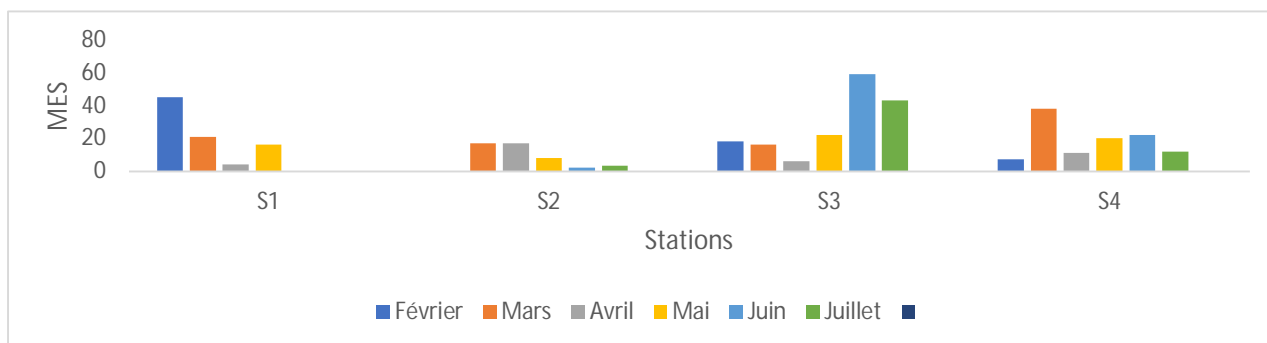


Figure 28 : Variation spatiotemporelle de MES pendant la période d'étude.

III.1.4. Variation spatiotemporelle des paramètres chimiques

III.1.4.1. pH et Alcalinité

En ce qui concerne le pH nous avons observé des changements marqués, oscillant entre 5,12 U.C (à la station S4 au mois d'avril) et 7,4 U.C (à la station S3 au mois de février), avec une amplitude de 2,28. Ces valeurs varient autour d'une moyenne de $(6,75 \pm 0,54)$ U.C.

Sur le plan temporel, les analyses statistiques révèlent des variations significatives du pH ($P=0,004$) selon le test de Mann-Whitney, mettant en évidence des similitudes entre les mois de Mars, avril et mai. En revanche, l'analyse spatiale n'a pas mis en évidence de variations Significatives ($p=0,83$). Tandis que L'alcalinité mesurée a eu des valeurs qui ont alterné autour de 2mg/L (à la station S4 et S3 pendant les mois respectifs d'avril et juillet) et 10 mg/L (à la Station S1 au mois de juillet), avec une amplitude de 8, ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de $(4,32 \pm 1,95)$ mg/L. Les valeurs d'alcalinité obtenues n'ont aucune différence significative au seuil de probabilité de 5% sur le plan spatiotemporel ($p = 0,82$ et $p = 0,26$) (Figure 29).

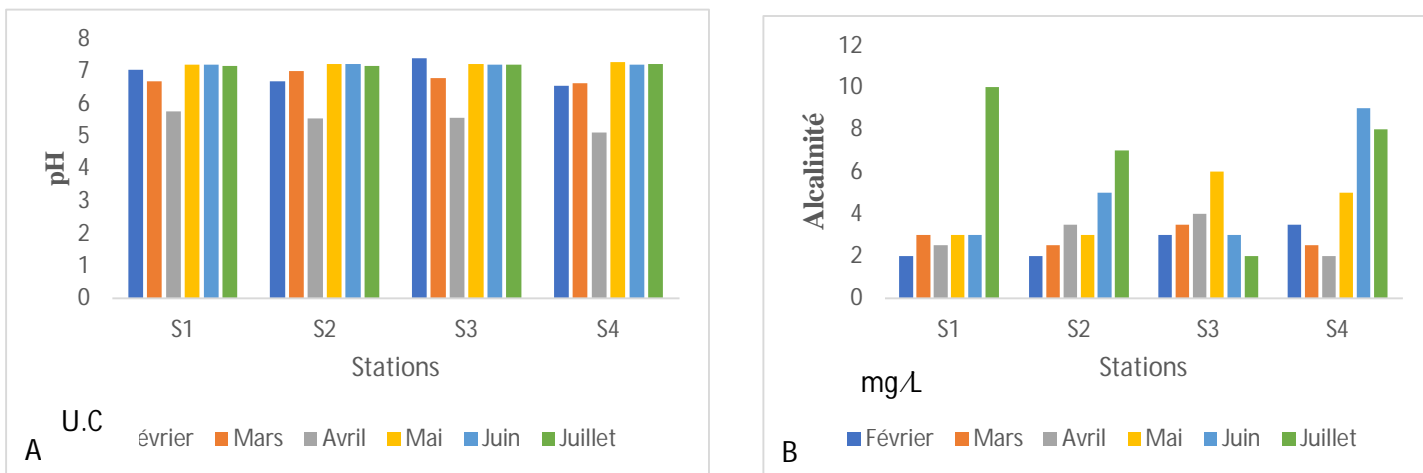


Figure 29 : Variation des paramètres chimiques pendant la période d'étude, pH (A) et l'alcalinité (B).

III.1.4.2. Oxygène dissous, Dioxyde de carbone dissous, Oxydabilité et Conductivité électrique

De manière générale, l'oxygène dissous a fluctué entre 3,2 mg/L (à la station S1 au mois de juillet) et 11mg/L (à la station S2 au mois de juillet), avec une amplitude de 7,8, ces fluctuations gravitent autour d'une moyenne de $(7,44 \pm 1,50)$ mg/L. Sur le plan temporel, l'oxygène dissous a présenté une variation statistiquement non significative ($p = 0,52$). En revanche, cette variation s'avère significative sur le point spatial ($p = 0,005$) comme l'a révélé le test de Mann-Whitney, qui souligne une similitude des concentrations entre certaines sources.

Concernant les valeurs du gaz carbonique dissous obtenues pendant la période d'étude, elles ont varié entre 3,52 mg/L de CO₂ (à la station S2 au mois de mai) et 89,76 mg/L de CO₂ (à la station S3 au mois d'avril), avec une amplitude de 86,24. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de (55,61 ± 23,36) mg/L de CO₂. Les analyses statistiques nous révèlent une variation significative des valeurs de CO₂ sur le plan temporel (p = 0,006) selon le test de Mann-Whitney, mettant en exergue des similitudes entre certains mois tels que (février, mars, avril, mai, juin), cependant l'analyse spatiale ne montre pas de variations significatives (p = 0,96).

Pour ce qui est de l'oxydabilité, la valeur minimale est de 1,77 mg/L de O₂ (à la station S2 au mois d'avril) et la valeur maximale 24,68 mg/L de O₂ (à la station S4 au mois de mai), avec une amplitude de 22,91. Ces données évoluent avec une moyenne de (8,44 ± 5,22) mg/L de O₂. Les différences obtenues ne sont pas significatives sur le plan spatio-temporel (p = 0,7862 et p = 0,102).

La conductivité électrique a oscillé autour de 4 μS/cm (à la station S3 au mois de février) et 44 μS/cm (à la station S2 au mois de juillet) pour une amplitude de 40. Ces paramètres varient autour d'une moyenne de (26,93 ± 9,62) μS/cm. L'analyse temporelle révèle des variations significatives de la conductivité électrique (p = 0,021) selon le test de Mann-Whitney mettant en évidence des similitudes entre les mois (février, mars, avril, mai, juin, juillet), néanmoins, l'analyse spatial ne montre pas de variation significatives (p = 0,005) (Figure 30).

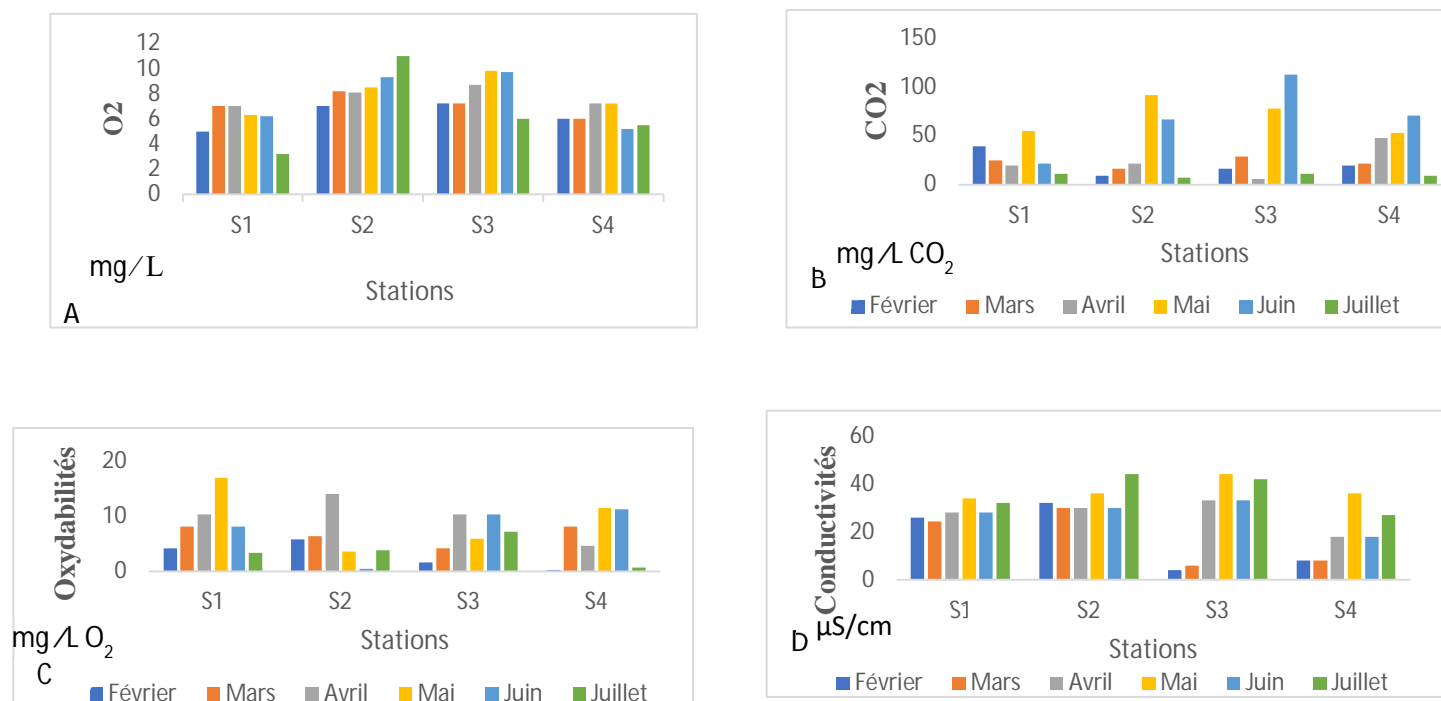


Figure 30 : Variation des paramètres chimiques pendant la période d'étude (oxygène (A), CO₂(B) oxydabilité (C), conductivité électrique (D)).

III.1.4.3. Nitrites, Nitrates, Ammonium, Carbonates

Au cour de la période d'études, la concentration en nitrite a varié entre 0,2 mg/L de NO_2^- (à la station S4 au mois de février) et 5 mg/L de NO_2^- (à la station S2 au mois de février) avec une amplitude de 4,8. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de $(1,58 \pm 1,02)$ mg/L NO_2^- . Sur le plan spatio-temporel, la concentration en nitrates ne varie pas de manière significative ($p = 0,06$ et $p = 0,14$).

Quant au nitrate, sa teneur a varié entre 0,4 mg/L de NO_3^- (conformément à la station S4 au mois de mars) et 10 mg/L de NO_3^- (la station S2 durant le mois juillet) associé à une amplitude de 9,6. Ces données s'alternent autour d'une moyenne de $(3,89 \pm 2,46)$ mg/L NO_3^- . Les analyses statistiques ne présentent pas de différence significative sur le plan spatio-temporel ($p = 0,15$ et $p = 0,78$).

Pour ammonium, la teneur la plus faible est de 0,05 mg/L de NH_4^+ (obtenue au mois de mai à la station S4 (Nkometou1)) et celle la plus grande est de 0,5 mg/L de NH_4^+ (au mois de mai à la stations S1(Nkometou 3)), avec une amplitude de 0,45. Ces teneurs oscillent autour d'une moyenne de $(0,23 \pm 0,11)$ mg/L NH_4^+ . Les tests statistiques montrent que les différences ne sont pas significatives sur le plan spatial ($p = 0,29$) mais le sont par contre sur le plan temporel ($p = 0,023$) pendant les mois de février, mars, avril, mai, juin, juillet.

La valeur du carbonate étudié pendant la période d'étude varie entre 1 mg/L de CO_3^{2-} (à la station S3 au mois de juillet) et 7 mg/L de CO_3^{2-} , (à la station S4 au mois de juin), avec une amplitude optimale de 6. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de $(3,28 \pm 0,92)$ mg/L de CO_3^{2-} . Selon l'analyse statistique réalisé par Kruskal-Wallis nous n'observons pas de différence significative aussi bien sur le plan spatial que temporel ($p = 0,97$ et $p = 0,22$) (Figure 31).

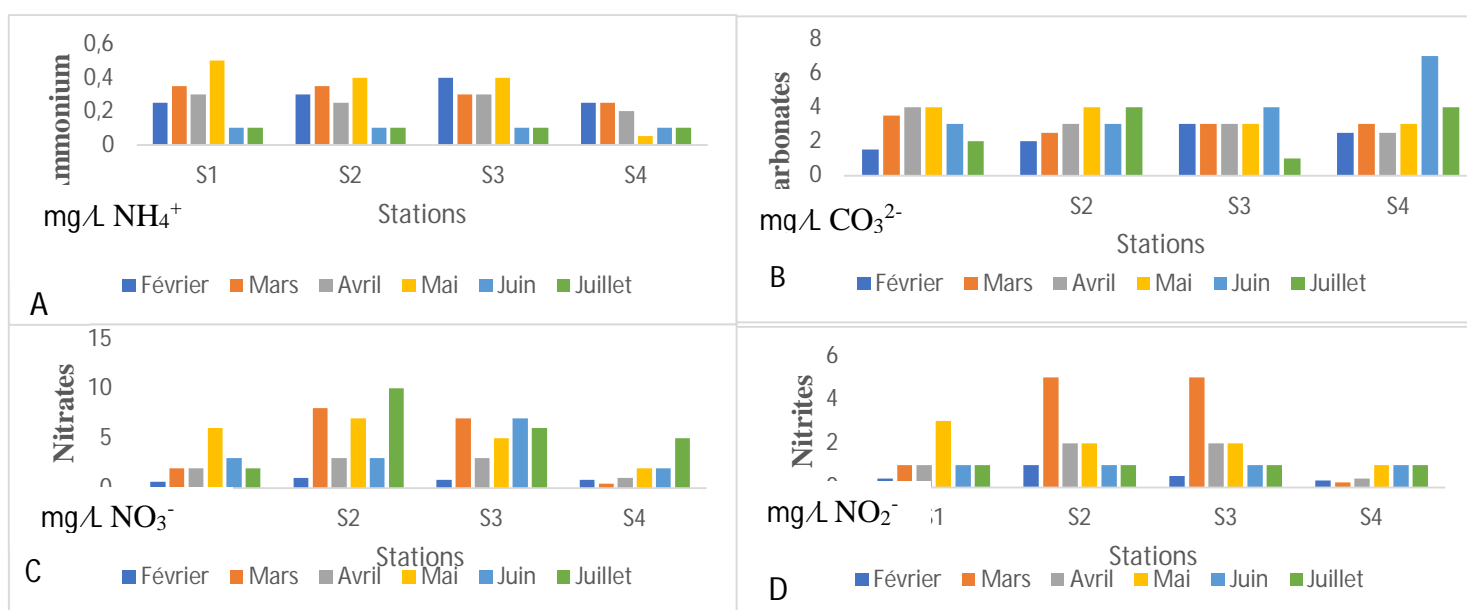


Figure 31 : Variation des paramètres chimiques pendant la période d'étude (Ammonium(A), Carbonates(B), Nitrates (C), Nitrites (D)).

III.1.4.4. Chlorures, Dureté Totale

Durant la période d'étude la teneur en chlorures a varié entre 0 mg/L (à la station S3 au mois de février) et 3mg/L (à la station S3 au mois de mai), avec une amplitude de 3. Cette teneur permute autour d'une moyenne de $(1,02 \pm 0,49)$ mg/L. Sur le plan temporel, les résultats de l'analyse statistique révèlent des variations significatives de chlore ($p= 0,18$) d'où le test de Mann-whitney, nous révèle notamment une similitude entre les mois de février, mars, mai et juillet. En revanche, sur le plan spatial, l'analyse n'a pas révèlé des variations significatives ($P=0,76$) selon le test de Kruskal-Wallis.

Alors que la Dureté totale varie entre 1mg/L (à toutes les stations et tous mois) et 6mg/L (à la station S1 au mois de juin), avec une amplitude de 5. Cette variation alterne autour d'une moyenne de $(2,06 \pm 1,08)$ mg/L. Les analyses statistiques ne révèlent pas de variations significatives sur le plan spatio-temporel ($p = 0,73$ et $p = 0,65$) (Figure 32).

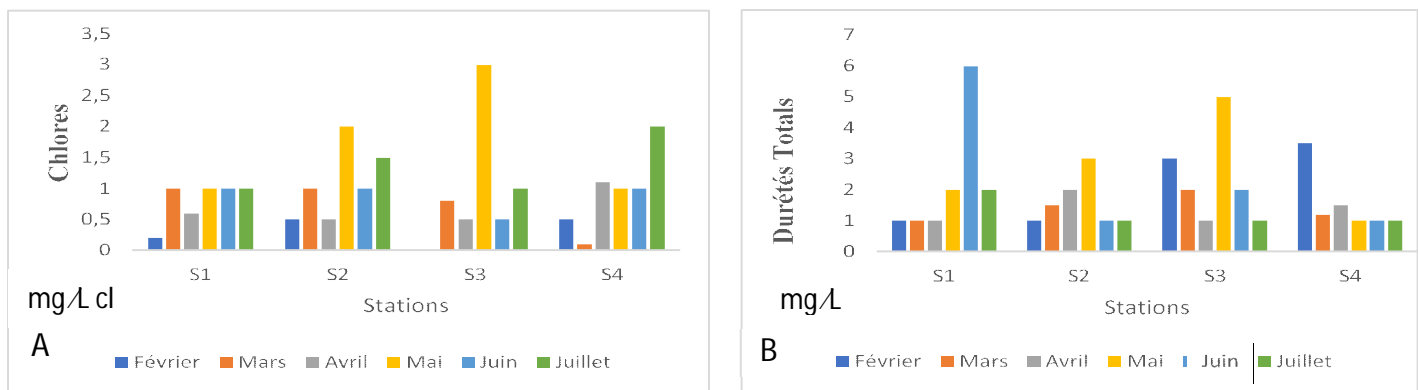


Figure 32 : Variations spatio-temporelle des chlorures (A) et Dureté totale (B).

III.1.5. Corrélation de Spearman

Des corrélations ont été effectuées entre les variables physico-chimiques, les variables physico-chimique et les variables biologiques (biologie interne) et afin les variables biologiques (biologie interne et biologie externe). Pour ce qui est des variables physico-chimiques des corrélations positives et négatives au seuil 1% pour ** et 5% pour * ont été enregistrées. Le pH est corrélé au Nitrates ($r = 0,443$) au Nitrites($r=0,879$) et à l'Oxygène ($r = 0,72$). La couleur quant à elle est corrélé la Turbidité ($r = 0,455$), au MES ($r = 0,464$), au Nitrates ($r = 0,432$). L'Oxygène dissous est corrélée au Nitrates ($r = 0,763$) et au pH ($r = 0,442$), le Chlore est corrélé au Carbonates ($r = 0,533$). Pour ce qui est des variables physico-chimique et biologiques des corrélations négatives ont été enregistrées entre *Cyclospora cayetanensis* et CO2 ($r = -0,408$), conductivité est corrélée négativement à *isospora belli* ($r = -0,460$), *Chilomastix mesnili* est corrélée positivement à la température ($r = 0,539$) et au Carbonate ($r = 0,539$), Chlorures corrélé positivement à *Fasciola* sp. ($r = 0,443$), la couleur est corrélée négativement à *sarcocytis hominis*($r = -0,461$), les Nitrites sont corrélé positivement à *Entamoeba*

histolytica ($r = 0,424$) et enfin les Nitrates sont corrélés négativement au *cryptosporidium* sp. ($r = -0,662$). Des corrélations ont aussi été enregistrées au niveau des variables biologiques interne et externe, ainsi *Enterobius vermicularis* est corrélée à *Giardia* avec ($r = 0,812$) et *Fasciola* sp. ($0,815$) et afin *Hymenolepis nana* est corrélée à *Entamoeba histolytica* ($r = 0,603$).

III.1.6. Analyse en Composantes Principales

Elle montre que les deux premiers axes cumulent 79,83% de la variance totale. Elle montre aussi une répartition des différents paramètres en 4 noyaux. Dans le noyau numéro 1 les paramètres physico-chimiques tels que : la couleur, les MES, la température, l'ammoniac, les TDS, et la dureté sont liés avec les paramètres biologiques tels que *Sarcocystis hominis*, *Larve de strongyloides* ; ces paramètres caractérisent la station SI3 (Nkometou 2). Pour le second noyau, les paramètres physico-chimiques tels que la densité, la turbidité, oxydabilité et l'alcalinité sont liés aux formes de résistance des pathogènes tels que *Isospora belli*, *Cyclospora.*, *Balantidium coli*, *chilomatix mesnili*, *Entamoeba coli* ; ces paramètres sont caractéristiques de la station SI1 (Nkometou 3). Pour le noyau numéro 3 la conductivité, le pH, les chlorures, oxygène dissous, nitrates et nitrites sont liés avec *Cryptosporidium* sp. *Giardia* sp, *Trichostrongyloides* ces paramètres caractérisent les stations SI2 (Nkometou2) et Enfin dans le dernier noyau le CO₂, le Carbonate sont liés avec *Entamoeba histolytica*, *Blastocystis hominis*, *Ascaris* sp, *Ankylostoma* sp. *Diphyllobothrium latum* et *Fasciola* sp., ces paramètres caractérisent les stations SI4(Nkometou 1) (Figure 33).

PCA - Biplot

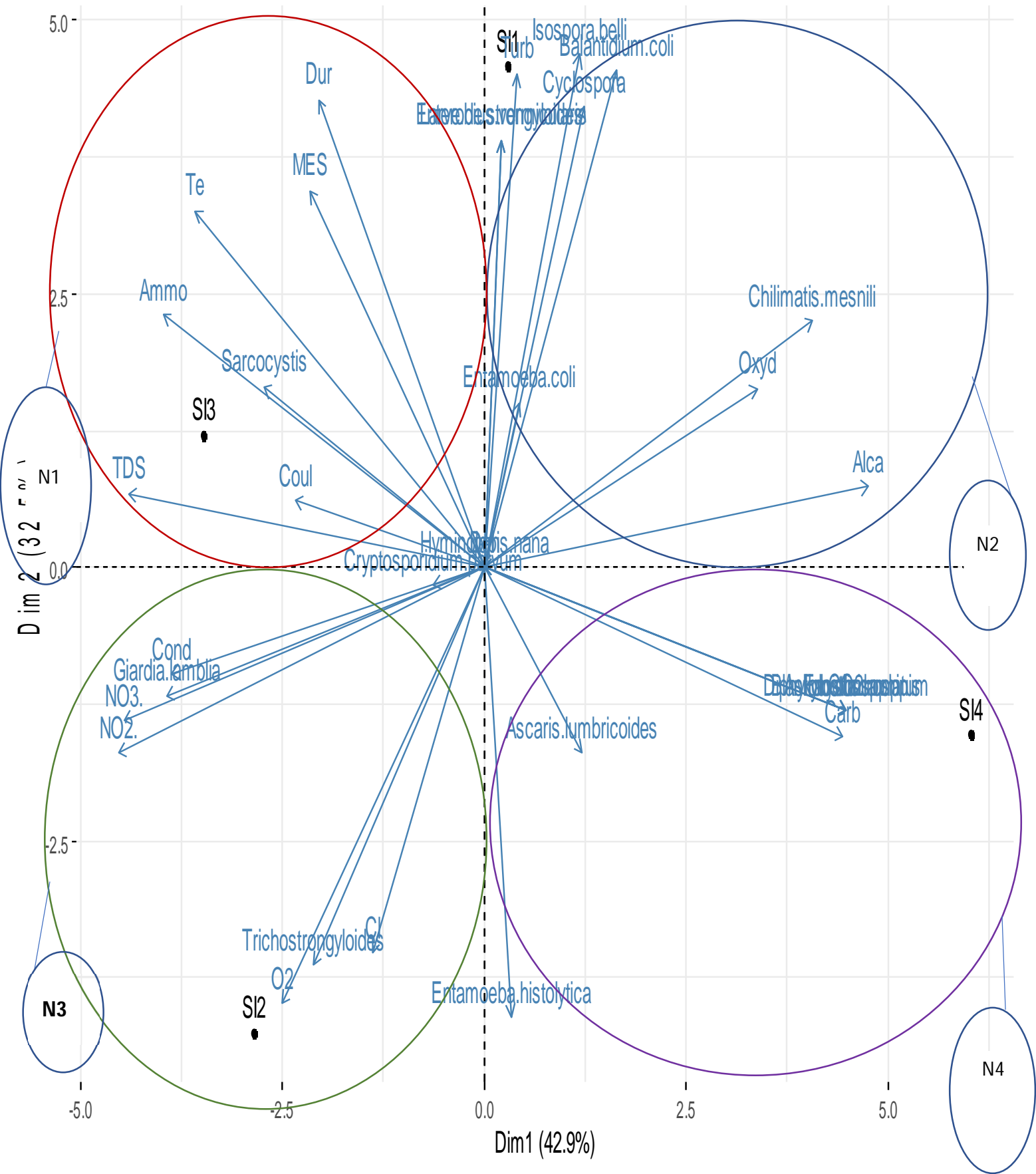


Figure 33 : ACP des paramètres physico-chimiques et biologiques.

III.2. DISCUSSION

III.2.1. Caractéristiques biologiques

La densité des kystes, et oocystes de protozoaires varie entre 7 et 208 kystes/L pour les différents groupes de protozoaires observés et identifiés. La valeur la plus élevée (208 kystes/L) obtenue correspond à l'abondance des oocystes de coccidies qui a été le groupe de protozoaires le plus abondant. La valeur la plus faible (7 kystes/L) correspond au groupe de Blastocystes. Les résultats obtenus attestent la présence des formes de résistance des entéro-pathogènes dans les eaux de sources échantillonnées traduisant une pollution d'origine fécale (OMS,2017).

Sur le plan spatial, l'abondance parasitaire a été plus élevée à la station S1(Nkometou3) contenant ainsi 281 kystes et oocystes avec une moyenne de $28,1 \pm 22,52$ kystes/L et moins élevée à la station S2 (Nkometou 2) avec 145 kystes et oocystes pour une moyenne de $14,5 \pm 15,8$ kystes/L . Ceci pourrait s'expliquer par la présence des latrines, des porcheries et habitations à proximité de la source S1(Nkometou 3) pouvant favoriser l'infiltration des parasites contenus dans la matière fécale polluant les nappes souterraines et compromettre la qualité de l'eau.

L'espèce la plus dense pendant l'étude a été *Cryptosporidium* sp. (208 Oocystes/L). Cette densité peut se justifier par l'écologie de cette espèce qui possède une coque épaisse et une capacité d'adhésion accrue aux matières en suspension via certains récepteurs leur permettant de résister aux contraintes environnementales même pendant les périodes de lessivage. D'où les corrélations significatives et positives entre certains paramètres physico-chimiques tels que les nitrates et les nitrites qu'on peut retrouver dans la matière organique, ces paramètres physico-chimiques constituent des sources de nutriments pour *Cryptosporidium* sp favorisant ainsi leur viabilité et abondances dans l'environnement externe. Elle peut également être justifiée par leur capacité à résister aux désinfectants. A ce propos, Asi et al (2020) stipulent que 99% d'oocystes restent viables dans l'eau jusqu'à 211 jours. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Tsomene (2018).

Tandis que sur le plan temporel les kystes et oocystes des protozoaires ont été plus élevés pendant le mois de février avec 183 kystes et oocystes avec une moyenne ($20,33 \pm 14,44$) kystes/L et moins élevés pendant le mois de juillet avec 60 kystes, et oocystes pour une moyenne de ($6,66 \pm 4,44$) kystes/L. Ces résultats peuvent être dûs à l'adaptation de leur cycle de vie aux conditions météorologiques de ce mois favorisant ainsi la survie et la multiplication de ces espèces.

En ce qui concerne les œufs d'helminthes, trois groupes ont été observés et identifiés pendant la période d'étude avec des proportions de 83% Nématodes, 9% de Trématodes et 8% de Cestodes ; Les observations mensuelles montrent que la densité des œufs a varié de 44 à 3 œufs /L. La valeur la plus élevée a été obtenue au mois d'avril et la plus faible au mois de février répartie de façon variable sur l'ensemble des quatre stations d'échantillonnage.

L'abondance des œufs d'helminthes pendant le mois d'avril serait due à la pluviosité, car selon l'Institut Francophone de Médecine Tropicale (2004), les fortes précipitations entraînent une

humidification du sol facilitant ainsi la maturation et la dissémination des œufs et des larves d'helminthes ayant pour conséquence l'augmentation du taux de prévalence. Les valeurs faibles du mois de février seraient liées à la sécheresse des sols, entraînant la dessiccation des œufs.

Sur le plan spatial, la densité de ces œufs a varié entre 36 et 3 œufs/L, la valeur la plus élevée étant obtenue à la station S1(Nkometou 3) favorisée par la proximité des toilettes (6 m) source éventuelle de contamination des eaux. Selon Edge (2001), Davis et Hirji (2003), Torkil (2004) le manque d'hygiène mais aussi le mauvais assainissement peut être à l'origine de la contamination. L'espèce la plus dense recensée pendant l'étude est *Ascaris sp.*, la large répartition des œufs étant favorisée par leur grande résistance dans l'environnement, de par leur membrane externe épaisse et mamelonnée (Bouhoum *et al.*, 1997). Ces résultats sont en accord à ceux obtenus par Okoa Nadège (2015).

III.2.2. Caractéristiques physico-chimiques

Les valeurs de température obtenues pendant la période d'étude ont varié autour d'une moyenne de $(29,03 \pm 3,54)$ °C, ceci pourrait être due une exposition importante aux rayons solaires. Cette valeur est supérieure à la température ambiante proposé par OMS (25°C) et converge avec le résultat obtenu par Ngono Ngono, (2018).

Le pH moyen de $(6,75 \pm 0,54)$ U.C, traduit que les eaux de source de Nkometou sont légèrement acides ($\text{pH} < 7$). Cette acidité de l'eau serait probablement liée à la nature des sols de la zone d'étude qui est ferrallitique. A ce propos, Nola *et al.* (1998) soulignent que le pH d'une eau dépend de la nature des sols traversés. Cette valeur moyenne est conforme aux normes de l'OMS qui stipule que le pH acceptable pour la consommation humaine est compris entre $(6,5 - 8,5)$ U.C et ne diffère pas significativement de celles obtenues par Ajeagah *et al.* (2016) $(6,04 \pm 0,14)$ U.C dans quelques puits et sources de la ville de Yaoundé.

La valeur moyenne de la conductivité électrique de $(26,93 \pm 9,62)$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ respecte largement les normes de l'OMS ($< 400 \mu\text{S}/\text{cm}$), traduisant, selon Rodier *et al.* (2009), la faible minéralisation des eaux. La valeur de $44 \mu\text{S}/\text{cm}$ obtenue à la source S2 serait liée aux détergents issus des lessives, aux engrais et pesticides issus des plantations de cultures vivrières environnantes, qui vont s'infiltrer jusqu'aux aquifères augmentant ainsi la teneur en ions (Asi et al., 2020).

La concentration moyenne des MES obtenues durant la période d'étude $(23,85 \pm 12,08 \text{ mg/L})$ élevée et supérieure à la norme de l'OMS $(10-20 \text{ mg/L})$ s'expliquerait par la forte charge des eaux en matières organiques et un apport en matières alloènes. La valeur très élevée de la Turbidité obtenue au mois d'avril à la source S1 (Nkometou3) (44 mg/L) serait due aux eaux de ruissèlement drainant des déchets provenant des dépôts d'ordures. En effet, selon l'OMS (2011), la couleur et la turbidité de l'eau sont liées à la présence des matières organiques associées à l'humus et aux particules en suspension dans l'eau. D'où la corrélation significative positive entre les MES et la turbidité ($r =$

0,434). Pour ce qui est de la couleur, le mois de juin présente la plus forte valeur notamment au niveau de la source S 3 (Nkometou 1) avec 304mg/L dû aux apports des matières organiques. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Tsomene Namekong (2018).

L'eau analysée présente une concentration moyenne de CO₂ dissous (55 ,61±23) mg/L légèrement supérieure aux normes de l'OMS (50mg/L) , témoignant ainsi de la forte décomposition des matières organiques à la station S3. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ngoufack(2019)

Les valeurs moyennes de l'oxydabilité (93,77 ± 5,22) % de saturation O₂ et de l'oxygène dissous (82,66% de saturation ± 1,50) sont supérieures à (25% de saturation), pouvant traduire la présence modérée de matières organiques biodégradables en ce qui concerne l'oxydabilité tandis que celles de l'oxygène dissous sont considérées satisfaisantes pour la consommation humaine selon l'OMS. Étant des paramètres antagonistes, une oxydabilité élevée peut réduire la concentration d'oxygène dissous, comme nous l'observons dans la source S4 (24 ,68 % de saturation O), indiquant la présence des microorganismes capables de dégrader les matières organiques en matières minérales, ceci en consommant l'oxygène dissous, cette minéralisation entraîne une forte désoxygénation de l'eau (Ajeegah *et al.*, 2023) .

Les teneurs moyennes en nitrites , nitrates et ammoniacs observées au cours de la période d'étude varient respectivement autour de 1,58 ± 1,02, 3,89 ± 2,46 , 0,23 ±0,11 mg/L indiquant tout d'abord une valeur légèrement en dessous de la limite maximale autorisée par l'OMS (3mg/L) de NO₂⁻, les sources S2 et S3 présentent une concentration de 5mg/L de NO₂⁻ largement supérieure à la norme ce qui pourrait s'expliquer par des activités anthropiques (rejets d'eaux usées, fertilisants, activités agricoles) , qui vont s'infiltrer dans les sols sableux jusqu'aux aquifères . Ensuite une valeur inférieure à 50 mg/L de NO₃⁻proposée par OMS observable dans la source S4 (0,4 mg/L) de NO₃⁻, serait liée à leur position géographiquement éloignée des zones de peuplement (distance considérable par rapport aux agglomérations urbaines et rurales), un faible usage des engrais azotés par les populations et à une faible décomposition de la matière organique. Ces résultats sont en accord avec ceux enregistrés par Ajeegah *et al.* (2018) dans les eaux de puits de Ngoumou.

Enfin, la teneur moyenne en ammonium dans les eaux de sources étudiées sont relativement faibles (0,23 ± 0,11) mg/L de NH₄⁺en dessous de la limite maximale autorisée par l'OMS (0,5 mg/L) de NH₄⁺, à la source S3 cette valeur est égale à celle recommandée par Rodier *et al.*, 2009) et OMS, probablement à cause d'une faible contamination , une bonne oxygénation favorisant ainsi la conversion de l'ammonium en nitrates ,ceci sous l'action des bactéries nitrifiantes , une faible activité agricole et le pouvoir auto-épuration des eaux .

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Eu égard de ce qui précède, il était question de déterminer la qualité biologique et physico-chimique des eaux souterraines de Nkometou, il ressort de cette étude que nous avons identifié et dénombré des formes de dissémination entéropathogènes (kystes et oocystes) des protozoaires à l'instar de *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, *Giardia intestinalis.*, *Chilomastix mesnili*, *Isospora belli*, *Sarcocystis hominis*, *Cryptosporidium* sp., *Cyclospora cayetanensis* , *Blastocytis hominis* et *Balantidium coli* , :*Ascaris* sp., *Trichostrongyloides*, larves de *Strongyloides* , *Ankylostomes* sp.,*Enterobius vermicularis* , *Hymenolepis nana*, *Diphyllobothrium latum* et *Fasciola* sp.. La station la plus chargée en kystes, oocystes et œufs, larves d'helminthes étant la source S1 classée dans la catégorie « risque très élevé de contamination ». De plus, le mois de février est celui au cours duquel la plus grande charge en protozoaires a été observée tandis que le mois d'avril a été favorable pour les œufs et larves d'helminthes

Les sources d'eau analysées ont été légèrement acides, moyennement minéralisées et riches en matières en suspension.

Les analyses statiques ont montré des corrélations significatives positives ou négatives entre certains paramètres physico-chimiques et les formes de dissémination parasites en activant ou en inhibant ces dernières, d'une part et entre les formes de résistances parasites issus des eaux de surface (biologie externe) et les formes de résistances parasites issus des eaux souterraines (biologie interne) afin d'évaluer les risques de contaminations d'autre part. La présence des formes de résistances des parasites intestinaux dans les eaux souterraines de Nkometou représente un risque élevé de contamination pour les populations qui l'utilisent à différentes fins, compte tenu des risques sanitaires associés à ces eaux nous recommandons :

Aux pouvoirs publics : éduquer et sensibiliser, en conseillant de mettre sur place des systèmes de traitement des eaux avant leur utilisation, par des méthodes à domicile telles que l'ébullition, la filtration, la chloration ou SODIS,

Accroître le réseau d'adduction d'eau potable dans toute la localité afin de réduire la pression sur les sources existantes et offrir des alternatives en cas de sécheresse ou contamination, de procéder à l'assainissement de toute la couche de la population.

Aux populations : d'adopter des pratiques d'hygiène en évitant de déféquer à l'air libre ; consulter un médecin si vous présentez des symptômes tels que des diarrhées, des douleurs abdominales, des nausées ou vomissements ; renforcer la sécurité en aménageant les sources selon des normes de distanciation 30 m des toilettes et des fosses septiques et à 150 m des décharges sauvages (OMS, 2009).

Nous envisageons pour nos travaux futurs : d'étendre notre étude dans le traitement de l'eau de source 3 en vue de l'exploiter pour l'approvisionnement en eau minérale par la population ; d'étendre notre étude dans d'autres régions du Cameroun afin de comparer les résultats, identifier les facteurs de risques spécifiques et d'intégrer des technologies de pointe pour la détection des espèces telles que *blastocystis hominis* et traitement des espèces à l'aide de la biologie moléculaire, élargir l'étude aux autres types de consommations (puits, forages).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adam P. 1992.** Evaluation des projets en Eau et Assainissement dans les Plaines alluviales d'Haïti. Unicef, Port -au-Prince, Haïti, 52 p.
- Aït Boughrous A. 2007.** Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilal et la région de Marrakech. Thèse de Doctorat d'État, Faculté des Sciences. Université Cadi Ayyad Semlalia, Marrakech, Maroc : 236 p.
- Adou-Bryn D., Kouassi M., Brou J., Ouhon J. et Assoumou A. 2001.** Prévalence globale des parasitoses à transmission orale chez les enfants à Toumodi (Côte d'Ivoire). *Medicine d'Afrique Noire*, 48 (10) : 394-398.
- Ajeegah G., Njine T., Bilong Bilong C., Foto Menbohan S., Wouafo N., Nola M., Di G. et Huw S. 2010.** Seasonal distribution of Enteric Opportunistic *Cryptosporidium* Spp. Oocysts and *Giardia* Spp. Cysts in a tropical water basin, Cameroon. Water, 2 : 44-57.
- Ajeegah G., Foto Menbohan S., Talom S., Ntwong M., Tombi J., Nola M. et Njine T. 2014.** Propriété Physico-chimique et dynamique d'abondance des formes de dissémination des helminthes intestinaux dans les eaux usées et de surface à Yaoundé (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 120 p.
- Ajeegah G., Asi Q. et Nola M. 2016.** Bioqualité des Formes de Dissémination des Protozoaires Flagellés Entériques dans les eaux souterraines (Sources et Puits) en zone anthropisée (Yaoundé-Cameroun). *European Scientific Journal*, 12 : 1857- 7431.
- Ajeegah G., Mbainaissem M., Njiawouo P., et Ngakomo R. 2018.** Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux en zone périurbaine en Afrique équatoriale : cas de Ngoumou au Centre du Cameroun. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 23 (1) : 33-34.
- Ajeegah G., et Asi Q.A. 2023** Biodiversity of microsporidian spores in groundwater of the Center Region of Cameroon: seasonality and relationship to ecological factors of the medium . *International Journal of environmental science and technology*, 18 :1665-1682P
- Aminata N. 2006.** Contribution à l'étude des parasitoses intestinales à l'institut de pédiatrie sociale de Pikine-Guédiawaye. Thèse de docteur en pharmacie, Dakar : 78p.
- Amoras C. et Petts G.E. 1993.** Hydrosystèmes fluviaux. Éditions Masson, Paris. *Revue d'écologie (la terre et la vie)* :48-4p.
- Angeli N. 1980.** Interaction entre la qualité des eaux et les éléments de son plancton. In : la pollution des eaux continentales. Incidence sur la biocénose aquatique, Gauthier Villars (édition), Paris : 97- 146.
- Anse 2011.** Fiche de description de danger microbien transmissible par les aliments : *Bacillus cereus* / *Cryptosporidium* spp : 3p.
- Ashbolt N. 2004.** Microbial contamination of drinking water and diseases outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198(2): 229-38.

- Asi Q.A., Ajeegah G., et Okoa A. 2020.** Distribution of *Cryptosporidium* and *Cyclospora* in the soil different depths in underground water in the Center region, Cameroun: Role of hydrodynamical variable. *Journal of Biotechnology Research*, 6 (2): 41-49.
- Asi Q.A., Ajeegah Gideon Aghaindum., et Nola Moï.** 2020 *Bioqualité Des Formes De Dissémination Des Protozoaires Flagellés Entériques Dans Les Eaux Souterraines (Sources Et Puits) En Zone Anthropisée (Yaoundé-Cameroun)*
- Apha 1998 .** Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 20th edition, Washington : 1150 p.
- Banque Mondiale–Ministère de l’Habitat et du Développement Urbain. 2017.** Cadre de gestion environnementale et sociale (CGES). Rapport final du projet : 129p. <http://documents.worldbank.org/curated/en/692541493629902004/pdf/SFG3295-REPLACEMENT-EA-P156210-PUBLIC.pdf>. Consulté le 14/10/20.
- Bertrand , Gantzer C., Chesnot T. et Schwartzbrod J. 2004.** Improved specificity for *Giardia lamblia* cysts in quantification & wastewater by development of a real-time PCR. *Journal of Microbiology and Methods*, 57: 41-53.
- Bosca C. 2002.** Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean Magazine Science, training and Technology: 13-17.
- Bouhoum K., Mahmid O., Habba K. et Schwartzbrod. 1997.** Devenir des œufs d’helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal à ciel ouvert alimenté par les eaux usées de Marrakech. *Revue des Sciences de l’Eau*, 2(1) : 217- 232.
- Boutin C. 1987.** L’eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L’exemple des zones rurales du Maroc. *Revue des Sciences de l’Eau*, 6 (3) : 357-365.
- Boutin C. 1993.** L’eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable : des zones rurales du Maroc. *Revue des Sciences de l’Eau*, 6 (3) : 357-365.
- Castany G. 1998.** Hydrogéologie, principes et méthodes. Dunod, Paris : 236p.
- CDC (Center for Disease Control and Prevention). 2007.** Parasitology and Health: Flagellates. *laboratory identification of parasites of public health concern* : 29p.
- Cheikhrouhou F., Trabelsi H., Sellami H., Makni F. et Ayadi A. 2009.** Parasitoses intestinales dans la région de SFAX (Sud Tunisien) : étude rétrospective. *Revue Tunisienne d’Infectiologie*, 3 (2) :14 –18.
- Cheikhrouhou F. 2010.** Les amibes, laboratoire de parasitologie-mycologie faculté de médecine-Sfax : <http://www.infectiologie.org.tn>.100p.
- Chen Z.G. et Song W.B. 2002.** Phylogenetic positions of *Aspidis casteini* and *Euplotes vannus* within the order Euplotida (Hypotrichia: Ciliophora) inferred from complete small subunit ribosomal RNA gene sequences. *Acta Protozoologica*, 41(2) :1–9.
- Crompton D.W.T. 1999.** How much human helminthiasis is there in the world? *Journal of Parasitology*, 85 (1): 397–403.

- Danielopol D. L., Gibert J., Griebler C., Gunatilaka A., Hahn H. J., Messana G., Notenboom J. et Sket B. 2004.** Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. *Environmental Conservation* 31, 3(2): 185-189.
- Danielopol D.L., Griebler C., Gunatilaka A. et Notenboom J. 2003.** Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental conservation* 30, 2: 1004-130.
- Davis R. et Hirji R. 2003.** Water Resources and Environment Technical Note D.1. Water Quality: Assessment and protection. Washington, D.C. The World Bank: 32 p.
- Dejoux C. 1988.** La pollution des eaux continentales africaines : Expérience acquise, situation actuelle et perspectives. ORSTOM, Paris : 513p.
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. et Belghity D. 2010.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n 08 : 101-112.
- Djeuda T., Tanawa E. et Ngnikam. 2001.** L'eau au Cameroun : Tome I. L'approvisionnement en eau potable, PUY, Yaoundé : 359p.
- Document de stratégie pour la croissance et l'emploi (DSCE) 2009.** Rapport national du Cameroun pour habitat-III 2015 : 174p.
- Diane Armelle MOUSSIMA YAKA et al.,** Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et risques sanitaires dans quelques quartiers de Yaoundé VII, Cameroun int. *J. Biol. Chem. Sci.* 14(5): 1902-1920, June 2020 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631: 16p.
- Edge T., Byrne J. M., Johnson R., Robertson W. et Tevenson R. 2001.** Pathogène d'origine hydrique. Environnement Canada. Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada. Institut national de recherche sur les eaux, Burlington, Ontario. Rapport d'évaluation scientifique de l'Institut National des Recherches en Education : 149 p.
- Fayer . et Pape. 2018.** La cryptosporidiose zoonosique humaine. *Revue des données scientifiques*, 6p.
- Foster S.S.D. 2001.** The interdependence of groundwater and urbanization in rapidly developing cities. *Urban water*, 3 : 185-192.
- Faust E.C., D'Antni J.S., Odom V., Miller M.J., Peres C., Sawitz W., Thomen L.F., Tobie J. et Walker J.H. 1938.** A critical study of clinical laboratory technics for the diagnosis of protozoan cysts and helminth eggs in feces. *American journal of tropical medicine and hygiene*, 18: 169-18.
- Golvan Y.J. 1983.** Eléments de Parasitologie médicale. 4ème édition. Flammarion, Paris J.A. eds. Groundwater ecology. Academic Press : 189-215.
- Gibert J., Culver D.C., Danielopol D.L., Griebler C., GunatilakaA., J.Notenboom. et Sket B. 2004.** Groundwater ecosystems: human impact and future management. Aquatic ecosystems: Trends and global prospect. N.V.C. polumin. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gilles et al., 2019.** The biology of rivers and streams. *Oxford University Press*. 296p.
- Haut-Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.

- Hernandez F., Argüello A., Rivera P. et Jimenez E. 1993.** *Balantidium coli* (Vestibulifera : Balantiidae) the persistence of an old problem. *Revista de Biología Tropical*, 41 : 149-151
- Hinden C. 2007.** La contamination de l'eau de boisson dans le village de Bengou (Niger). Mémoire de Licence, Institut de géographie Faculté des géosciences et de l'environnement Université de Lausanne : 62 p.
- Institut Francophone de Médecine Tropicale (IFMT). 2004.** Rapport du séminaire sur les helminthiases transmises par le sol : 3-6.
- Insp,2014 modifié(Institut Nationale de Santé Publique). 2014.** Identification morphologique des parasites intestinaux. *Cahier de stage de l'Institut National de Sante Publique du Québec*.80p.
- Katz K., Coelho P M Z. et Pellegrino J. 1970.** Evaluation of kato's quantitative method through the recovery of *Schistosoma mansoni* eggs added to human faeces. *Journal of Parasitology*, (56) :1032- 1033.
- Lacoste R. 2009.** Les parasites intestinaux chez le macaque crabier (*Macaca fascicularis*) : Etude lamblia to soil particles. *Journal of Environnemental Quality*, 32 : 296-304.
- Laamrani El Idrissi A., Lyagoubi M., Barkia A., Ayoujil M. et Mahjour J. 1999.** Prévalence des parasitoses intestinales au niveau de trois provinces au Maroc. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 5(1): 86-102
- Leeuwenhock A.V. 1674.** More observations from Mr. Leeuwenhook, in a letter of 7 September 1674, sent to the publisher. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 9: 178–182.
- Leib M.S. et Zajac A.M. 1999.** Giardiasis in dogs and cats. *Veterinary Medicine*: 793-802.
- Lynn D.H. 2008.** The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification, and Guide to the Literature. 3rd Ed. Springer, Dordrecht.
- Lynn D.H. et Small E.B. 2002.** Phylum Ciliophora Doflein, 1901. In: Lee, J. J., Leedale, G. F. et Bradbury, P. C., eds., *An Illustrated Guide to the Protozoa*, 2nd ed., Society of Protozoologists, Lawrence, Kansas. Vol. 1 (year 2000), 371-656.
- Malard F., Ferreira D., Dolédecs et Ward J.V. 2003.** Influence of groundwater upwelling on the distribution of the hyporheos in a headwater river flood plain. *Archives For Hydrobiology*. 157 (1): 89-116.
- Nkhuwa D. C. 2003.** Human activities and threats of chronic epidemics in a fragile geologic environment. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 1139-1149.
- Nola M., Njine T. et Boutin C. 1998.** Variabilité de la qualité des eaux souterraines dans quelques stations de Yaoundé (Cameroun). Mémoires Biospéologie, 25 : 183-191.
- Nola M., Njiné T., Kemka N., Zébazé T., Foto M., Monkiédje A., Servais P., Messouli M. et Boutin C. 2005.** *Retention of staphylococi and total coliforms during waste water percolation through equatorial soil in central Africa : the roleof the soil column near soil surface and that closely above Ground Water table.* **Water Air and Soil Pollution**, 171: 253-271.

- Ngono Ngono . 2018.** Distribution des formes de dissémination des parasites intestinaux dans les eaux souterraines de la localité de Mbankomo (zone périurbaine de Yaoundé). *Mémoire de Master II*, Faculté des sciences, Université de Yaoundé I, 51 p.
- Ngoufack. 2019.** Recherche des formes de dissémination des protozoaires et d'helminthes dans les eaux utilisées pour le nettoyage de volaille dans quelques marchés de la ville de Yaoundé. *Mémoire de Master II*, Faculté des sciences, Université de Yaoundé I, 43 p.
- OMS. 1987.** Lutte contre les parasitoses intestinales : rapport d'un comité OMS d'expert. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, série de rapport technique OMS : 749p.
- OMS. 1988.** Importance des parasitoses intestinales en santé publique : Comité OMS d'expert. Bulletin de l'organisation mondiale de la santé, 66 (1) : 23.
- OMS. 1994.** Planches pour le diagnostic des parasites intestinaux. Genève, 29 p.
- OMS. 2001.** Control of Schistosomiasis and soil transmitted helminthes infection; document A54/10.Communicable diseases, Report by the secretariat to the fifty-fourth world health assembly, Genève : 64p.
- OMS. 2008.** Chimio prévention des helminthiases chez l'homme. Utilisation coordonnée des médicaments anthelminthiques pour les interventions de lutte: Comité OMS d'expert. Bulletin de l'organisation mondiale de la santé, 71p.
- WHO. 2008.** Guidelines for Drinking-water Quality: Second addendum. World Health Organization Press, 1,1719.http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/secondaddendum20081119.pdf
- WHO. 2017.** The control of schistosomiasis: second report of the WHO expert committee. World Health Organization, Geneva, WHO Technical Report Series, 830.
- OMS. 2011.** Guidelines for drinking-water quality. 4th edition, Geneva : 564p.
- OMS. 2012.** Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture, Genève : 63p.
- OMS. 2019** Control of Schistosomiasis and soil transmitted helminthes infection; document A54/10.Communicable diseases, Report by the secretariat to the fifty-fourth world health assembly. Genève : 64 p.
- OMS. 2023.** *La santé par tous et pour tous, un appel à la solidarité et à l'action*. 4th edition, Geneva, 4p.
- Okoa Nadège. 2015.** la dynamique des formes de dissémination des helminthes intestinaux dans les eaux souterraines à Yaoundé. *Mémoire de Master II*, Faculté des sciences, Université de Yaoundé I, 31 p.
- Peletier J. 1969.** Données générales sur la répartition des principaux types de sol de la région de Yaoundé. Document Orstom : 25 p.
- Penali L.K., Broal et E.Y. et Kone M. 1993.** Helminthiases et protozooses intestinales de la femme enceinte en Côte d'Ivoire. *Medicine d'Afrique Noire*, 40(5) : 334-336.
- Percival, S.L., J.T. Walker. et P.R. Hunter. 2000.** Microbiological aspects of biofilms and drinking water. CRC Press: 229 p.

- Raccurt C. P., Pannier Stockman C., Eyma E., Verdier R.I., Totet A. et Pape J. W. 2006.** Parasites intestinaux et SIDA en Haïti : faut-il déparasiter l'entourage familial ? *Journal of Tropical Medicine*, 66 : 461-464.
- Rapport national de contribution du Cameroun. 2015.** Troisième conférence des nations unies sur le logement et le développement durable en milieu urbain (Habitat III), 47p. www.habitat3.org/wp-content/uploads/Cameroon-Rapport-national-Habitat-III-Version-fev-16.pdf. Consulté le 08/10/2019.
- Rodier J. 2009.** L'analyse de l'eau. 9^e édition, Dunod, Paris : 1579 p.
- Rodier J., Legube B., Merletet N., Brun R., Mialocq J-C., Leroy P. et Houssin M. 2009.** L'analyse de l'eau (Editions). Dunod, Paris, 9^e édition entièrement mise à jour. 1-1579.
- Réfea** (Réseau Francophone sur l'eau et l'assainissement), **2023**. www.oie.fr/refez/, mise à jour : 25 juin 2003.
- Tuekam Kayo R.P. 2007.** Stygofaune de deux bassins versants souterrains contigus de la région de Yaoundé : influence de la pression Anthropique. Mémoire de DEA. Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I, Cameroun : 69 p.
- Thompson R., Schantz P., Leib MS., Olson ME. et Twedt D. 1999.** Eau, environnement et santé publique. Edition Lavoisier, Paris : 236 p.
- Torkil J. C. 2004.** Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency plans by Why, What and How? Global Water Partnership : 45 p.
- Thivierge K. 2014.** Identification morphologique des parasites intestinaux. Cahier de stage, laboratoire de santé publique du Québec : 13-23.
- Tsomene N. 2018.** Isolement et identification des formes environnementales des protozoaires intestinaux et des bactéries dans les eaux de sources dans l'arrondissement de Yaoundé IV. Mémoire de Master II, Faculté des sciences, Université de Yaoundé I, 51 p.
- Viviane G. 2007.** Parasitologie, auto-évaluation, manipulation édition Boeck Université de Bruxelles : 182p.
- Vilagines R. 2003.** Eau, Environnement et Santé Publique : Introduction à l'hydrobiologie 2^{ème} éd, Lavoisier, Paris : 196 p.
- Xavier N., Chevalier., Klotz F., Eassa V. G. et Simon F. 2001.** Traitement des parasitoses intestinales (amibiase et mycoses exclues), Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, 9-062-A-60.
- Zébazé Toguet S. 2000.** Biodiversité et dynamique des populations zooplanctoniques (ciliés, rotifères, cladocères, copépodes) du Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun). Thèse de Doctorat de troisième cycle, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun : 175 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Variation des paramètres physico-chimiques pendant la période d'étude

SOURCES	MOIS	Température (°C)	Solides	Couleur	Turbidité	MES	Densités	pH	Chlores	Conduc	CO2 (mg/l)	O ₂	Nitrites (mg/l)	Nitrates (mg/l)	Duretés (mg/l)	Carbonates	Alca	Oxyda	Ammoniac (mg/l)
			Totaux (mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		(UI)		Tivités (µs/cm)		(mg/l)					Linité (mg/l)	Bilité (mg/l)	
S1	février	29	13	50	34	45	1,001	7,05	0,2	26	33,44	5	0,4	0,6	1	1,5	2	8,09	0,25
	mars	27,8	12,5	56	16	21	1,001	6,7	1	24,3	70,4	7	1	2	1	3,5	3	3,75	0,35
	avril	33,8	14	32	41	4	1,001	5,77	0,6	28	75,68	7	1	2	1	4	2,5	5,53	0,3
	mai	25,3	17	40	34	16	1,001	7,21	1	34	40,48	6,3	3	6	2	4	3	21,33	0,5
	juin	33,8	14	7	0	0	1,001	7,21	1	28	29,92	6,2	1	3	6	3	3	21,33	0,1
	juillet	29	15				1,001	7,17	1	32	84,48	3,2	1	2	2	2	10	5,72	0,1
	max	33,8	17				1,001	7,21	1	34	84,48	7	3	6	6	4	10	21,33	0,5
	min	25,3	12,5				1,001	5,77	0,2	24,3	29,92	3,2	0,4	0,6	1	1,5	2	3,75	0,1
	moyenne	29,725	14,375				1,001	6,76125	0,75	28,825	56,1	5,6125	1,35	2,775	2,5	2,9375	4,4375	11,35375	0,275
	ecart type	2,71666667	1,30555556				1,9737E-16	0,45416667	0,27777778	3,00555556	20,14222222	1,208333333	0,733333333	1,483333333	1,55555556	0,847222222	2,472222222	6,650833333	0,12222222
	S2	février	30	16	15	0	0	1,001	6,7	0,5	32	63,36	7	1	1	1	2	2	9,67
mars		29	15	58	29	17	1,001	7	1	30	79,2	8,2	5	8	1,5	2,5	2,5	5,53	0,35
avril		33,2	15	58	21	17	1,001	5,55	0,5	30	73,92	8,1	2	3	2	3	3,5	1,77	0,25
mai		23,5	18	25	5	8	1,001	7,22	2	36	3,52	8,5	2	7	3	4	3	9,67	0,4
juin		33,2	15	50	17	2	1,001	7,22	1	30	28,16	9,3	1	3	1	3	5	12,83	0,1
juillet		25,6	11				1,001	7,17	1,5	44	88	11	1	10	1	4	7	5,33	0,1
max		33,2	18				1,001	7,22	2	44	88	11	5	10	3	4	7	12,83	0,4
min		23,5	11				1,001	5,55	0,5	30	3,52	7	1	1	1	2	2	1,77	0,1
moyenne		28,9	14,875				1,001	6,70375	1,125	34,5	53,46	8,7625	2,25	5,375	1,6875	3,0625	4	7,425	0,25
ecart type		3,133333333	1,722222222				1,9737E-16	0,513611111	0,472222222	4,55555556	27,81777778	1,113888889	1,222222222	3	0,65277778	0,625	1,55555556	3,4	0,1
S3		février	28	2	36	18	14	1,001	7,4	0	4	56,32	7,23	0,5	0,8	3	3	3	2,37
	mars	26	3	52	16	30	1,001	6,78	0,8	6	66,88	7,2	5	7	2	3	3,5	7,7	0,3
	avril	35	18	24	6	8	1,001	5,56	0,5	33	89,76	8,7	2	3	1	3	4	5,53	0,3
	mai	25,1	22	25	22	15	1,001	7,23	3	44	17,6	9,8	2	5	5	3	6	7,3	0,4
	juin	35	18	304	59	48	1,001	7,21	0,5	33	17,6	9,7	1	7	2	4	3	2,96	0,1
	juillet	29	22				1,001	7,2	1	42	84,48	6	1	6	1	1	2	1,97	0,1
	max	35	22				1,001	7,4	3	44	89,76	9,8	5	7	5	4	6	7,7	0,4
	min	25,1	2				1,001	5,56	0	4	17,6	6	0,5	0,8	1	1	2	1,97	0,1
	moyenne	29,775	13,625				1,001	6,7925	1,1	26,25	55	8,05375	2,125	4,575	2,5	2,75	3,6875	4,6875	0,2625
	ecart type	3,483333333	7,52777778				1,9737E-16	0,55055556	0,84444444	14,3888889	24,93333333	1,28555556	1,27777778	2,02777778	1,222222222	0,77777778	1,097222222	2,10666667	0,1083333
	S4	février	25	4	28	7	11	1,001	6,55	0,5	8	52,8	6	0,3	0,8	3,5	2,5	3,5	4,14
mars		23	4	50	38	7	1,001	6,64	0,1	8	73,92	6	0,2	0,4	1,2	3	2,5	3,75	0,25
avril		33,7	9	75	11	13	1,001	5,12	1,1	18	47,52	7,2	0,4	1	1,5	2,5	2	11,25	0,2
mai		24,2	18	36	20	7	1,001	7,28	1	36	42,24	7,2	1	2	1	3	5	24,68	0,05
juin		33,7	9	20	22	14	1,001	7,21	1	18	2464	5,2	1	2	1	7	9	1,97	0,1
juillet		26	13				1,001	7,22	2	27	86,24	5,5	1	5	1	4	8	8,49	0,1
max		33,7	18				0	7,28	2	36	2464	7,2	1	5	3,5	7	9	24,68	0,25
min		23	4				0	5,12	0,1	8	42,24	6	0,2	0,4	1	2,5	2	1,97	0,05
moyenne		27,7875	9,875	#NOM?			0	6,5525	0,975	19,875	740,96	6,48	0,6375	2,075	1,7125	3,9375	5,125	10,11625	0,15625
ecart type		3,94166667	4,30555556				0	0,637222222	0,49444444	8,75	861,52	0,48	0,322222222	1,3	0,79444444	1,375	2,361111111	6,724722222	0,07222222

Annexe 2 : Abondance des kystes et oocystes des protozoaires pendant l'étude (Kystes/L)

	Especes	Cryptosporidi	Cyclospora	Isospora belli	Sarcocystis	Blastocystis H	Giardia lamb	Chilimatis me	Entamoeba h	Entamoeba c	Balantidium c	
SI1	février	17	0	26	9	0	5	0	0	9	0	
	mars	28	10	0	0	0	0	7	0	0	0	
	avril	12	16	0	0	0	0	0	4	4	0	
	mai	9	5	17	9	0	0	0	5	5	5	
	juin	8	8	24	8	0	0	0	0	8	0	
	juillet	3	2	10	4	0	0	0	2	2	0	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SE1	février	140	84	98	0	0	0	0	42	28	14	
	mars	0	0	0	306	0	34	0	0	0	0	
	avril	26	34	13	0	0	9	5	9	5	0	
	mai	14	21	70	189	0	0	0	7	14	0	
	juin	12	0	144	138	0	6	12	6	6	0	
	juillet	8	0	68	50	0	3	3	6	3	0	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SI2	février	33	0	0	0	0	5	0	17	0	0	
	mars	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	avril	16	0	0	8	0	2	0	0	16	0	
	mai	14	0	0	7	0	0	0	7	0	0	
	juin	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	juillet	2	0	0	2	0	1	0	1	1	0	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SE2	février	11	11	0	0	0	11	0	11	0	0	
	mars	54	0	0	9	0	18	0	9	0	0	
	avril	45	25	0	15	0	15	15	10	15	5	
	mai	20	12	0	8	0	4	0	8	4	0	
	juin	13	5	0	5	0	5	0	5	5	0	
	juillet	5	3	4	5	0	3	1	3	6	0	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SI3	février	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mars	0	0	22	36	0	0	0	8	0	0	
	avril	6	0	6	18	0	4	0	0	0	0	
	mai	5	0	10	30	0	0	0	0	0	0	
	juin	0	0	0	16	0	4	0	0	0	3	
	juillet	1	1	2	10	0	2	0	0	0	0	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SE3	février	24	24	0	0	0	48	0	5	48	0	
	mars	9	9	9	270	0	0	0	10	0	0	
	avril	4	2	4	20	0	2	0	0	2	0	
	mai	16	0	37	375	0	0	0	0	6	0	
	juin	15	8	36	180	0	0	0	0	8	8	
	juillet	12	5	36	60	0	0	0	0	4	4	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SI4	février	9	0	5	9	0	5	0	13	9	0	
	mars	6	4	6	0	0	0	5	0	0	0	
	avril	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	
	mai	8	0	8	4	4	0	0	4	0	0	
	juin	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	
	juillet	2	3	2	2	3	0	2	0	0	3	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											
SE4	février	19	19	0	291	0	7	0	13	7	0	
	mars	24	12	36	18	6	12	0	18	6	6	
	avril	28	14	21	63	0	14	0	7	14	0	
	mai	32	0	32	26	0	20	0	0	0	0	
	juin	35	7	35	28	0	14	0	7	7	0	
	juillet	20	3	32	23	2	18	0	5	4	0	
	max											
	min											
	moyenne											
	ecart type											

Annexe 3: Abondance des œufs d'helminthes pendant l'étude (Œufs/L)

	Especies	Ascaris lumbr	Ankylostoma	Enterobius ve	Trichostrongy	Larve de stro	Hymenolepis	Diphylloboth	Faciola spp
S11	février	0	0	0	0	0	0	0	0
	mars	0	0	0	0	19	0	0	0
	avril	12	0	3	0	0	0	0	0
	mai	0	0	0	0	0	0	0	0
	juin	0	0	0	0	0	0	0	0
	juillet	2	0	0	0	0	0	0	0
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
SE1	février	42	0	0	28	28	0	0	0
	mars	0	0	0	34	51	17	0	17
	avril	13	0	4	5	26	0	0	0
	mai	0	0	0	0	35	0	0	7
	juin	0	0	0	6	24	0	6	0
	juillet	1	0	0	0	20	0	2	2
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
S12	février	0	0	0	0	0	0	0	0
	mars	0	0	0	4	0	0	0	0
	avril	16	0	0	0	0	0	0	0
	mai	0	0	0	0	0	0	0	0
	juin	0	0	0	0	0	0	0	0
	juillet	2	0	0	0	0	0	0	0
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
SE2	février	0	0	0	0	0	0	0	0
	mars	18	9	0	0	117	0	0	9
	avril	15	0	10	5	10	5	0	0
	mai	8	0	0	0	0	8	0	0
	juin	5	0	0	0	9	0	0	5
	juillet	5	0	5	3	2	0	0	5
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
S13	février	0	0	0	0	0	0	0	0
	mars	0	0	0	0	0	0	0	0
	avril	0	0	0	0	0	0	0	0
	mai	0	0	0	0	0	0	0	0
	juin	0	0	0	0	0	0	0	0
	juillet	0	0	0	0	0	0	0	0
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
SE3	février	0	0	0	0	0	0	0	0
	mars	27	0	0	18	135	0	0	0
	avril	6	0	0	0	2	0	0	0
	mai	6	0	0	26	208	0	0	0
	juin	8	0	0	22	144	0	0	0
	juillet	6	0	0	20	50	0	0	0
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
S14	février	5	0	0	0	0	0	0	0
	mars	0	0	0	0	0	0	0	0
	avril	5	0	0	0	0	0	0	0
	mai	0	2	0	0	0	0	0	4
	juin	0	2	0	0	0	0	3	5
	juillet	2	3	0	0	0	0	3	0
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									
SE4	février	0	0	0	0	0	0	0	0
	mars	6	0	0	0	12	0	0	0
	avril	14	0	18	14	14	0	0	0
	mai	20	4	0	0	32	0	0	5
	juin	14	5	7	5	3	0	5	8
	juillet	12	3	5	3	2	0	1	0
	max								
	min								
moyenne									
ecart type									

