UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

«Influence de l'état trophique et de la qualité physico-chimique de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac Tanganyika : Cas du bassin nord du lac Tanganyika »

MUHOZA, Ezéchiel; Sous la direction de: Dr Ir. Lambert NIYOYITUNGIYE

2022
UB, FACULTE DES SCIENCES
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/991

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI
FACULTE DES SCIENCES

« INFLUENCE DE L'ETAT TROPHIQUE ET DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU SUR L'ABONDANCE DES MACROPHYTES DU LITTORAL DU LAC TANGANYIKA : Cas du bassin nord du lac Tanganyika »

Par

Ezéchiel MUHOZA

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie des Organismes et Ecologie

Spécialité : Biologie et Gestion des Ecosystèmes Aquatiques

Sous la direction de:

Dr Ir. Lambert NIYOYITUNGIYE

Bujumbura, mars 2022

« influence de l'état trophique et de la qualité physico-chimique de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac tanganyika : cas du bassin nord du lac tanganyika »

MEMBRES DU JURY

Président : Dr Joël NDAYISHIMIYE

Directeur : Dr Ir Lambert NIYOYITUNGIYE

Secrétaire : Dr Prudence BARARUNYERETSE

DEDICACE

A mes parents

A ma grande sœur

A mon grand frère

A la famille Jean Claude

A tous ceux qui me sont chers

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il nous est agréable d'exprimer notre profonde gratitude aux diverses personnes sans lesquelles ce travail n'aurait pas été réalisé.

Nos sentiments de reconnaissance vont en premier lieu au Dr Ir NIYOYITUNGIYE Lambert, professeur au département de biologie, Faculté des sciences, Université du Burundi, qui malgré ces nombreuses responsabilités a accepté l'encadrement de ce travail. Sa rigueur scientifique, ses conseils pertinents, son entière disponibilité et ses critiques constructives nous ont été d'une grande utilité. Qu'il trouve ici le couronnement de ses efforts et que notre fierté soit la sienne.

Nous pensons également aux professeurs de la faculté des sciences et plus spécialement ceux du département de biologie pour la formation tant morale qu'intellectuelle qu'ils nous ont donnée.

Nous exprimons nos vifs remerciements à nos parents, à notre famille en générale et plus particulièrement à la famille NSHIMIRIMANA Jean Claude pour le soutien qu'elle nous a témoigné.

Nous disons également merci aux techniciens de laboratoire à la Faculté des sciences, Mr. RUKERABIRORI Alberic du département de Biologie qui nous a accompagnés toujours sur terrain et BARANSEGETERA Raphael du département de Chimie qui nous a aidés dans les analyses des paramètres physicochimiques.

Nous exprimons nos vifs remerciements au centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement (CRSNE) pour son soutien à travers le laboratoire d'analyses chimiques et environnementales.

Nous disons merci aux étudiants de master en Biologie des Organismes et Ecologie en générale et plus particulièrement ceux de l'option Biologie et Gestion des écosystèmes Aquatiques avec qui nous avons partagé la vie estudiantine.

Nous disons sincèrement merci au gouvernement du Burundi pour la prêt bourse accordée à notre faveur pour la formation du 2ème cycle.

Enfin, à toutes personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail et qui n'ont pas pu être cité, nous disons merci.

MUHOZA Ezéchiel

« influence de l'état trophique et de la qualité physico-chimique de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac tanganyika : cas du bassin nord du lac tanganyika »

RESUME

Le lac Tanganyika se classe parmi les lacs d'eau douce les plus riches du monde et enregistre plus de deux milles espèces de faunes dont 600 espèces sont endémiques. La zone littorale de ce dernier revêt une importance non moins négligeable dans cette richesse compte tenu que c'est le lieu de ponte pour certaines espèces de poissons et abri des mocroinvertebrés. Néanmoins, les activités anthropiques menacent cette dernière dans tous les côtés du lac, d'où elle mérite une protection particulière. C'est dans cette optique qu'une étude sur l'évaluation de l'abondance et la diversité des macrophytes aquatiques en relation avec l'état trophique et la qualité physicochimique de l'eau a été menée sur le littorale du lac Tanganyika dans le bassin nord. L'objectif global était d'évaluer les impacts des activités anthropiques sur l'écologie des communautés biologiques dans le lac Tanganyika. Les sites qui étaient ciblés comme objet de l'étude étaient : Labeliane, Kinindo, Ancien cercle Nautique et Safi Beach.

En effet, dans tous les quatre sites, une étude sur l'influence de l'état trophique et des paramètres physicochimiques sur l'abondance des macrophytes a été faite. Pour y parvenir, douze paramètres physicochimiques ont été analysés dont les uns mesurés in situ à l'aide des appareils spécifiques, d'autres analysés au laboratoire de chimie et d'analyses environnementales de l'université du Burundi. Nous avons également récolté les espèces de macrophytes qui ont été identifiées à l'herbarium de l'Université du Burundi en utilisant les ouvrages de Troupin.

Enfin, nous avons déterminé l'état trophique du lac en se servant de l'Indice d'Etat Trophique (IET) de Carlson (1977).

Les résultats trouvés montrent que l'azote et le phosphore qui sont des éléments vitaux nécessaires à la croissance des algues et qui affectent fortement les processus d'eutrophisation des lacs présentent des concentrations élevées sur les sites Labeliane et Kinindo. Quant à l'état trophique, les résultats montrent que les eaux des stations d'échantillonnage sont en état d'hypereutrophie, et cela pourrait être dû à l'augmentation de concentration du phosphore total et de l'azote suite aux rejets des déchets urbains, agricoles et/ou industriels aboutissant à l'eutrophisation et à la prolifération des macrophytes. En général, les résultats trouvés sur tous les sites d'étude, montrent que les paramètres physicochimiques et l'état trophique du lac influencent fortement l'abondance des macrophytes.

Mots clés : Lac Tanganyika, macrophytes, état trophique, paramètres physicochimiques

« influence de l'état trophique et de la qualité physico-chimique de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac tanganyika : cas du bassin nord du lac tanganyika »

ABSTRACT

Lake Tanganyika ranks among the richest freshwater lakes in the world and records more than two thousand species of fauna, of which 600 species are endemic. The coastal zone of the latter is of no less negligible importance in this wealth given that it is the spawning ground for certain species of fish and shelter for mocroinvertebrates, hence it deserves particular protection. With this in mind, a study on the evaluation of the abundance and diversity of aquatic macrophytes in relation to the trophic state and the physicochemical quality of the water was carried out on the coast of Lake Tanganyika in the northern basin.

The overall objective was to assess the impacts of anthropogenic activities on the ecology of biological communities in Lake Tanganyika.

The sites which were targeted as the object of the study were: Labeliane, Kinindo, Ancien Cercle Nautique and Safi Beach.

Indeed, in all four sites, a study on the influence of the trophic state and physicochemical parameters on the abundance of macrophytes was carried out.

To achieve this, twelve physicochemical parameters were analyzed, some of which were measured in situ using specific devices, others analyzed in the chemistry and environmental analysis laboratory of the University of Burundi.

We also collected the species of macrophytes which were identified at the herbarium of the University of Burundi using the works of Troupin.

Finally, we determined the trophic state of the lake using the Trophic State Index (TSI) of Carlson (1977).

Our results showed that nitrogen and phosphorus, which are vital elements necessary for the growth of algae and which strongly affect the processes of eutrophication of the lakes, present high concentrations on the Labeliane and Kinindo sites. As for the trophic state, the results showed that the waters of Lake Tanganyika are in a hypereutrophic state. This is due to the increase in the concentration of total phosphorus and nitrogen following urban, agricultural and/or industrial discharges which leads to eutrophication and the proliferation of macrophytes. In general, the results found on all the sites that were the subject of our study, showed that the physicochemical parameters and the trophic state of the lake influence the abundance of macrophytes.

Key words: Tanganyika Lake, macrophytes, Trophical state, physicochemical parameters

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY ..... **i**

DEDICACE ..... **ii**

REMERCIEMENTS ..... **iii**

RESUME ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TABLE DES MATIERES ..... **vi**

LISTE DES FIGURES ..... **ix**

LISTE DES TABLEAUX ..... **x**

SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **xi**

Avant-propos ..... **xii**

0. INTRODUCTION GENERALE **1**

0.1 Objectifs de l'étude 3

0.1.1 Objectif Global 3

0.1.2. Objectifs Spécifiques 3

0.1.3. Architecture du travail 3

CHAP I : REVUE DE LA LITTERATURE 4

1.1. Lac Tanganyika 4

1.1.1. Cadre physique et géographique 4

1.1.2. Climat 6

1.1.3. Caractéristiques biotiques et abiotiques 6

1.1.3.1. Caractéristiques abiotiques 6

I.1.3.2. Caractéristiques biotiques 7

1.1.4. Menaces du lac Tanganyika 8

1.1.4.1. Pollution 8

1.1.4.2. Sédimentation 8

I.1.4.3. Eutrophisation 9

I.1.4.4. La pression démographique 11

I.1.4.5. La surpêche 12

I.2. Macrophytes 12

CHAP. II : MATERIELS ET METHODES 13

II.1. Localisation des sites et méthodes d'échantillonnage. 13

II. 2. Prélèvement, conservation et analyses de l'eau. 14

II.2.1. Analyses de laboratoire 15

II.2.1.1. Analyse de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) 15

II.2.1.2. Analyse de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO) 15

II.2.1.3. Dosage des nitrates 16

II.2.1.4. Dosage des phosphates 16

II.2.1.5. Dosage du phosphore total (Pt) 16

II.2.1.6. Dosage de Chlorophylle-a 17

II.2.1.7. Oxygène dissous 17

II. 3. Détermination de l'état trophique de l'eau 19

II.4. Récolte et identification des macrophytes 21

II.5.Analyse et traitement des données 22

II.5.1. Les indices de diversités. 22

II.5.2. Analyses statistiques 22

CHAP.III : PRESENTATION, INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 24

III.1. PRESENTATION DES RESULTATS 24

III.1.1. Inventaire Taxonomique des Macrophytes 24

III.1.2. Analyse de la diversité des macrophytes 29

III. I. 3. Paramètres physico-chimiques 30

III. 1.4. Corrélation (r) entre variables physico-chimiques 36

III.1.5. Effet de la concentration des variables physico-chimiques de l'eau sur l'abondance des macrophytes 37

III.1.6. Influence du milieu d'échantillonnage sur la variation des paramètres physico-chimiques 38

III.1.7. Analyses en Composantes Principales (ACP) 46

III.1.8. Analyse factorielle de Correspondance 49

III.1.9. Analyse des corrélations Canoniques 50

III.1.10. Détermination de l'état trophique de l'eau 52

III. 2. Discussion des résultats 53

III. 2.1. Paramètres physicochimiques 53

III.2.2. Biomasse algale 57

III.2.3. Les macrophytes 58

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 59

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 62

ANNEXES 69

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lac Tanganyika dans le lift valley Est Africain (Ntakirutimana, 2020 ; in Fermon, (2007) 5

Figure 2 : Différents types de pollution du lac Tanganyika (Niyoyitungiye, 2020)..... 9

Figure 3. Les différentes étapes de l'eutrophisation 11

Figure 4 : Localisation des sites d'échantillonnage. 14

Figure 5. L'effort d'échantillonnage des macrophytes sur les sites échantillonnés..... 28

Figure 6 : Variation de l'indice de Shannon dans les quatre sites 29

Figure 7: Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques : (A) : Potentiel d'hydrogène ; (B) : Température ; (C) : TDS ; (D) : Conductivité Electrique 33

Figure 8 : Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (suite) : (E) : Oxygène dissous ; (F) : Transparence ; (G) : Phosphates ; (H) : Phosphore total ; (I) : Turbidité ; (J) : Nitrates..... 34

Figure 9 : Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (suite) : (K) : Demande chimique en oxygène (DCO) ; (L) : Demande Biochimique en oxygène (DBO). 35

Figure 10 : Variation spatiotemporelle de chlorophylle-a 35

Figure 11 : ACP-corrélation entre variables physico-chimiques..... 47

Figure 12 : ACP-Relation entre sites et variables physico-chimiques..... 48

Figure 13 : ACP-caractérisation des sites d'échantillonnages..... 49

Figure 14 : Analyse factorielle de Correspondance..... 50

Figure 15 : Analyse des corrélations Canoniques..... 51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description du lac Tanganyika (Kelly, 2001) 5

Tableau 2 : Les espèces trouvées dans le lac Tanganyika Fermon (2007)..... 7

Tableau 3. Les valeurs standards des variables physico-chimiques du lac Tanganyika 19

Tableau 4 : Valeurs de l'Indice d'Etat Trophique de Carlson pour la classification des lacs 21

Tableau 5 : Macrophytes inventoriés dans les quatre sites 25

Tableau 6. Coefficient d'abondance dominance (recouvrement) de Braun Blanquet..... 27

Tableau 7 : Indice de similarité de Jaccard 30

Tableau 8 : Statistiques descriptives pour l'ensemble des sites 32

Tableau 9 : Coefficients de corrélation entre variables physico-chimiques..... 36

Tableau 10 : Corrélation entre l'abondance des espèces des macrophytes et les variables physico-chimiques 37

Tableau 11 : ANOVA à un facteur pour évaluer l'effet des sites d'échantillonnage sur la variation des paramètres physico-chimiques. 39

Tableau 12 : Test de comparaison multiple HSD de Tukey pour les différences des valeurs moyennes par paires des variables physico-chimiques entre les stations d'échantillonnage. 42

Tableau 13 : HSD de Tukey montrant des sous-ensembles homogènes pour les valeurs moyennes des variables physico-chimiques aux stations d'échantillonnage. 45

Tableau 14 : Etat trophique aux stations d'études du lac Tanganyika. 52

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales
ACorC : Analyse des Corrélations Canonique
ACN : Ancien Cercle Nautique
AFRITAN : African Tanny
C° : degré Celsius
Chla : chlorophyllea
DBO_5 : Demande Biochimique en Oxygène en cinq jours
DCO : Demande Chimique en Oxygène
Eq. : Equation
FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
FINNIDA : Finish Inernational Developement
KIN : Kinindo
LAB : Labeliane
LCAE : Laboratoire de Chimie et d'Analyses Environnementales
méq./l : milliéquivalent par litre
NTU : Nephelometric Turbidity Unit
OD : Oxygène Dissous
OECD : Organization for Economic Cooperation and Development
pH : potentiel d'hydrogène
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
P_T : Phosphore total
RDC : République Démocratique du Congo
SB : Safi Beach
STEP : Station d'Epuration
T° : Température
IET : Indice d'état trophique
UV-Vis : Ultra-Violet Visible
USEPA : United States Environmental Protection Agency
UNECE : United States Economic Commission for Europe
SPSS : Statistical Package for the Social Sciences
TSI : Trophic Status Indices

Avant-propos

Le lac Tanganyika se classe parmi les écosystèmes aquatiques d'eaux douces les plus riches dans le monde Coulter et al. , (1991). Malgré sa richesse en biodiversité, la zone littorale et sublittorale de ce dernier sont plus menacées par la pollution en provenance de plusieurs sources, notamment : les déchets ménagers, les engrais et pesticides, les ports, le trafic lacustre, les entreprises industrielles et les petits activités industrielles officielles ou non Kelly. , (2001).

Selon Niyoyitungiye., (2019), les rejets domestiques, le lessivage des terres, les rejets de la savonnerie artisanale et ceux de la station d'épuration de Buterere constitue des sources majeures de pollution du lac Tanganyika.

Plusieurs études ont été faites sur le lac Tanganyika. Ces dernières ont prouvé que la dégradation de la qualité des eaux dans certaines zones du lac est due aux activités anthropiques et seraient à l'origine de la réduction de la biodiversité Allison et al (2000) Branchu et al., (2012) ; Lwikitcha et Mwapu (2012) , Gordien., (2021) . Néanmoins aucune recherche faite sur les macrophytes aquatiques qui jouent des rôles écologiques multiples contribuant fortement au bon fonctionnement des milieux aquatiques Dutartre et al., (2014). Selon les mêmes auteurs vis-à-vis des poissons, les macrophytes ont surtout des fonctions d'habitat temporaire en particulier comme support de ponte pour certaines espèces de poissons mais aussi comme les zones d'abri et de refuge pour les alevins.

Considérant l'importance des macrophytes dans le milieu aquatique et considérant qu'aucune étude n'a été effectué jusqu'à nos jour sur les macrophytes du lac Tanganyika, nous avons jugé bon de choisir le thème suivant : « **influence de l'état trophique et de la qualité physico chimique de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac Tanganyika : cas du bassin nord du lac Tanganyika** ». Les résultats de l'étude vont aider les décideurs de la prise des mesures de protection de la zone littorale du lac Tanganyika.

« influence de l'état trophique et de la qualité physico-chimique de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac tanganyika : cas du bassin nord du lac tanganyika »

0. INTRODUCTION GENERALE

Le lac Tanganyika est l'un des points chauds reconnu internationalement pour être un haut lieu mondial de la diversité biologique aquatique. Groobridge et Jankins (1998); B.N.A, (2014).

La biodiversité du lac Tanganyika occupe la première place dans le monde avec 2156 espèces de plantes et d'animaux dont plus 584 espèces endémiques donc qui ne se rencontrent nulle part ailleurs. Gordien (2020) ; in Kelly (2001) et Ntakimazi (1998).

Les eaux du lac Tanganyika sont partagées entre les quatre pays riverains dont le Burundi, la Tanzanie, la RDC et la Zambie Béni H(2012) in Kelly, (2001). Le même auteur signale que ces pays riverains en profitent pour l'alimentation riche en protéines.

En 2015, environ 17 % des protéines d'origine animale consommées dans le monde provenaient du poisson (Rémy, 2020). En outre, le poisson fournissait à environ 3,2 milliards de personnes près de 20 % de leur apport moyen en protéines animales FAO, (2018).

Selon Coulter et al., (1991), le lac Tanganyika est parmi les écosystèmes aquatiques d'eaux douce les plus riches dans le monde. Malgré sa richesse en biodiversité, la zone littorale et sublittorale de ce dernier sont plus menacées par la pollution en provenance de plusieurs sources, notamment ; les déchets ménagers, les engrais et les pesticides, les ports, le trafic lacustre, les entreprises industrielles et les petites activités industrielles officielles ou non Kelly (2001) ; Hassan (2006) et Stanislas (2021). Dans la partie Nord du lac Tanganyika, trois villes dont Bujumbura, Uvira et Rumonge y sont construites. Parmi ces dernières, la plus grande est la ville de Bujumbura avec la plus grande densité de la population et le plus grand nombre d'activités industrielles constituants une plus grande menace de pollution Kelly, (2001). Selon Niyoyitungiye (2019), les rejets domestiques, le lessivage des terres, les rejets de la savonnerie artisanale et ceux de la station d'épuration de Buterere constituent des sources majeures de pollution du lac Tanganyika. Cette pollution parvient au lac grâce aux rivières et aux collecteurs d'eaux usées qui s'y jettent. Ces affluents du lac causeraient la pollution dans la zone littorale en modifiant la qualité physicochimique des habitats en perturbant les chaines alimentaires, ce qui diminuerait la diversité des espèces dans la baie Nord-Est du lac Tanganyika Ndikumana et al., (2013); Niyoyitungiye, (2020); Sibomana et Nduwayezu, (2018).

Plusieurs études ont été faites sur le lac Tanganyika. Ces dernières ont prouvé que la dégradation de la qualité des eaux dans certaines zones du lac est due aux activités anthropiques et serait à l'origine de la réduction de la biodiversité Allison et al., (2000) Branchu et al.,(2012); Lwikitcha et Mwapu (2012) ; Gordien (2021). Néanmoins aucune recherche faite sur les macrophytes aquatiques qui jouent des rôles écologiques multiples contribuant fortement au bon fonctionnement des milieux aquatiques Dutartre et al., (2014). Selon les mêmes auteurs, le rôle des macrophytes vis à vis de la physicochimie des eaux et des sédiments des milieux aquatiques sont très variables selon les types biologiques. Par exemple, la production d'oxygène photosynthétique dans le milieu ambiant, en grande partie liée à la production primaire des plantes immergées, est susceptible dans certains cas de provoquer des sursaturations dépassant 200 % en fin de journée. En revanche, la respiration nocturne peut conduire à des sous-saturations notables en fin de nuit. Cette variation journalière d'oxygène est corrélée à une variation de pH pouvant atteindre deux unités, qui peut avoir des impacts négatifs sur la survie de certaines espèces de poissons. Vis à vis des poissons, les macrophytes ont surtout des fonctions d'habitat temporaire, en particulier comme supports de ponte pour certaines espèces de poissons tels que carpe, gardon ou brochet, mais aussi comme zones d'abri et de refuge pour les alevins.

Considérant l'importance des macrophytes dans le milieu aquatique, et constatant qu'aucune étude n'a été effectuée jusqu'à nos jours sur les macrophytes du lac Tanganyika, nous avons jugé eau de choisir le thème suivant : **« Influence de l'état trophique et de la qualité physico-chimiques de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littoral du lac Tanganyika : Cas du bassin nord du lac Tanganyika ».** Les résultats de l'étude vont aider les décideurs dans la prise des mesures de protection de la zone littorale du lac Tanganyika.

0.1 Objectifs de l'étude

0.1.1 Objectif Global

Evaluer l'importance de la diversité des macrophytes aquatiques et les impacts des activités anthropiques sur l'écologie des communautés biologiques dans le lac Tanganyika.

0.1.2. Objectifs Spécifiques

- Evaluer l'état trophique et la qualité Physico-chimique de l'eau des stations échantillonnés.
- Déterminer la diversité et l'abondance des macrophytes de la partie Nord – Est du littoral du lac Tanganyika
- Déterminer l'influence de l'état trophique et de la qualité physicochimique de l'eau sur la diversité et la distribution des macrophytes du littoral du lac Tanganyika.

0.1.3. Architecture du travail

A part l'introduction générale, la conclusion et les perspectives, le présent travail est subdivisé en trois chapitres. Le premier chapitre parle de la revue de la littérature, le deuxième chapitre décrit le matériel, les méthodes et outils utilisés dans la collecte, l'analyse et le traitement des données tandis que le troisième chapitre porte sur la présentation et la discussion des résultats.

CHAP I : REVUE DE LA LITTERATURE

1.1. Lac Tanganyika

1.1.1. Cadre physique et géographique

Le Lac Tanganyika est partagé entre 4 pays dont le Burundi, la Tanzanie, la RDC et la Zambie Béni H (2012) in Kelly (2001). Il appartient à deux bassins principaux à savoir le bassin du Nord et le bassin du Sud, qui sont séparés par une structure complexe d'ensemble de failles connues sous le nom d'écueil de Kalemie Kelly (2001). Le lac Tanganyika est situé à 773 m d'altitude, dans la direction nord-sud, entre les latitudes de 3 ° 20 ' et 8 ° 18' Sud et les longitudes de 29 ° 03 ' à 31 ° 12' Est. Sa longueur est de 673 km du nord au sud et a une largeur maximale de 48 km. D'une profondeur maximale de 1470 m, le lac Tanganyika devient le deuxième lac le plus profond du monde. Sa profondeur moyenne est de 570 m, quant à son volume est estimé à environ 18 800 km^3. La longueur totale de son rivage était estimée environ 1850 km, répartis comme suit: Burundi: 159 km soit 9%; Tanzanie: 669 km soit 36%; Zaïre: 795 km soit 43%; et Zambie: 215 km soit 13% du total Hanek et al., (1993). Le type de substrat riverain a été classé comme suit: 31% de sable, 21% de roche / sable, 43% de roche et 5% de marais Coenen et al., (1993).

Le lac Tanganyika est alimenté par plusieurs affluents dont les deux principaux sont : la rivière Rusizi qui draine le lac Kivu au Nord, et la rivière Malagarazi au Sud sans oublier aussi les précipitations Alliso et al., (2000). Quant à la Lukuga, qui est son unique exutoire, le relie au bassin du fleuve Congo, tout en n'évacuant que 6% de l'eau totale du lac Tanganyika Coulter (1991). Le débit de Lukuga varie suivant le niveau du lac et la moyenne serait de 10 à 200m^3 /s Kelly et al., (2001). Avec son volume et sa superficie de 32800 km^2, le lac Tanganyika est parmi les lacs les plus volumineux du monde Hanek et al., (1993).

Agé de (6 à 12 millions d'années), le Lac Tanganyika parait le plus ancien des écosystèmes lacustres des grabens Est africain et sa profondeur considérable lui permet de se maintenir au cours des siècles sans jamais se dessécher même pendant les périodes sèches qui ont marqué certaines périodes géologiques, ce qui est contraire pour les autres lacs Ntakimazi (1998).

La figure 1 nous montre le lac Tanganyika dans le lift vally Est Africaine.

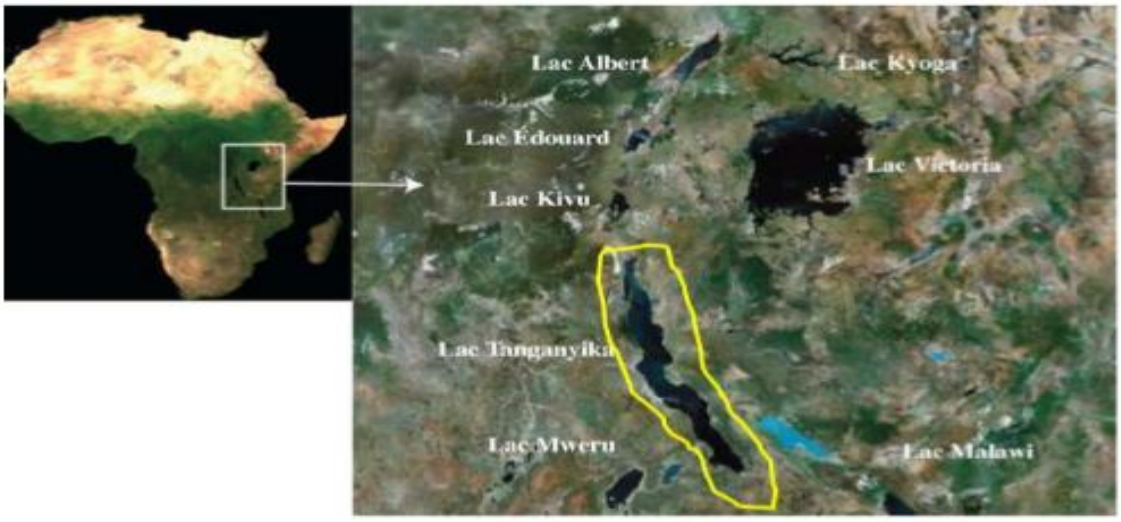


Figure 1 : Lac Tanganyika dans le lift valley Est Africain **(Ntakirutimana, 2020 ; in Fermon, (2007)**

Le tableau 1 nous indique les coordonnées géographiques, les dimensions et le climat régnant sur le lac Tanganyika

Tableau 1 : Description du lac Tanganyika (Kelly, 2001)

Latitude	03°20'- 08°48'Sud
Longitude	29°20'- 31°12'Est
Age	Environ 12 millions d'années
Altitude	770m au-dessus du niveau de la mer
Longueur	673km
Largeur	12-90km
Profondeur moyenne	570m
Bassi versant	220000km
Zone oxygénée	70m au nord et 200m au sud
Stratification	Permanente, méromictique
Salinité	Environ 460mgL^{-1}
PH	8.6 – 9.2
Température	23 -27°C

1.1.2. Climat

Selon Coulter (1991) et Niyoyitungiye (2020), le lac Tanganyika se trouve dans une région à un climat tropical humide marqué par une alternance de deux saisons : la saison pluvieuse et la saison sèche avec une pluviométrie de 900mm. La saison de pluie s'étend du mois d'octobre à Mai et est caractérisée par des vents faibles, une haute humidité et des précipitations importantes. La saison sèche s'étend de juin à septembre ou octobre, mais les précipitations sont modérées avec des vents forts et réguliers soufflants du Sud-Est pendant la journée Mpawenayo (1996) et Fermon (2007). La variation saisonnière et la vitesse du courant dans le lac Tanganyika est déterminée par la dynamique de la zone de convergence intertropicale Huttura (1997) ; Ndayizeye (2020).

1.1.3. Caractéristiques biotiques et abiotiques

1.1.3.1. Caractéristiques abiotiques

La structure physicochimique du lac Tanganyika est due à la stratification des eaux qui se définit comme étant la formation de couches d'eau distinctes superposées les unes sur les autres. Cette dernière est basée sur la température, l'oxygène dissous et la plupart des sels dissous Coulter (1991).

L'épilimnion : est la couche de surface la plus chaude où la température varie entre 25°C et 27°C et s'étend sur une épaisseur de 50m à 60m selon la saison dans le bassin nord du lac. Dans cette couche de lumière en abondance, la productivité biologique y est la plus importante. Le vent provoque à cette couche une homogénéisation de l'oxygène dissous et des autres éléments présents (ex : phosphore, azote…)

La métalimnion : c'est la couche fine se trouvant entre l'épilimnion et l'hypolimnion où la température tombe rapidement de 25°C à 23.7°C ; l'oxygène peut y être encore en abondance.

L'hypolimnion : c'est la couche froide, profonde, faiblement éclairée où la température est presque constante. L'oxygène dissous, introduit lors des brassages saisonniers, est utilisé entre autres pour la décomposition de la matière organique. Parfois, l'oxygène disparaît complètement de cette couche d'eau, phénomène que l'on appelle anoxie.

I.1.3.2. Caractéristiques biotiques

Le lac Tanganyika héberge plusieurs espèces tant animales que végétales dont certaines sont endémiques. Gordien (2020) ; in Kelly (2001) et Ntakimazi (1998).

Le tableau 2 illustre la répartition et la richesse taxonomique du lac Tanganyika.

Tableau 2 : Les espèces trouvées dans le lac Tanganyika Fermon (2007)

Taxon	Nombres d'espèces
Algues	759
Plantes aquatiques	81
Rotifères	70
Protozoaires	71
Cnidaires	2
Spongiaires	9
Bryozoaires	6
Vers plats	11
Ascarides	20
Vers segmentés	28
Vers à tête épineuse	1
Pentastomides (petit groupe de parasites)	1
Mollusques Gastéropodes (escargots)	91
Mollusque Bivalves (palourdes)	15
Arachnides (araignées, scorpions, mites, tiques)	46
Crustacées	219
Poissons (Familles des Cichlidae)	250
Poissons (Familles des cyprinidae)	75
Amphibiens	34
Reptiles	29
Oiseaux (aquatiques)	171
Mammifères	3
Insectes	155
Total	2156

1.1.4. Menaces du lac Tanganyika

Suite aux activités liées à l'augmentation exponentielle de la population des pays riverains du lac Tanganyika, ce dernier enregistre des multiples défis majeurs. Les résultats et constats tirés du projet régional PNUD/GEF (Raf/92/G32) sur la biodiversité du lac Tanganyika qui a eu lieu au Burundi, en République Démocratique du Congo, en Tanzanie et en Zambie, en (1995-2000) révèlent que le lac Tanganyika fait face à une variété de menaces, dont les plus importantes sont la pollution, la sédimentation et la destruction des habitats sensibles.

1.1.4.1. Pollution

La pollution en général est la dégradation de l'environnement par des substances naturelles, chimiques ou radioactives ou par des déchets ménagers ou industriels. La pollution de l'eau se produit lorsque les déchets sont jetés dans les masses d'eau sans traitement préalable Niyoyitungiye (2020). A cause de l'absence de législation empêchant la contamination du lac pour tous les gouvernements des pays riverains, les eaux usées industrielles et municipales ne sont actuellement pas traitées avant d'entrer dans le lac.

1.1.4.2. Sédimentation

Le lac Tanganyika connait une autre forme de menace qui est la sédimentation. Cette dernière est causée par une augmentation excessive de la déforestation du bassin versant provoquant l'érosion qui transporte des terres arabes vers le lac Kelly (2001).

Selon Niyoyitungiye (2020), 100% de la zone de drainage Nord, 50% de la zone centrale ont été dépouillées de leur végétation naturelle, ce qui entraine une érosion accrue Niyoyitungiye, (2020). L'augmentation de la sédimentation peut avoir un profond effet négatif sur la biodiversité en altérant les habitats (changement des substrats rocheux en substrats mixtes ou sablonneux) et en interrompant la production primaire qui aboutit à une diminution de la biodiversité et rendant certains nutriments essentiels sous forme de trace Kelly (2001) et Niyoyitungiye (2019).

La rivière Ntahangwa contribue dans la sédimentation du lac Tanganyika, suite à sa forte pente donc tous ses sédiments s'écoulent vers le lac Tanganyika Bizimana et Duchafour (1991).

La figure 2 nous indique les différents types de pollution du lac Tanganyika



Figure 2 : **Différents types de pollution du lac Tanganyika (Niyoyitungiye, 2020)**

(A) : pollution ménagère, (B) : pollution sédimentaire due à l'érosion pluviale, (C) : pollution par les eaux usées urbaines, (D) : Pollutions industrielle.

I.1.4.3. Eutrophisation

L'eutrophisation est le phénomène de vieillissement des lacs, qui se caractérise par une augmentation de la productivité et qui engendre des changements importants dans l'écosystème aquatique HADE, A (2002).

Selon l'OCDE (1982), l'eutrophisation est un enrichissement de l'eau par des éléments nutritifs entraînant des changements structurels dans l'écosystème tels que l'augmentation de la production d'algues et de plantes aquatiques, épuisement des espèces de poissons et la dégradation générale de la qualité de l'eau. Les principaux nutriments à l'origine du phénomène d'eutrophisation sont : le Phosphore (contenu dans les phosphates) et l'Azote (contenu dans ions ammonium, nitrates et nitrites) Nzungu (2017).

Dans un plan d'eau jeune et en bonne santé, les éléments nutritifs sont présents à faibles concentrations et assurent une croissance normale des plantes aquatiques et du phytoplancton (algues microscopiques et cyanobactéries). Si le phosphore devient trop abondant dans un lac, il entraîne rapidement une croissance excessive des végétaux aquatiques et une diminution de l'oxygène dissous. Voici les grandes étapes décrivant le processus d'eutrophisation :

- Le lac reçoit des apports en éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps).
- L'accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau provoque, à une certaine période, une prolifération de plantes aquatiques et d'algues dans la couche supérieure du lac et dans le littoral. Ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau (l'eau devient plus turbide).
- L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau. La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du lac.
- Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion se dépose au fond du lac, suite à sa sénescence (mortalité).
- Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale, ce qui provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur.
- La raréfaction de l'oxygène dissous de la couche inférieure du lac occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes au lac (ex. disparition des espèces de poissons d'intérêt sportif tels que les truites) Laurentides (2009).

  La figure 3 ci- dessous résume ces différentes étapes de l'eutrophisation

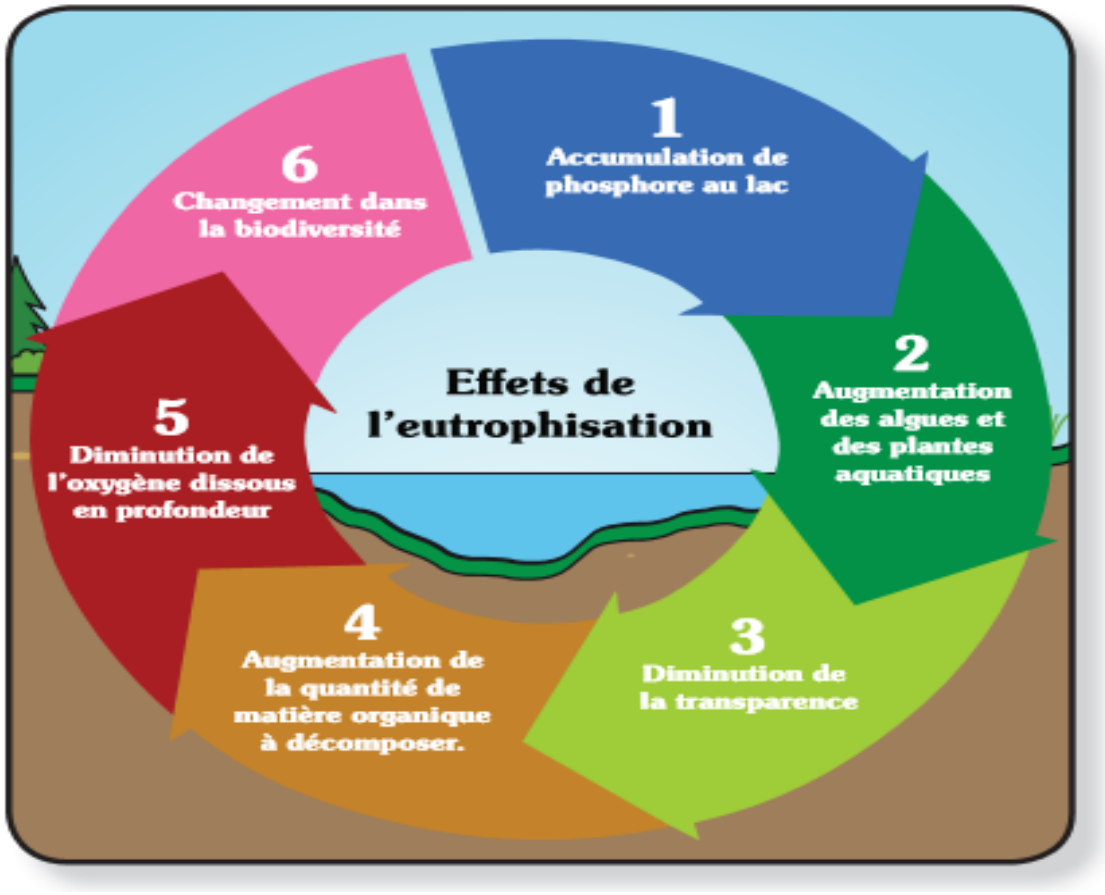


Figure 3**. Les différentes étapes de l'eutrophisation**

Source : Laurentides (2009)

I.1.4.4. La pression démographique

Les activités anthropiques sont les principales sources de menaces qui pèsent sur le lac Tanganyika. Méconnaissances sur la conservation des ressources du Lac, la croissance rapide de la population et la pauvreté contribue aux dommages environnementaux et à la destruction de l'habitat dans le Bassin du lac. Dans les pays riverains, le taux de croissance annuel de la population est entre 2,5 et 3,1% Niyoyitungiye (2019). Cette augmentation progressive de la pression démographique cause des changements forcés dans l'utilisation des terres forestières tropicales pour créer de petites parcelles agricoles situées sur des pentes bordant le lac Tanganyika. Des infrastructures telles que des hôtels et des maisons d'habitation sont en construction anarchiquement dans la zone supra-littorale du Lac Tanganyika.

Ces infrastructures construites sans étude d'impact environnemental préalable sur les sols fragiles sont susceptibles de nuire à l'environnement du lac (Manirakiza, 2017).

L'installation de ces infrastructures commence par la dénudation de la zone supra-littorale, qui consiste à détruire la végétation de rivages du lac. En conséquence, la destruction et la dégradation de cette végétation réduit l'espace nécessaire à l'alimentation et à la reproduction de la biodiversité du lac.

I.1.4.5. La surpêche

La surpêche perturbe la chaine alimentaire et cause des impacts socio-économiques. La pêche dans le lac Tanganyika est souvent mal organisée suite à la méconnaissance et la violation de la réglementation en utilisant des matériaux inappropriés Kelly(2001). Les types de pêche pratiquée dans le lac Tanganyika sont : la pêche artisanale qui est couramment utilisée et la pêche coutumière. Souvent, l'utilisation des moustiquaires imprégnés d'insecticides ont des effets destructifs car non seulement qu'ils capturent tous les poissons y compris les juvéniles, l'insecticide peut nuire aux autres organismes aquatiques.

I.2. Macrophytes

Les macrophytes sont des végétaux aquatiques d'eau douce visible à l'œil nu. Ils peuvent être des phanérogames (plantes à fleur), des bryophytes (mousses et hépatiques), des ptéridophytes (prêles, fougères), d'algues macroscopiques ou en colonies macroscopiques (des rhodophycées ou algues rouges, des chlorophycées ou algues vertes, des Xanthophycées ou algues jaunes), des bacillariophycées (diatomées) ou des Characées, Barbe (1984).

Les macrophytes sont des facteurs d'habitation pour divers organismes autres que les poissons, Den Hartog et Van Der Velde (1998). Ce sont des supports de fixation pour les algues du périphyton et constituent un milieu de vie particulièrement favorable aux espèces des invertébrés benthiques dont beaucoup sont brouteurs des périphytons.

L'activité photosynthétique des macrophytes produit de l'oxygène en grande quantité, et prélève du gaz carbonique. Ceci se traduit par une augmentation du PH et engendre une toxicité ammoniacale pour certaines espèces de poissons J.Haury (1996).

Le rôle trophique des macrophytes est limité, mais non négligeable. En général, les végétaux aquatiques sont peu ou pas consommés par les poissons, hormis les vandoises et les chevaines Daniel et Haury (1996). En revanche, en raison de leur richesse en invertébrés benthiques, les macrophytes constituent un réservoir de nourriture pour les poissons soit sur place, soit par alimentation de la dérive, Dumas et Haury (1995).

CHAP. II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Localisation des sites et méthodes d'échantillonnage.

La présente étude a été effectuée sur le littoral du lac Tanganyika dans la partie Nord-Est. Les sites échantillonnés sont : Labeliane, Kinindo, Ancien cercle nautique et en face du Safi Beach.

- **Labeliane**

Ce site se trouve dans la province Bujumbura Mairie en commune Ntahangwa, avec des coordonnées géographiques 3°21'02' de latitude Sud et 29°19'31'' de longitude Est.

Il se trouve à 300m de la route Uvira menant à Gatumba en face de l'embouchure là où la rivière Ntahangwa rencontre le lac Tanganyika.

La végétation caractéristique du milieu est dominée par les *Paspalidium germiniatum, Phragmites mauritianus, Pennisetum purpureum et Eichhornia crassipes.* Le substrat est formé du sédiment.

- **Kinindo**

De coordonnées 3°24'40'' de latitude sud et 29°20'20'' de longitude Est, Kinindo se trouve dans la partie Nord-Est du lac Tanganyika, à 100m du marché de Kinindo. La végétation du site est dominée par *Eichhornia crassipes, pistia stratiotes L., Nymphoides peltata et cyperus.* Le substrat est formé du Sédiments.

- **Ancien cercle nautique (ACN)**

Ce site est situé dans la province Bujumbura Mairie en commune Ntahangwa dans la partie Nord-Est du lac Tanganyika, à 100m du musée vivant, avec des coordonnées géographique 3°23'12''de latitude Sud et 29°21'08'' de longitude Est. La végétation du site est dominée par *Commelina erecta L. et Centella asiatica L.* Le substrat est formé de sable, cailloux et sédiments.

- **En face du Safi Beach**

De coordonnées géographiques 3°22'42'' de latitude Sud et 29°21'08'' de longitude Est, ce site est situé à quelques 300m de l'ancien cercle nautique. La végétation caractéristique du milieu est dominée par *les Phragmites mauritianus et Ludwigia glandulosa.*

Le substrat est formé de sable et de cailloux. La figure 4 indique les quatre sites qui ont été objet du présent travail ainsi que leurs coordonnées géographiques.

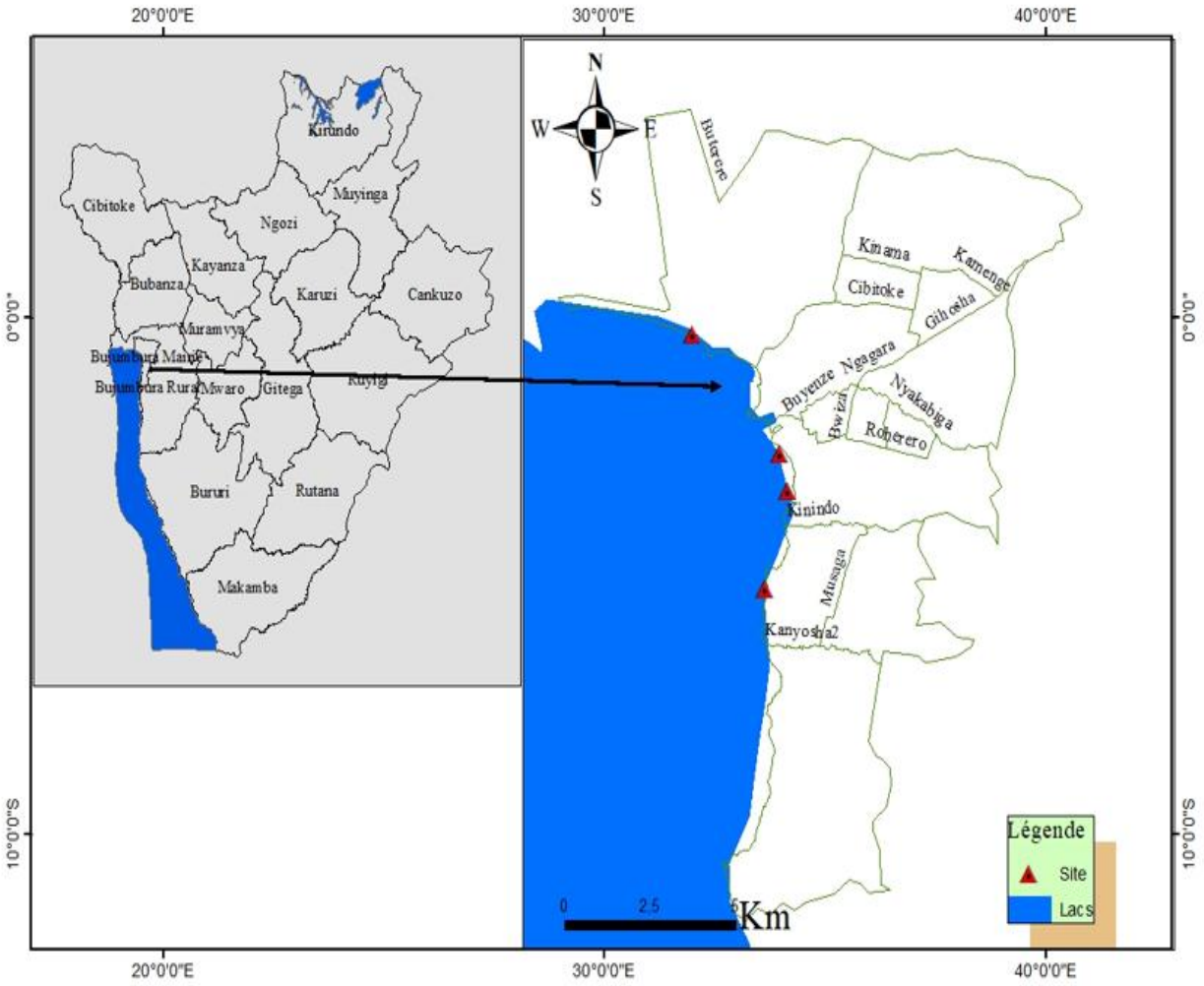


Figure 4 : **Localisation des sites d'échantillonnage.**

II. 2. Prélèvement, conservation et analyses de l'eau.

L'échantillonnage a porté sur quatre sites en utilisant les protocoles recommandés par Rodier, (2009). Certains paramètres comme le pH, la température, la turbidité, la conductivité électrique, les Solides Dissous Totaux (TDS) et la transparence ont été mesurés in situ. Pour d'autres paramètres les échantillons représentatifs ont été transportés au laboratoire de chimie et d'analyses environnementales (LCAE) de l'Université du Burundi pour être analysés. Ces paramètres sont les suivants : Demande Chimique en Oxygène (DCO), Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5), Phosphore total (P_T), Oxygène dissous, phosphates, nitrates, et Chlorophylle-a.

Les matériels utilisés pour le prélèvement et l'analyse des paramètres in situ de l'eau sont : un bassin, un multi-paramètre de marque CONSORT C 6010 pour le pH, température, conductivité et le TDS, un turbidimètre de marque TURBIQUANT 1100 IR pour la turbidité et le disque de Secchi pour mesurer la transparence de l'eau. Le prélèvement de l'eau s'est effectué entre 8h30min et 10h30min du matin pendant une période de deux mois entre Février et mai 2021 à raison de deux sorties par mois et par station.

II.2.1. Analyses de laboratoire

L'eau prélevée est conservée dans des bidons de 3litres emballés dans des sachets noirs pour éviter certaines réactions biochimiques, puis conservées dans des glacières. Arrivé au laboratoire, les échantillons étaient d'abord filtrés dans des filtres à sec pour les analyses de la chlorophylle-a. Puis l'eau était conservée dans un frigo à 4C° avant de subir d'autres analyses telles que : DCO, DBO, Nitrate et Phosphate, phosphore total, oxygène dissous.

II.2.1.1. Analyse de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader les composés organiques présents dans l'eau. Pour la doser 2,5ml d'échantillon ont été mis dans un tube à essai, 1,5ml de la solution de digestion et 3,5ml de réactif active ont été respectivement ajoutés, puis le mélange a été chauffé dans un minéralisateur de marque CR 2200 à 150C° pendant 2h. La lecture s'est effectuée dans une interface photomètre ;

II.2.1.2. Analyse de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

Un DBO-mètre a été utilisé pour mesurer la demande biochimique en oxygène. Un volume d'eau correspondant à la gamme d'estimation de la DBO5 par rapport à la DCO du même échantillon a été versé dans un flacon en verre brun contenant un barreau magnétique, Puis, deux pastilles de soude caustique (NaOH) ont été introduites dans le godet en caoutchouc. Le rôle de la soude caustique est d'absorber le CO_2 produit lors de l'oxydation des matières organiques. Dans une période de 5 jours, la quantité d'oxygène est enregistrée toutes les 24 heures par l'OxiTopR. La DBO5 exprimée en mg O_2L^{-1} est obtenue par multiplication de la valeur enregistrée au $5^{ème}$ jour par un facteur déterminé selon la gamme de DCO.

II.2.1.3. Dosage des nitrates

Pour le dosage des Nitrate, 10 ml d'échantillon d'eau ont été prélevé, puis mis dans une capsule en ajoutant 3 gouttes de solution de NAOH avant de chauffer, et 1ml de salicylate de sodium a été ajouté dans le résidu. Après, 1ml et 15ml de H_2SO_4 concentré et d'HO_2 distillé puis 10 ml de solution de NAOH ont été successivement ajoutés. La lecture s'est effectuée par spectrophotomètre à 415nm ;

II.2.1.4. Dosage des phosphates

Pour doser les phosphates 20 ml d'échantillon d'eau ont été prélevés, puis mis dans une fiole jaugée de 25 ml, 1ml d'acide ascorbique puis 4 ml de réactifs combinés ont été ajoutés au mélange puis on a complété avec de l'eau distillée pour remplir la fiole jaugée de 25 ml. La lecture s'est effectuée dans un spectrophotomètre à 700nm ;

II.2.1.5. Dosage du phosphore total (Pt)

Le phosphore total a été dosé à l'aide de la méthode spectrophotométrique UV/Visible à 800 nm RODIER et al (2009). D'après cet auteur, le principe de la méthode consiste d'abord à minéraliser les formes du phosphore se présentant sous forme des polyphosphates et du phosphore organique en orthophosphates. Selon toujours cet auteur, le principe de mesure des orthophosphates repose sur la réaction des ions orthophosphates avec les ions molybdates et d'antimoine en milieu acide pour former un complexe antimonyl-phosphomolybdique qui se transforme en bleu de molybdène sous l'action d'un réducteur d'acide ascorbique.

La concentration en phosphore total, exprimée en mgL^{-1} se calcule alors à l'aide de la formule suivante:

$$P_{tot(mg/l)} = \frac{(C_a - C_b) \times V_1}{V_b} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

C_a = Concentration en orthophosphates (exprimée en mgL^{-1}) déterminée avec un volume d'échantillon minéralisé et en exploitant la courbe d'étalonnage établie à priori, permettant de convertir l'absorbance lue en concentration.

C_b = Concentration en orthophosphates (mgL^{-1}) déterminée avec un volume d'essai à blanc minéralisé et en exploitant la courbe d'étalonnage établie à priori, permettant de convertir l'absorbance lue en concentration, V_1 = Volume (en ml) du ballon utilisé pour la mise au volume de l'échantillon minéralisé et V_b = Volume (en ml) de la prise d'essai.

II.2.1.6. Dosage de Chlorophylle-a

Pour mesurer la Chlorophylle-a, un spectrophotomètre UV/Visible LORENZEN (1967) a été utilisé. Avant de procéder à la mesure proprement dite, les pigments chlorophylliens ont été d'abord recueillis sur des filtres de marque GF/C Whatman (0,45 µm) sur lesquels a été versé 1 ml de carbonate de magnésium 1% pour éviter l'acidification. La chlorophylle-a, a ensuite été extraite en utilisant de l'acétone 90%. Après centrifugation de l'extrait à 3000 tours/12 minutes, la lecture a été faite au spectrophotomètre UV-Vis à des longueurs d'ondes de 664, 647 et 630 nm LORENZEN (1967) et RODIER et al (2009).

La concentration de la chlorophylle-a a été déterminée en ayant recours à cette formule de LORENZEN (1967):

Chlorophylle-a ($\mu g.l^{-1}$) = 11, 85 (DO 664) – 1, 54 (DO 647) – 0, 08 (DO 630) $x\frac{V}{LxVg}$

(Eq.2)

Avec V = volume d'acétone en ml

DO = Densité Optique (ou absorbance)

L = Longueur du trajet optique

Vg = volume d'eau filtré

II.2.1.7. Oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous a été réalisée en ayant recours à la méthode de Winkler RODIER et al (2009). En effet, dès la prise de l'échantillon, 1 ml de Mn^{2+} et un réactif spécial contenant des ions OH^- (milieu alcalin) sont introduits dans une bouteille à col rodé de 250 ml. La bouteille est ensuite bouchée et laissée reposer pour que l'O_2 dissous qui se trouve dans l'échantillon d'eau puisse oxyder les Mn^{2+} en Mn^{3+}suivant les équations:

$MnSO_4 + 2\ NaOH \rightarrow Mn(OH)_2 + Na_2SO_4$

$Mn(OH)_2 + ½\ O_2 + H_2O \rightarrow MnO_2.2H_2O$ (Eq.3)

L'acide sulfurique et/ou Chlorhydrique a été introduit dans la bouteille pour acidifier le milieu, puis 1 ml de KI (réactif de Winkler) a été volontairement ajouté pour provoquer la 2ème réaction d'oxydation:

$$MnO_2.2H_2O + 2\ KI + 2\ H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + 4\ H_2O + I_2 \qquad (Eq.4)$$

La solution est enfin titrée par l'ion thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$) de titre connu (0,0125 N) et l'empois d'amidon est utilisé comme indicateur. Le point d'équivalence est indiqué par la disparition de la coloration bleue.

$$I_2 + 2\ Na_2S_2O_3 \rightarrow 2\ NaI + Na_2S_4O_6 \qquad (Eq.5)$$

Des (Eq. 3) et (Eq.5), on voit que 2 moles de $S_2O_3^{2-}$ correspondent à ½ mole d'O_2. D'où 1 mole de $S_2O_3^{2-}$ correspond à ¼ mole d'O_2, soit 8000 mg O_2.

L'expression de calcul des résultats est:

$$[O_2]_{dissous}(mg/l) = \frac{8000xNV1}{V(V1-2)} \qquad (Eq.6)$$

Où x= Volume de thiosulfate de sodium (ml) utilisé pour le titrage;

V = Volume de la prise d'essai

N = Normalité de thiosulfate de sodium;

V1 =Volume du flacon d'échantillonnage utilisé comme volume V pour le titrage (C'est-à-dire qu'on a titré tout le volume);

V1-2 = Volume corrigé en tenant compte de l'addition des deux premiers réactif (2ml).

Le tableau 3 indique valeurs standards des variables physico- chimiques du lac Tanganyika

Tableau 3. Les valeurs standards des variables physico-chimiques du lac Tanganyika

Les variables	**Valeurs standards**
Potentiel d'hydrogène	6–9 (Davis, 1993)
Température en (^{0}C)	25^{0}C – 30^{0}C (FAO, 2006)
Conductivité Electrique en (µS/cm)	<3000 (MDTEE ,2003)
Solides Dissous Totaux en (mg.L-1)	< 500 (USEPA, 2006)
Oxygène Dissous en (mg.L-1)	≥ 4 (ICAR, 2007)
Transparence en (cm)	30 – 40 (ICAR, 2007)
Turbidité en (NTU)	20–30NTU (Zweigh, 1989)
Phosphore Total en (mg.L-1)	0,01mgL^{-1}
Nitrates en (mg.L^{-1})	0,15mgL^{-1}
Demande Chimique en Oxygène en (mg.L-1)	< 50 (ICAR, 2007)
Demande Biochimiques en Oxygène en (mg.L-1)	3 – 20 (Boyd, 2003)

II. 3. Détermination de l'état trophique de l'eau

Pour caractériser l'état trophique de l'eau des stations de prélèvement, la méthode des indices d'état trophique (IET) de Carlson a été utilisée. Cette technique utilise une transformation logarithmique (Ln) de la concentration en chlorophylle a (Chl. a) exprimée en microgramme par litre, la profondeur à laquelle disparait le disque de Secchi exprimée en mètres et le phosphore total (Pt) exprimé en microgramme par litre selon l'équation de Carlson (1977) suivante:

$$\text{TSI (SD)} = 10*\left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2}\right) = 60 - 14.41 \ln SD\ (m)$$

$$\text{TSI (Chl.a)} = 10*\left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl.a}{\ln 2}\right) = 9.81 \ln \text{Chl-a}\ (\mu g.L^{-1}) + 30.6$$

$$\text{TSI (TP)} = 10*\left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2}\right) = 14.42 \ln TP\ (\mu g.L^{-1}) + 4.15$$

$$\text{Carlson's TSI} = \frac{TSI(Chl.a) + TSI(TP) + TSI(SD)}{3}$$

(Eq.7)

Ce système donne des informations sur l'état des éléments nutritifs et la biomasse des algues pour l'évaluation de la tendance de l'état trophique afin de faire une bonne gestion du lac.

Les paramètres qui sont pris en compte dans ce système sont les suivants :

Le phosphore total (PT) un élément nutritif qui revêt une importance non moins négligeable dans la croissance des algues et plantes aquatiques dans les zones peu profondes du lac (rivage). Le phosphore total est considéré comme élément moteur du processus d'eutrophisation et facilitant la détection de la présence de pollution nutritive d'un plan d'eau. Les lacs eutrophes ont une forte concentration de phosphore et sont souvent caractérisée par une grande abondance de plantes aquatiques (macrophytes).

Chlorophylle a (Chl a) qui est un indicateur de la biomasse (quantité) d'algues microscopiques présentes dans le lac. L'augmentation de la concentration de chlorophylle a va de pair avec l'augmentation de la concentration en nutriments. Cela prouve qu'il y a un lien entre cette augmentation et le niveau trophique du lac. Les lacs eutrophes produisent une grande quantité d'algues.

Transparence (profondeur du disque de Secchi) : celui-ci diminue avec l'augmentation de la quantité d'algues dans le lac. On observe une transparence de l'eau qui est faible dans les lacs eutrophes. Cela explique le lien entre la transparence de l'eau et le niveau trophique de la masse d'eau. Cependant, on dit que les eaux sont eutrophes (bien nourris) lorsqu'on y observe des réserves relativement importantes de nutriments tandis que ceux qui ont de faibles apports en nutriments sont dits oligotrophes (mal nourri). Et ceux qui ont les apports intermédiaires en nutriment sont qualifiés de mésotrophes Hutchinson (1973).

Un lac oligotrophe est un jeune lac caractérisé par une eau (claire) et bien oxygénées ainsi qu'une faible production de macrophytes et d'algues, alors qu'un lac mésotrophe a un niveau intermédiaire de vieillissement avec l'eau relativement claire.

Le tableau 4 nous montre les valeurs de l'indice d'Etat Trophique de Carlson pour la classification des lacs.

Tableau 4 : Valeurs de l'Indice d'Etat Trophique de Carlson pour la classification des lacs

Système de classification d'indice de l'état trophique	Indice de l'état trophique	Etat Trophique
Indice de Carlson 1977	< 30	Oligotrophique
	30 – 40	Oligo – mésotrophique
	40 – 50	Mésotrophique
	50 – 60	Mésotrophique – Eutrophique
	60 – 70	Eutrophique
	70 – 80	Hypereutrophique
	>80	Hypereutrophique

II.4. Récolte et identification des macrophytes

Nul n'ignore que l'échantillonnage dans les zones inondables n'est toujours pas facile. Pour notre cas, la récolte des macrophytes s'est réalisée au moment où le lac Tanganyika avait connu une remontée spectaculaire des eaux, ce qui justifie la courte liste des espèces échantillonnées car les espèces herbacées étaient inondées. Pendant l'échantillonnage, la technique de quadrant a été utilisée et les quadrants de $5m^2$ sur une bande parallèle de 25m ont été effectués. Cependant, à certaines localités, cette technique n'a pas été respectée pour cause d'inaccessibilité du milieu.

Le matériel utilisé pour réaliser cet échantillonnage est constitué de :

- Un sécateur pour la récolte des macrophytes ;
- Un carnet et un stylo pour l'enregistrement des données recueillies sur terrain et celles réservées au dépouillement ;
- Des papiers journaux pour la conservation des échantillons ;
- Des ceintures et cartons découpés pour emballer les échantillons ;
- Les bottes pour accéder aux endroits marécageux.

Certaines espèces étaient identifiées sur terrain. Pour les espèces non déterminées sur terrain, l'identification a été réalisée à l'aide de l'herbarium de l'Université du Burundi de la Faculté des sciences accompagné des ouvrages de Troupin (1978-1988), Troupin (1982), Troupin., (1966).

II.5.Analyse et traitement des données

II.5.1. Les indices de diversités.

Deux indices de diversités ont été calculés : l'indice de Shannon-Weaver et indice de similarité de Jaccard.

L'indice de Shannon –Weaver : permet d'indiquer la diversité d'un écosystème. Elle varie de 0 à l'infini et augmente avec l'augmentation de la diversité. Elle a été calculé suivant cette formule : H' = $-\sum (Pi \log Pi)$ avec Pi = ni/ N, avec n effectif du taxon, N effectif total, log logarithme de base 2. Selon Evrard (1996),

L'indice similarité de Jaccard : permet de mesurer la similarité entre deux milieux. Cet indice varie de 0 à 1. Les valeurs supérieures à 0,5 indiquent que ces deux milieux sont similaires. Elle a été calculé suivant cette formule J= c/ (a+b+c) avec c le nombre de taxons communes entre deux sites, a le Nombre de taxons présents seulement dans le site 1 et b le Nombres de taxons présents uniquement dans le site 2.

II.5.2. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de certains logiciels.

(i) Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 2021.

(ii) Ce dernier a permis de mettre en évidence de la Corrélation entre les Paramètres Physico-chimiques de l'eau, la caractérisation des sites d'échantillonnages (liens de proximité entre les sites, caractéristiques écologiques ou environnementaux, conditions du milieu), ainsi que la relation entre les sites et les Paramètres Physico-chimiques de l'eau,

(iii) Une Analyse factorielle de Correspondance qui indique la relation entre les Sites d'échantillonnages et les espèces de macrophytes, préférences écologiques des espèces de macrophytes,

(iv) Une Analyse des Corrélations Canoniques qui indique la relation entre les facteurs environnementaux ou abiotiques (Paramètres physico-chimiques) et les facteurs Biotiques (les espèces de macrophytes). Donc cette analyse indique comment les paramètres physico-chimiques influent sur la repartions et l'abondance des Macrophytes. XLSTAT 2021 nous a aussi permis de calculer les coefficients de corrélation entre les paramètres physicochimiques. Les graphiques de variations spatio-temporelles ont été construites à l'aide de logiciel Microsoft Excel 2013.

(v) Le test de corrélation linéaire de Pearson ou Coefficient de corrélation de Pearson pour montrer la corrélation entre les paramètres physico-chimiques de l'eau.

(vi) Les différents indices ont été calculés en utilisant PAST4.06b pour caractériser les sites d'échantillonnage

(vii) L'effort d'échantillonnage a été élucidé à l'aide du logiciel EstimateS 9.1.0

CHAP.III : PRESENTATION, INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. PRESENTATION DES RESULTATS

III.1.1. Inventaire Taxonomique des Macrophytes

La répartition et la richesse taxonomique des macrophytes inventoriés au cours de la présente étude sont présentées dans le tableau 3

Dans tous les sites qui ont fait l'objet de l'étude, le nombre total des macrophytes échantillonnés s'élève à 644 individus répartis en 11 familles et 19 espèces. La famille des poaceae est la plus abondante avec 203 individus répartis en 6 espèces *(Phragmites mauritianus, Paspalidium germinatum, Cynodon nlmfuensis, Sporobolus africanus, Paspalum conjuatum* et *Brachiaria leersioides)* suivi par la famille des pontédériaceae avec 137 individus d'une même espèce (*Eichornia craspes).* En troisième position vient la famille des cyperaceae avec 106 individus répartis en 4espèces *(Trigonous clums, Mariscus amauropus, Cyperus articulatus***.** L., et *Cyperus angolensis).* La 4ème position est occupée par la famille des Araceae avec 58 individus d'une même espèce (*Pistia stratiotes* L.). 5ème, 6ème et 7ème positions sont occupées respectivement par la famille de commelinaceae avec 48 individus d'une même espèce (*Commelina erecta*.L), la famille de Nympheaceae comptant 36 individus regroupés dans une même espèce (*Nymphoides pelata*.L.) et la famille d'onagraceae avec 35 individus regroupés dans une même espèce (*Ludwigia glanulosa*)

Les 4 dernières familles sont respectivement : Polygonaceae avec 30 individus d'une même espèce (*Polygonum senegalense*), la famille des Apiaceae avec 8 individus regroupés dans une même espèce (*Centella asiatica*), Convolvulaceae avec 5 individus d'une même espèce (*Argyreia nervosa* (BOJER)) et, enfin, la famille des Fabaceae avec 1 seul individu d'une espèce (*Strongylodon lucidus*).

Le tableau 5 montre la répartition en familles et en espèces des individus macrophytiques récoltés dans tous les quatre sites qui ont fait l'objet de notre étude.

Tableau 5 : Macrophytes inventoriés dans les quatre sites

Familles	**Espèces**	**Acronymes**	**Nombre d'Individus par site**				
			LAB	**KN**	**ACN**	**SB**	**Total**
1. Apiaceae	*1. Centella asiatica* (KUNTZE., 1879)	CA	0	8	0	0	8
2. Araceae	*2. Pistia stratiotes* L. (1753)	PSL.	10	48	0	0	58
3. Commelinaceae	*3. Commelina erecta* L.(1753)	CEL.	12	3	32	1	48
4. Convolvilaceae	*4. Argyreia nervosa* (BOJER., 1837)	AN	0	0	0	5	5
5. Cyperaceae	*5. Cyperus angolensis* (BOECHELER., 1880)	CA	25	32	0	0	57
	*6. Cyperus articulatus***.** L.(1753)	CAL.	12	0	6	0	18
	7. Mariscus amauropus (STEUDEL) CUF, 1970	MA	19	0	0	0	19
	8. Trigonous clums (Bulruch., 1879)	TC	3	0	8	0	11
6. Fabaceae	*9. Strongylodon lucidus* (G.FORST., 1865)	SL	0	0	0	1	1
7. Nympheaceae	*10. Nymphoides pelata* (L., 1891)	NPL.	0	36	0	0	36
8. Onagraceae	*11. Ludwigia glandulosa* (ANEMONE-CLOWN., 1753)	LG	3	11	4	17	35
9. Poaceae	*12. Paspalidium germinatum*	PG	5	18	12	0	35
	13. Phragmites mauritianus (KUNTZE., 1877)	FM	56	0	3	25	84
	14. Cynodon nlmfuensis (BAERTS, M& J.LEHMANN)	CN	28	0	0	5	33
	15. Brachiaria leersioides (HOCHST) STAPF., 1919	BL	21	0	0	0	21
	16. Paspalum conjuatum (FLUEGGE., 1759)	PC	15	8	0	0	23

	17. Sporobolus africanus (POIRET ROBYNS et TOURNAY., 1955)	SA	7	0	0	0	7
10. Polygonaceae	*18. Polygonum senegalense* (MEISSN., 1739)	PS	23	6	0	1	30
11. Pontédériaceae	*19. Eichornia crassipes (*James cook. 1774)	EC	65	68	1	3	137
Total : 11	**Nombres d'espèces : 19**		**292**	**228**	**66**	**58**	**644**

LAB : Labeliane ; **KN :** Kinindo ; **ACN :** Ancien Cercle Nautique ; **SB :** Safi Beach

Le tableau 6 montre l'établissement d'une distinction entre les espèces dominantes et celles dont les individus sont dispersés ou rares dans les stations d'échantillonnage

Tableau 6. Coefficient d'abondance dominance (recouvrement) de Braun Blanquet

Espèces		LAB					KN					ACN					SB				
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
1	*Centella asiatica (KUNTZE., 1879)*	0	0	0	0	0	0	r	R	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	*Pistia stratiotes (L., 1753)*	0	1	0	0	r	2	3	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	*Commelina erecta (L., 1753)*	R	r	+	0	0	0	0	0	+	0	2	+	1	2	0	0	0	r	0	0
4	***Argyreia****nervosa (BOJER., 1837)*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	*Cyperus angolensis (BOECHELER., 1880)*	1	+	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	1	1	3	3	1
6	*Cyperus articulatus. (L., 1753)*	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	+	0	0	+	r	0	0	0	0	0
7	*Mariscus amauropus (STEUDEL) CUF, 1970*	1	+	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	*Trigonous clums (Bulruch., 1879)*	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0
9	*Strongylodon lucidus (G.FORST., 1865)*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	r	0	0
10	*Nymphoides pelata (L., 1891)*	0	0	0	0	0	+	+	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	*Ludwigia glandulosa (ANEMONE-CLOWN., 1753)*	0	0	+	0	0	0	+	+	R	0	+	0	0	r	0	1	0	+	+	0
12	*Paspalidium germinatum*	+	+	0	0	0	+	+	1	0	+	+	+	r	+	r	0	0	0	0	0
13	*Phragmites mauritianus (KUNTZE., 1877)*	4	2	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	r	+	0	1	1	+	+	0
14	*Cynodon nlmfuensis (BAERTS, M& J.LEHMANN)*	1	1	2	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0
15	*Brachiaria leersioides (HOCHST) STAPF., 1919*	0	+	+	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	*Paspalum conjuatum (FLUEGGE., 1759)*	+	+	1	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	*Sporobolus africanus (POIRET ROBYNS et TOURNAY., 1955)*	1	+	+	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	*Polygonum senegalense (MEISSN., 1739)*	0	+	2	0	1	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	r	0	0
19	*Eichornia crassipes (James cook. 1774)*	4	5	4	5	5	4	5	5	5	4	0	0	r	0	0	+	0	0	0	0

L'échelle d'abondance/dominance retenue est celle de Braun-Blanquet:

5 : Nombre d'individus quelconque, recouvrant plus de 75% de la surface

4 : Nombre d'individus quelconque, recouvrant de 50 à 75% de la surface

3 : Nombre d'individus quelconque, recouvrant de 25 à 50% de la surface

2 : Individus abondants ou très abondants, recouvrant de 5 à 25% de la surface

1 : Individus assez abondants, recouvrement inférieur à 5% de la surface

+ : Individus peu abondants, recouvrement inférieur à 5% de la surface

r : Individus très rares, recouvrant moins de 1% de la surface

i : Individu unique

Le tableau 4 ci- dessus montre que les espèces comme : *Eichhornia crassipes, Phragmites mauritianus et Pistia stratiotes* sont abondantes dans les sites Labeliane et Kinindo avec le coefficient d'abondance/dominance variant de 2 à 5. L'espèce *Cyperus angolensis* est abondante à Safi Beach avec le coefficient d'abondance/dominance allant de 1 à 3, tandis que le *Commelina electa* est abondante sur l'Ancien Cercle Nautique avec le coefficient d'abondance/dominance variant de + à 2.

La figure 5 montre l'effort d'échantillonnage des macrophytes sur tous les sites qui ont fait l'objet de ce travail.

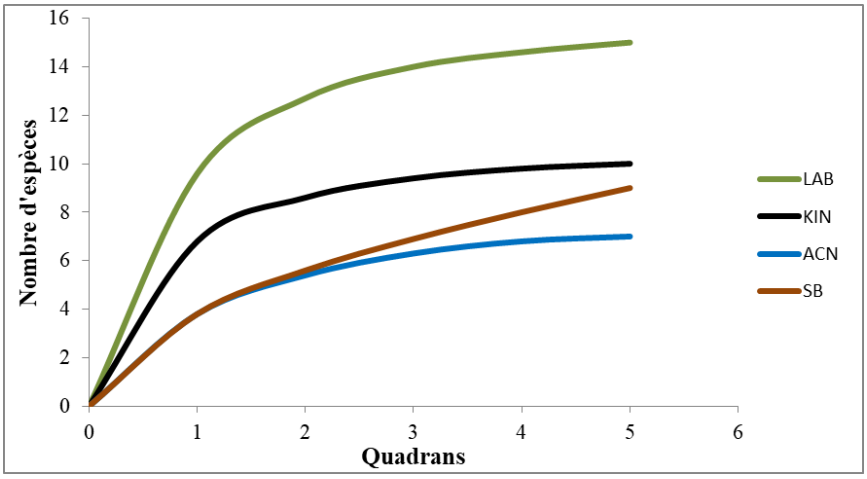


Figure 5**. L'effort d'échantillonnage des macrophytes sur les sites échantillonnés**

La figure 5 montre que pour les trois sites comme : Labeliane , Kinindo et Ancien Cercle Nautique, l'échantillonnage est presque exhaustif contrairement au site Safi Beach où la courbe indique que l'échantillonnage est totalement inéxhaustif.

III.1.2. Analyse de la diversité des macrophytes

- **Indice de shannon**

Les valeurs de l'indice de Shannon Weaver calculées dans les quatres sites qui ont fait l'objet de l'étude sont 2,38 ; 1,95 ; 1,51 et 1,51, respectivement pour les sites Labeliane, Kinindo Ancien Cercle Nautique et Safi Beach et. Comme ces dernières le montre Labeliane présente des valeurs élevées par rapport aux autres sites. Selon Evrard (1996), un indice de Shannon-Weaver compris entre 1 et 2 correspond à une qualité des eaux modérément polluées. Or les valeurs trouvées sur le site Labeliane dépassent cet intervalle, cela signifie que ce site est plus pollué par rapport aux autres sites.

La figure 6 montre la variation d'indice de shannon Weaver selon les différents sites qui ont fait l'objet de notre travail

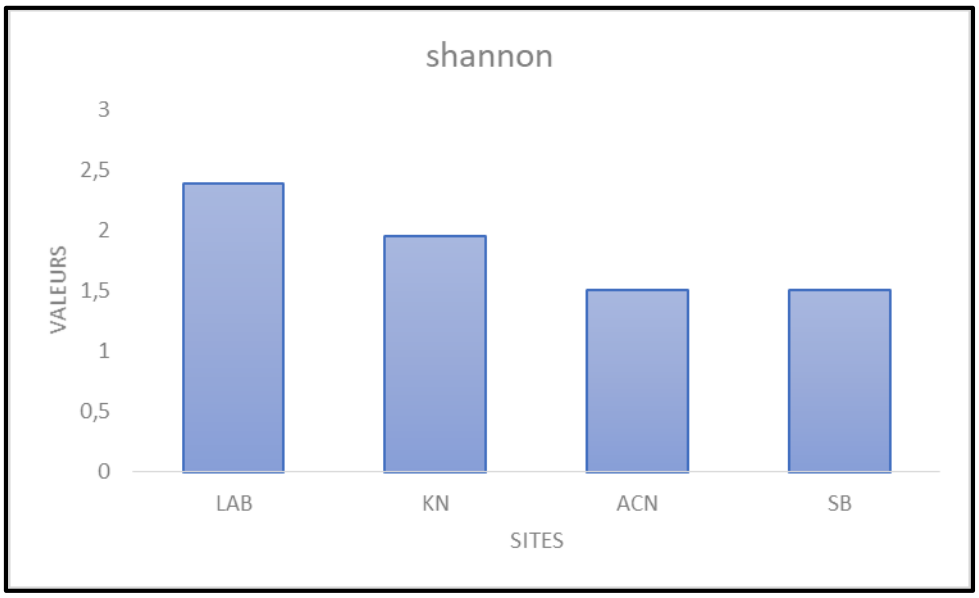


Figure 6 : **Variation de l'indice de Shannon dans les quatre sites**

- **Indice de similarité de Jaccard**

Pour l'indice de similarité de Jaccard, les valeurs trouvées dans les quatre sites qui ont fait l'objet de l'étude, montrent qu'il n'y a aucune similarité entre eux.

Le tableau 7 indique les valeurs qui montrent la similarité entre différents sites qui ont été l'objet de ce travail.

Tableau 7 : Indice de similarité de Jaccard

	LAB	KN	ACN	SB
LAB	1	0,47058824	0,46666667	0,35294118
KN	0,47058824	1	0,30769231	0,28571429
ACN	0,46666667	0,30769231	1	0,36363636
SB	0,35294118	0,28571429	0,36363636	1

III. I. 3. Paramètres physico-chimiques

Au cours de cette étude, le pH de l'eau des sites échantillonnés est compris entre 7,425 et 8,800 avec une moyenne de 8,244 ±0,496. A Labeliane la moyenne pour le pH est de 7,825±0,58 ; Kinindo, 7,825±0,40 ; Ancien Cercle Nautique, 8,525 ±0,27 et à coté de Safi Beach, 8,8±0,2 (Tableau.6 et Figure.7 (A)). Les valeurs moyennes de Safi Beach sont plus élevées par rapport aux autres sites ce qui montre que ce site présente le taux de basicité en peu élevé par rapport aux autres sites.

Pour la Température, labeliane a une valeur moyenne de 26,9±0,49°C, kinindo, 26,62±0,62°C, Ancien Cercle Nautique, 27,47±0,96°C et Safi Beach 28,15±1,008°C. Les valeurs maximales et minimales aux sites échantillonnés sont respectivement 26,62C° et 28,15°C et la moyenne aux sites échantillonnés est de 27,28±0,67°C (Tableau.6 et Figure.7 (B)).

La conductivité électrique varie entre 480,250 et 572µS.cm^{-1} aux sites échantillonnés. La moyenne enregistrée aux sites échantillonnés est de 513,438±40,35 µS.cm^{-1} (Tableau.6 et Figure.7 (D)). Les valeurs de la TDS sont comprises entre 255 mgL^{-1} et 305,50mgL^{-1} avec une valeur moyenne de 272,37±22,66mgL^{-1} (Tableau.6 et Figure. 7 (C)). L'oxygène dissous quant à elle oscille entre 2,15mgL^{-1} et 7,19mgL^{-1} pour l'ensemble des quatre sites. Les valeurs moyennes enregistrées sont respectivement 6,3±2,18mgL^{-1} pour le Labeliane, 2,15±1,03mgL^{-1} pour Kinindo, 7,19±1,46mgL^{-1} pour l'Ancien Cercle Nautique et 7,17±0,6mgL^{-1} pour Safi Beach et la valeur moyenne pour tous les sites est de 5,70±2,40 mgL^{-1} (Tableau.6 et Figure.8 (E)). La Transparence varie entre 0,39 et 1,21m aux sites échantillonnés avec une moyenne de 0,65 ±0,37m. Labeliane a une moyenne de 0,39±0,06m, Kinindo a une valeur moyenne de 1,21±0,20m, l'ACN a une moyenne de 0,51±0,17m et Safi

Beach présente une valeur moyenne de 0,52±0,20m. Kinindo enregistre une transparence élevée par rapport aux autres sites avec1,21±0,20m, (Tableau. 6 et Figure 8 (F)).

Quant à la turbidité, les valeurs moyennes aux sites échantillonnés sont respectivement de 26,88±20,70NTU pour Labeliane, 6,96±1,11NTU pour Kinindo, 7,28±0,79NTU pour l'Ancien cercle Nautique et 7,95±7,14NTU pour Safi Beach (Tableau.6 et Figure.8 (I))

La DCO est comprise entre 323,750mgO_2L^{-1} et 434,750mgO_2L^{-1} pour l'ensemble de quatre sites. La valeur moyenne est de 350,5±659,84mgO_2L^{-1} pour Labeliane, 434,75±764,28mg L^{-1} à Kinindo, 323,75±553,19mgO_2L^{-1} à L'Ancien Cercle Nautique et 362,5±626,11mgO_2L^{-1} à Safi Beach. (Tableau.6 et Figure.9 (K)).

Quant à la DBO, elle varie entre 13,75 et 28,25 mgO_2L^{-1} avec la valeur moyenne de 20,18±6,03mgO_2L^{-1}. Labeliane a une moyenne de 18,5±1,726mO_2gL^{-1} ; Kinindo, une valeur moyenne de 20,25±20,33mgO_2L^{-1}, Ancien Cerle Nautique 13,75±17,51mgO_2L^{-1} et Safi Beach 28,25±47,84mgO_2L^{-1}. (Tableau.6 et Figure.9 (L)).

En ce qui concerne les Nitrates, les valeurs sont comprises entre 0,12 et 0,95mgL^{-1} aux sites échantillonnés. Labeliane (LAB) a une moyenne de 0,95±0,45mgL^{-1} ; 0,51±0,24mgL^{-1} pour Kinindo (KIN) ; 0,44±0,21mgL^{-1} pour l'Ancien Cercle nautique (ACN) et 0,12±0,11mgL^{-1} pour Safi Beach (SB) avec une moyenne de 0,51±0,34mgL^{-1} sur l'ensemble des sites échantillonnés (Tableau.9 et Figure.8 (J)). La teneur moyenne en phosphates est comprise entre 0,62 et 1,79mgL^{-1}. Labeliane(LAB) a une valeur moyenne de 1,79±0,21mgL^{-1} ; 1,19±0,43mgL^{-1} à Kinindo (KIN) ; 0,62±0,19mgL^{-1} à l'Ancien Cercle Nautique (ACN) et 0,64±0,43mgL^{-1} à Safi Beach (SB), avec une moyenne de 1,06±0,55mgL^{-1} sur l'ensemble des sites échantillonnés (Tableau.6 et Figure.8 (G)).

Pour le phosphore total (Pt), les valeurs moyennes oscillent entre 0,71 et 2,11mgL^{-1} aux sites échantillonnés avec une valeur moyenne totale pour tous les sites de 1,19±0,65mgL^{-1}. La valeur moyenne enregistrée à Labeliane (LAB) est de 2,11±0,33mgL^{-1} ; 1,19±0,43mgL^{-1} à Kinindo (KIN) ; 0,71±0,26mgL^{-1} à l'Ancien Cercle Nautique (ACN) et 0,77±0,25mgL^{-1} à Safi Beach (SB) (Tableau.6 et Figure.8 (H)).

La teneur en chlorophylle-a (Chl-a) sur l'ensemble des sites échantillonnés est comprise entre 0,006 et 0,173mgL^{-1} avec une valeur moyenne de 0,051±0,081mgL^{-1}.

La valeur moyenne enregistrée à Labeliane (LAB) est de 0,172±0,232mgL^{-1} ; 0,015±0,016mgL-1 à Kinindo (KIN) ; 0,005±0,007mgL^{-1} à l'Ancien Cercle Nautique (ACN) et 0,011±0,007mgL^{-1} à Safi Beach (SB) Le tableau 8 indique les valeurs des statistiques descriptives pour l'ensemble des sites faisant objet de la présente étude.

Tableau 8 : Statistiques descriptives pour l'ensemble des sites

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Potentiel d'Hydrogène	7,825	8,800	8,244	0,496
Température	26,625	28,150	27,288	0,675
Conductivité Electrique	480,250	572,000	513,438	40,352
Solides Dissous Totaux	255,000	305,500	272,375	22,666
Oxygène Dissous	2,158	7,195	5,708	2,403
Transparence	0,390	1,215	0,659	0,375
Turbidité	6,965	26,880	12,271	9,748
phosphates	0,628	1,793	1,065	0,552
Phosphore Total	0,710	2,118	1,198	0,650
Nitrates	0,128	0,958	0,513	0,342
Demande Chimique en Oxygène	323,750	434,750	367,875	47,434
Demande Biochimique en Oxygène	13,750	28,250	20,188	6,036
Chlorophylle a	0,006	0,173	0,051	0,081

Les valeurs considérées comme normales sont des valeurs de P^H, de température, Conductivité Electrique, Solides Dissous Totaux, Oxygène Dissous et de phosphore total puisqu'elles respectent les normes standards. Les valeurs qui sont dans les limites acceptables sont celles de Nitrates et Demande Biochimique en Oxygène. Les valeurs qui sont alarmantes sont celles de Chlorophylle a et de demande Chimique en Oxygène car elles sont éloignées des valeurs standards (Tab.3 et 8).

La figure 7 montre la variation spatiotemporelle de Potentiel d'hydrogène, Température, Solides totaux dissous et la conductivité Electrique sur tous les sites échantillonnés.

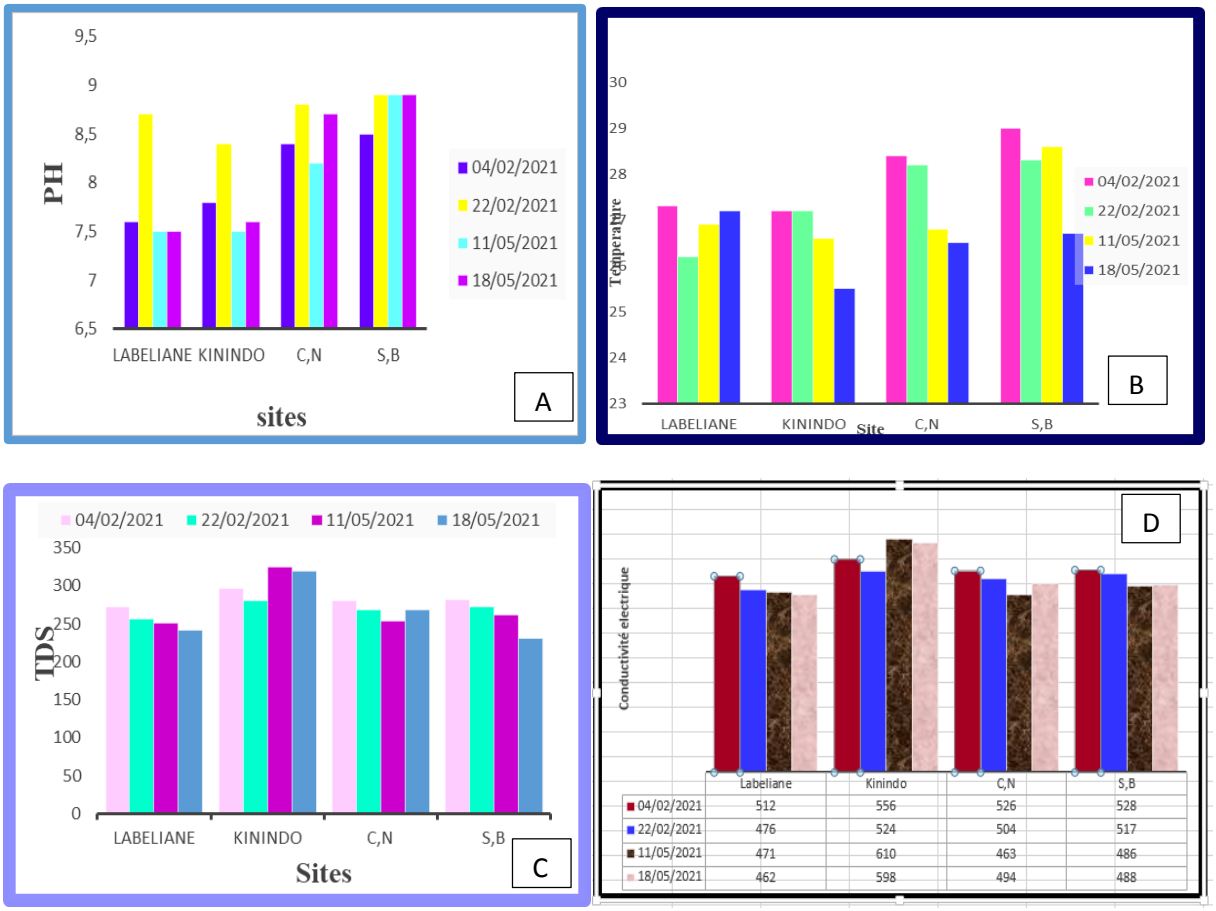
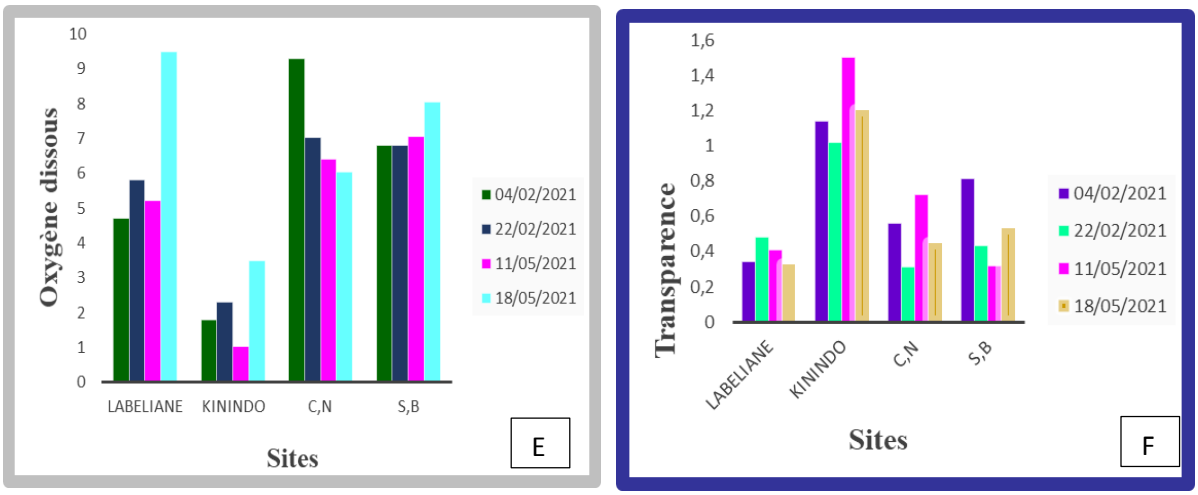


Figure 7: **Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques : (A) : Potentiel d'hydrogène ; (B) : Température ; (C) : TDS ; (D) : Conductivité Electrique**

La figure 8 quant à elle montre la variation spatiotemporelle de : Oxygène dissous, Transparence, Phosphates, Phosphore total, Turbidité et Nitrates sur les sites échantillonnés.



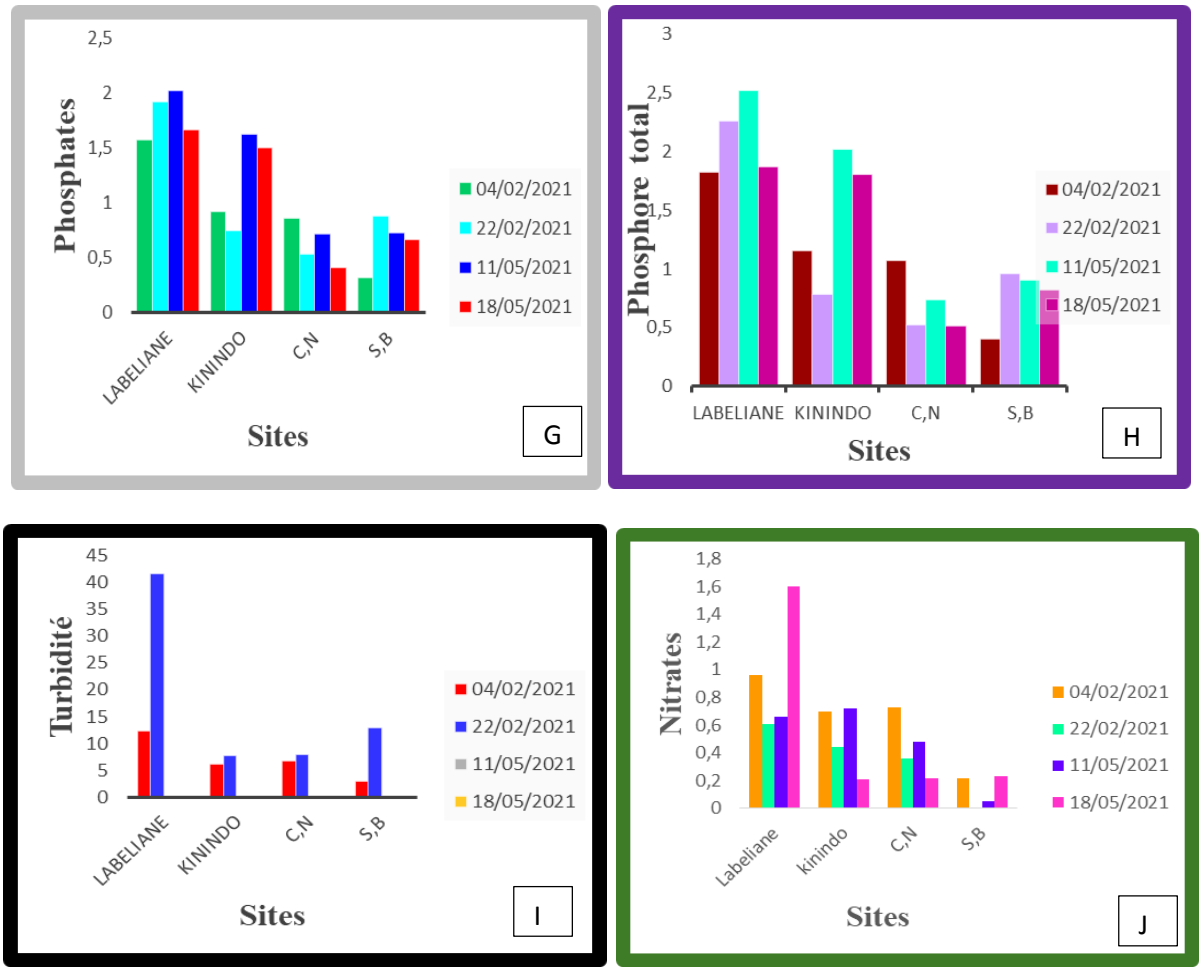


Figure 8 : **Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (suite) : (E) : Oxygène dissous ; (F) : Transparence ; (G) : Phosphates ; (H) : Phosphore total ; (I) : Turbidité ; (J) : Nitrates.**

La figure 9 indique la variation spatiotemporelle de Demande Chimique en Oxygène (DCO), et la Demande Biochimique en Oxygène dans tous les sites qui ont fait l'objet de l'étude.

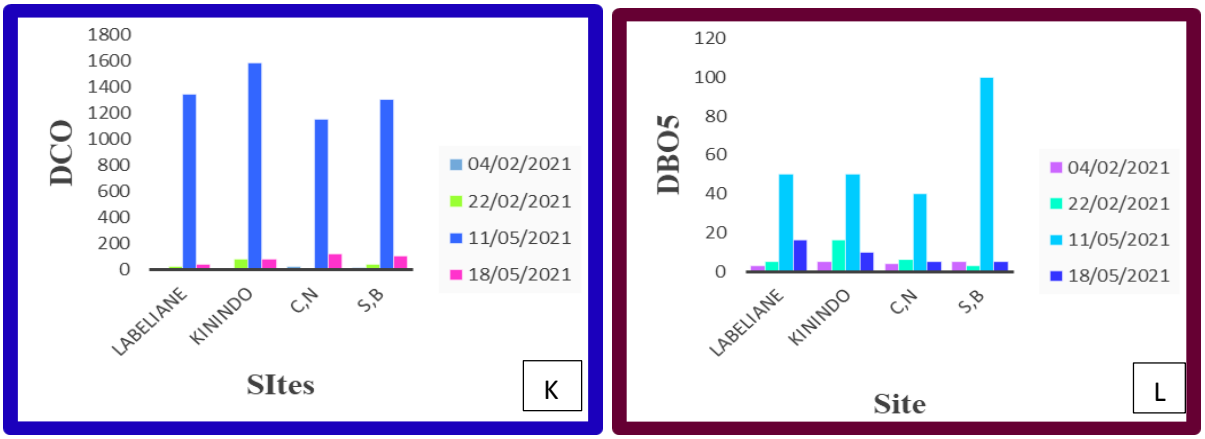


Figure 9 : **Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (suite) : (K) : Demande chimique en oxygène (DCO) ; (L) : Demande Biochimique en oxygène (DBO).**

La figure 10 montre la variation spatiotemporelle de la Chlorophylle-a dans tous les sites qui ont fait l'objet du présent travail.

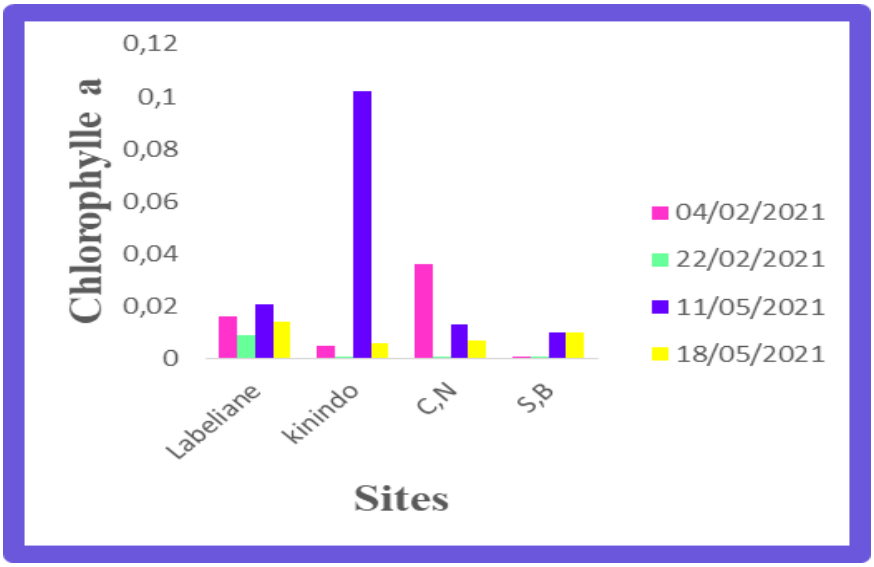


Figure 10 : **Variation spatiotemporelle de chlorophylle-a**

Le pic observé en date du 11/5/2021 est dû au commencement de la petite saison sèche. Sauf la turbidité, la concentration de presque tous les paramètres a augmenté.

Les plantes et les algues sont vertes suite au pigment que contient la chlorophylle-a. Ce pigment permet les plantes et les algues de faire la photosynthèse en utilisant l'énergie du soleil pour la fabrication de matières organiques à partir de la matière minérale suivant cette réaction: **Énergie lumineuse + $6CO_2$ + $6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6$ + $6O_2$.**

Selon la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE, 1994), la concentration de Chlorophylle a dans l'eau doit être inférieure à 0, 0025mgL^{-1}. Dans la présente étude, la valeur de la chlorophylle-a varie de 0,006 à 0,173mgL^{-1}(Tableau 9).

La concentration moyenne pour tous les sites est de 0,051mgL^{-1}. Les valeurs obtenues étaient supérieures aux normes piscicoles rapportées par l'UNECE (1994). Cette nette différence des résultats justifie l'augmentation de l'état trophique du lac Tanganyika.

III. 1.4. Corrélation (r) entre variables physico-chimiques

Le tableau 9 montre l'interaction entre les variables physico-chimiques qui est déterminée par le coefficient de corrélation (r) entre tous les paramètres.

Tableau 9 : Coefficients de corrélation entre variables physico-chimiques

Variables	pH	T^0	CE	TDS	OD	Tr.	Turb.	Phosp.	PT	Nitrates	DCO	DBO5	Chl a
PH	1												
T^0	0,967*	1											
CE	-0,335	-0,447	1										
TDS	-0,415	-0,555	0,981**	1									
OD	0,691	0,754	-0,911*	-0,925*	1								
Tr.	-0,426	-0,539	0,994**	0,992**	-0,945*	1							
Turb.	-0,530	-0,344	-0,572	-0,541	0,195	-0,506	1						
Phosph.	-0,871	-0,726	-0,084	-0,044	-0,326	-0,001	0,863	1					
PT	-0,784	-0,619	-0,239	-0,205	-0,171	-0,161	0,933*	0,987**	1				
Nitrates	-0,827	-0,751	-0,243	-0,132	-0,169	-0,142	0,846	0,909*	0,909*	1			
DCO	-0,511	-0,525	0,919*	0,865	-0,939*	0,921*	-0,263	0,224	0,083	-0,051	1		
DBO5	0,373	0,520	0,133	-0,061	0,024	0,051	-0,157	-0,179	-0,158	-0,555	0,319	1	
Chl a	-0,585	-0,401	-0,514	-0,482	0,127	-0,445	0,998**	0,896	0,956*	0,868	-0,200	-0,160	1

**La corrélation est significative au niveau de 0,01

*La corrélation est significative au niveau de 0,05

- Chacun des paramètres est parfaitement et positivement corrélé à lui-même (r =1, p<0,01).
- Une corrélation positive significative et forte au niveau de 1% est établie entre : Transparence et Conductivité Electrique (r = 0.994, p<0.01), Transparence et TDS (r = 0,992, p < 0,01), Chlorophylle a et Turbidité (r = 0.998, p<0.01), Phosphore total et Phosphates (r = 0.987, p<0.01), TDS et Conductivité Electrique (r = 0.981, p<0,01).

- Une corrélation positive significative et forte au niveau de 5% est observée entre : Température et potentiel d'hydrogène (r = 0.967, p<0,05), phosphore total et Turbidité (r=0.933, p<0.05), Nitrates et phosphates (r = 0,909, p<0,05), Nitrates et phosphore total (r = 0.909, p<0.05), Demande chimique en Oxygène et Turbidité (r = 0.921, p<0,05), Demande chimique en oxygène et Conductivité Electrique (r = 0,919, p<0,05), Phosphore total et Chlorophylle a (r = 0.956, p<0.05).
- Au niveau de 5 %, l'oxygène dissous montre une forte corrélation négative avec le TDS, (r = −0.925, p<0,05), Turbidité (r = −0,945, p<0,05), Conductivité Electrique (r = −0.911, p<0,05) et la Demande Chimique en Oxygène (r = -0. 939, p<0,05).

En effet, la corrélation positive entre deux variables signifie que l'augmentation de la valeur de l'une entraine l'augmentation de la valeur de l'autre. Pour la corrélation négative, l'augmentation de la valeur de l'une entraine la diminution de la valeur de l'autre.

III.1.5. Effet de la concentration des variables physico-chimiques de l'eau sur l'abondance des macrophytes

Pour vérifier le lien établi entre la qualité de l'eau et l'abondance des espèces des macrophytes, l'analyse de corrélation de Pearson a été effectuée. Les résultats du tableau 11 montre que la quantité d'espèces de macrophytes est négativement corrélée à quatre paramètres et positivement corrélée à neuf paramètres; avec une corrélation forte et faible.

Tableau 10 : Corrélation entre l'abondance des espèces des macrophytes et les variables physico-chimiques

Paramètres	**Coefficient de Corrélation (r)**	**p-value**
1. Turbidité	**0,530**	0,035
2. Température	**-0,581**	0,018
3. Transparence	0,208	0,440
4. PH	**-0,748**	0,001
5. Conductivité Electrique	0,149	0,583
6. TDS	0,152	0,575
7. Phosphore Total	**0,849**	0,000
8. Phosphates	**0,864**	0,000
9. Nitrates	**0,667**	0,005
10. Oxygène Dissous	-0,457	0,075
11. Demande Chimique en Oxygène	0,030	0,912
12. Demande Biochimique en Oxygène	-0,041	0,880
13. Chlorophylle a	0,438	0,090

Le tableau 10 ci-dessus, indique clairement que certaines variables physico-chimiques influencent l'abondance et la distribution des espèces de macrophytes dans les sites d'échantillonnage.

En effet, il a été constaté que l'augmentation de la quantité d'espèces de macrophytes dans les sites d'échantillonnage est d'une part fortement liée aux fortes doses du phosphore total (r=0,849, p<0,01), des phosphates (r=0,864, p<0,01), des nitrates (r=0,666, p<0,01) et de la turbidité (r = 0,530, p<0,05) et d'autre part fortement liée à la baisse de la température(r=-0,581, p<0,05) et du Potentiel d'Hydrogène(r=--0,748, p<0,01), quantité d'espèces faiblement lié à la baisse de Transparence (r = 0,208), oxygène dissous (r=−0,457), demande chimique en oxygène (r = 0.030), demande biochimique en oxgène (r = − 0.041), Chlorophylle a (r = 0.438), Conductivité Electrique (r = 0.149), Solides Dissous Totaux (r = 0,152, p<0,05).

Enfin, une relation positive et négative très faible est établie entre la quantité d'espèces de macrophytes et la demande chimique en Oxygène (r = 0,030) et la Demande Biochimique en Oxygène (r = − 0,041) respectivement, ce qui montre que ces deux paramètres n'ont presque aucune influence sur l'abondance des espèces de macrophytes dans les stations d'échantillonnage.

III.1.6. Influence du milieu d'échantillonnage sur la variation des paramètres physico-chimiques

L'analyse de variance à un facteur (ANOVA-1) au niveau de 5 % a été réalisée pour évaluer l'effet des sites d'échantillonnage sur la variation des valeurs des paramètres physico-chimiques. Les résultats de l'ANOVA-I présentés dans le tableau 12 indiquent que l'influence des stations d'échantillonnage sur la variation des paramètres limnologiques est:

- **Très hautement significative (p<0,001**) pour les phosphates et la transparence (p = 0,000).
- **Très significative (0,001≤p<0,01)** pour le Potentiel d'Hydrogène (p=0,008), la Conductivité Electrique (p=0,004), les Solides Dissous Totaux (p=0,006), le Phosphore Total (p=0,001) et l'Oxygène dissous (p=0,001).
- **Significative (0.01≤p≤0.05) pour les nitrates (p=**0,011**) et** la Turbidité (p=0,021).
- **Non significative (p>0.05) pour la** Température (p=0,128), la Demande Chimique en Oxygène (p=0,996), la Demande Biochimique en Oxygène (p=0,916) **et la** Chlorophylle-a (p=0,179). Cela signifie que les variations de concentration de ces paramètres ne sont pas influencées par les lieux d'échantillonnage.

Le tableau 11 indiquent s'il y a ou pas les différences dans les moyennes entre les sites d'échantillonnage pour une variable.

Tableau 11 : ANOVA à un facteur pour évaluer l'effet des sites d'échantillonnage sur la variation des paramètres physico-chimiques.

Variables	Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	p-Value
Turbidité	Variance entre les sites	1138,711	3	379,570	4,720*	0,021
	Variance résiduelle	965,100	12	80,425		
	Variance totale	2103,811	15			
Température	Variance entre les sites	14,035	3	4,678	2,315^{NS}	0,128
	Variance résiduelle	24,255	12	2,021		
	Variance totale	38,290	15			
Transparence	Variance entre les sites	1,689	3	0,563	18,657***	0,000
	Variance résiduelle	0,362	12	0,030		
	Variance totale	2,051	15			
Potentiel d'Hydrogène	Variance entre les sites	2,957	3	0,986	6,350**	0,008
	Variance résiduelle	1,863	12	0,155		
	Variance totale	4,819	15			
Conductivité Electrique	Variance entre les sites	20038,500	3	6679,500	7,448**	0,004
	Variance résiduelle	10761,500	12	896,792		
	Variance totale	30800,000	15			
Solides Dissous Totaux	Variance entre les sites	6164,750	3	2054,917	6,765**	0,006
	Variance résiduelle	3645,000	12	303,750		
	Variance totale	9809,750	15			
Phosphore Total	Variance entre les sites	5,287	3	1,762	12,341**	0,001
	Variance résiduelle	1,714	12	0,143		
	Variance totale	7,001	15			
Phosphates	Variance entre les sites	3,656	3	1,219	14,987***	0,000
	Variance résiduelle	0,976	12	0,081		
	Variance totale	4,632	15			
Nitrates	Variance entre les sites	1,402	3	0,467	5,745*	0,011
	Variance résiduelle	0,976	12	0,081		
	Variance totale	2,378	15			
Oxygène dissous	Variance entre les sites	73,783	3	24,594	11,477**	0,001
	Variance résiduelle	25,714	12	2,143		
	Variance totale	99,497	15			
Demande Chimique en Oxygène	Variance entre les sites	27000,250	3	9000,083	0,021^{NS}	0,996
	Variance résiduelle	5152757,500	12	429396,458		
	Variance totale	5179757,750	15			
Demande Biochimique en Oxygène	Variance entre les sites	437,188	3	145,729	0,167^{NS}	0,916
	Variance résiduelle	10449,250	12	870,771		
	Variance totale	10886,438	15			
Chlorophylle a	Variance entre les sites	0,079	3	0,026	1,929^{NS}	0,179
	Variance résiduelle	0,163	12	0,014		
	Total	0,242	15			

SCE : Somme des Carrés des Ecarts, DDL : Degrés de Liberté, CM : Carrés Moyens, Test F : Test de student et P-Value : Probabilité.

Remarque:

*****:** Très hautement significatif si la valeur de probabilité est inférieure à 0,001 ($p<0,001$).

****:** Très significatif si la valeur de la probabilité est comprise entre 0,001 et 0,01 exclu ($0,001 \leq P < 0,01$).

*** :** Significatif si la valeur de probabilité est comprise entre 0,01 et 0,05 ($0,01 \leq p \leq 0,05$).

NS : Non significatif si la valeur de probabilité est supérieure à 0,05 ($p>0,05$).

En effet, les résultats de l'ANOVA-1 indiquent seulement s'il existe ou non des différences de moyennes entre les stations d'échantillonnage pour une variable donnée, dans le cas où la différence est détectée, l'ANOVA-1 ne montre pas exactement où se trouve la différence.

Pour vérifier où réside cette différence, le test de comparaison multiple DHS (Différence Honnêtement significative) de Tukey a été effectué pour vérifier les différences des valeurs moyennes par paires des variables physico-chimiques entre les stations d'échantillonnage et les résultats présentés dans le tableau 13 montrent que la différence est :

Très hautement significative ($p<0,001$) : (i) pour la transparence entre Labeliane et Kinindo, Kinindo et Ancien Cercle Nautique ; (ii) pour les phosphates entre Labeliane et Ancien Cercle Nautique.

Hautement significative ($0,001 \leq p < 0,01$) : (i) pour la transparence entre Kinindo et Safi Beach (p=0,001) ; (ii) pour Conductivité Electrique entre Labeliane et Kinindo (p=0,005) ; (iii) pour phosphore total entre Labeliane et Ancien Cercle Nautique (p=0,001), Labeliane et Safi Beach (p=0,001) ; (iv) pour les phosphates entre Labeliane et Safi Beach (p=0,001); (iv) pour les nitrates entre Labeliane et Safi Beach (p=0,007); (v) pour l'oxygène dissous entre Labeliane et Kinindo (p=0,006), Kinindo et Ancien Cercle Nautique (p=0,001), Kinindo et Safi Beach (p=0,002) ; (v) pour les Solides Dissous Totaux entre Labeliane et Kinindo (p=0,007).

Significative ($0,01 \leq p \leq 0,05$) : (i) pour la turbidité entre Labeliane et Kinindo (p=0,037), Labeliane et Ancien Cercle Nautique (p=0,041) ainsi que Labeliane et Safi Beach (p=0,049) ; (ii) pour le potentiel d'hydrogène entre Labeliane et Safi Beach (p=0,02), Kinindo et Safi Beach (p=0,02) ; (iii) pour la Conductivité Electrique entre Kinindo et Ancien Cercle Nautique (p=0,018), Kinindo et Safi Beach (p=0,022) ; (iv) pour les Solides Dissous Totaux entre Kinindo et Ancien Cercle Nautique (p=0,041) , Kinindo et Safi Beach (p=0,017) ; (v) pour les Phosphates entre Labeliane et Kinindo (p=0,05).

Tableau 12 : Test de comparaison multiple HSD de Tukey pour les différences des valeurs moyennes par paires des variables physico-chimiques entre les stations d'échantillonnage.

Variable dépendante	**Site d'étude(I)**	**Site d'étude(J)**	**Différence de moyennes (I-J)**	**p-value**
Turbidité	Labeliane	Kinindo	19,915000*****	0,037
		Ancien Cercle Nautique	19,595000*****	0,041
		Safi Beach	18,880000*****	0,049
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	-0,32^{NS}	1
		Safi Beach	-1,035^{NS}	0,998
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,715^{NS}	0,999
Température	Labeliane	Kinindo	-0,975^{NS}	0,769
		Ancien Cercle Nautique	-1,825^{NS}	0,313
		Safi Beach	-2,5^{NS}	0,113
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	-0,85^{NS}	0,832
		Safi Beach	-1,525^{NS}	0,458
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,675^{NS}	0,906
Transparence	Labeliane	Kinindo	-,82500*******	0,000
		Ancien Cercle Nautique	-0,12^{NS}	0,765
		Safi Beach	-0,1325^{NS}	0,708
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	,70500*******	0,000
		Safi Beach	,69250******	0,001
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,0125^{NS}	1
pH	Labeliane	Kinindo	0^{NS}	1
		Ancien Cercle Nautique	-0,7^{NS}	0,108
		Safi Beach	-,97500*****	0,02
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	-0,7^{NS}	0,108
		Safi Beach	-,97500*****	0,02
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,275^{NS}	0,759
Conductivité Electrique	Labeliane	Kinindo	-91,75000******	0,005
		Ancien Cercle Nautique	-16,5^{NS}	0,862
		Safi Beach	-18,75^{NS}	0,812
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	75,25000*****	0,018
		Safi Beach	73,00000*****	0,022
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-2,25^{NS}	1
TDS	Labeliane	Kinindo	-50,500000******	0,007
		Ancien Cercle Nautique	-12,5^{NS}	0,744
		Safi Beach	-6,5	0,951
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	38,000000*****	0,041
		Safi Beach	44,000000*****	0,017
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	6^{NS}	0,961
Phosphore total	Labeliane	Kinindo	0,68^{NS}	0,103
		Ancien Cercle Nautique	1,407500******	0,001

		Safi Beach	1,360000**	0,001
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	0,7275^{NS}	0,076
		Safi Beach	0,68^{NS}	0,103
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,0475^{NS}	0,998
Phosphates	Labeliane	Kinindo	0,5975*	0,05
		Ancien Cercle Nautique	1,16500***	0,000
		Safi Beach	1,14750**	0,001
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	0,5675^{NS}	0,065
		Safi Beach	0,55^{NS}	0,076
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,0175^{NS}	1
Nitrates	Labeliane	Kinindo	0,44^{NS}	0,183
		Ancien Cercle Nautique	0,51^{NS}	0,105
		Safi Beach	0,83000**	0,007
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	0,07^{NS}	0,985
		Safi Beach	0,39^{NS}	0,265
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	0,32^{NS}	0,421
Oxygène dissous	Labeliane	Kinindo	4,29750**	0,006
		Ancien Cercle Nautique	-0,895^{NS}	0,823
		Safi Beach	-0,8775^{NS}	0,831
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	-5,19250**	0,001
		Safi Beach	-5,17500**	0,002
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	0,0175^{NS}	1
Demande Chimique en Oxygène	Labeliane	Kinindo	-84,25^{NS}	0,998
		Ancien Cercle Nautique	26,75^{NS}	1
		Safi Beach	-12^{NS}	1
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	111^{NS}	0,995
		Safi Beach	72,25^{NS}	0,999
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-38,75^{NS}	1
Demande Biochimique en Oxygène	Labeliane	Kinindo	-1,75^{NS}	1
		Ancien Cercle Nautique	4,75^{NS}	0,996
		Safi Beach	-9,75^{NS}	0,965
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	6,5^{NS}	0,989
		Safi Beach	-8^{NS}	0,98
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-14,5^{NS}	0,897
Chlorophyll a	Labeliane	Kinindo	0,1575^{NS}	0,274
		Ancien Cercle Nautique	0,16675^{NS}	0,233
		Safi Beach	0,161^{NS}	0,258
	Kinindo	Ancien Cercle Nautique	0,00925^{NS}	0,999
		Safi Beach	0,0035^{NS}	1
	Ancien Cercle Nautique	Safi Beach	-0,00575^{NS}	1

En plus de ce qui précède, la comparaison des valeurs moyennes des variables physico-chimiques en utilisant le Test DHS de Tukey au seuil de 5% classent les 4 stations d'échantillonnage en 2sous-ensembles homogènes de moyennes : A et B (tableau 14).

En effet, pour des paramètres comme : Demande Chimique en Oxygène, Demande Biochimique en Oxygène, Chlorophylle-a et Température, la méthode DHS de Tukey regroupe tous les sites d'échantillonnage dans le même et unique sous-ensemble homogène de moyennes (A). Cela signifie que les sites d'échantillonnage n'ont pas d'influence sur la variation des variables limnologiques évoquées car les valeurs moyennes ne sont pas significativement différentes ($p>0,05$).

D'autre part, des sous-ensembles homogènes dont les moyennes se chevauchent (AB) ont été observés pour le Potentiel d'hydrogène à l'Ancien Cercle Nautique, les phosphates à Kinindo, les Nitrates à Kinindo et à l'Ancien Cercle Nautique. Le chevauchement de A et B signifie que A et B sont égaux (A = B). Ainsi donc, pour une variable limnologique donnée, les moyennes correspondant aux 4 stations d'échantillonnage et appartenant aux mêmes sous-ensembles homogènes des moyennes (A ou B) ne divergent pas significativement. De plus (sauf pour le cas du chevauchement), les moyennes appartenant aux sous-ensembles différents sont significativement différentes, car A et B sont différents.

Tableau 13 : HSD de Tukey montrant des sous-ensembles homogènes pour les valeurs moyennes des variables physico-chimiques aux stations d'échantillonnage.

Variable dépendante	**Sites d'échantillonnage**	**Moyennes de groupes dans les sous-ensembles homogènes pour Alpha=0.05**		**Sous-ensembles homogènes**
		1(A)	2(B)	
Turbidité	Kinindo	6,96500		A
	Ancien Cercle Nautique	7,28500		A
	Safi Beach	8,00000		A
	Labeliane		26,88000	B
Température	Labeliane	25,6500		A
	Kinindo	26,6250		A
	Ancien Cercle Nautique	27,4750		A
	Safi Beach	28,1500		A
Transparence	Labeliane	0,3900		A
	Ancien Cercle Nautique	0,5100		A
	Safi Beach	0,5225		A
	Kinindo		1,2150	B
pH	Labeliane	7,8250		A
	Kinindo	7,8250		A
	Ancien Cercle Nautique	8,5250	8,5250	AB
	Safi Beach		8,8000	B
Conductivité Electrique	Labeliane	480,2500		A
	Ancien Cercle Nautique	496,7500		A
	Safi Beach	499,0000		A
	Kinindo		572,0000	B
TDS	Labeliane	255,00000		A
	Safi Beach	261,50000		A
	Ancien Cercle Nautique	267,50000		A
	Kinindo		305,50000	B
Phosphates	Ancien Cercle Nautique	0,6275		A
	Safi Beach	0,6450		A
	Kinindo	1,1950	1,1950	AB
	Labeliane		1,7925	B
Nitrates	Safi Beach	0,1275		A
	Ancien Cercle Nautique	0,4475	0,4475	AB
	Kinindo	0,5175	0,5175	AB
	Labeliane		0,9575	B
Oxygène	Kinindo	2,0025		A

Dissous	Labeliane		6,3000	B
	Safi Beach		7,1775	B
	Ancien Cercle Nautique		7,1950	B
DCO	Ancien Cercle Nautique	323,7500		A
	Labeliane	350,5000		A
	Safi Beach	362,5000		A
	Kinindo	434,7500		A
DBO	Ancien Cercle Nautique	13,7500		A
	Labeliane	18,5000		A
	Kinindo	20,2500		A
	Safi Beach	28,2500		A
Chlorophylle a	Ancien Cercle Nautique	0,00575		A
	Safi Beach	0,01150		A
	Kinindo	0,01500		A
	Labeliane	0,17250		A

III.1.7. Analyses en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est l'une des méthodes pour l'analyse et la visualisation des ensembles de données multidimensionnels constitués d'individus décrits par plusieurs variables quantitatives.

La figure 11 représente le cercle des corrélations entre les paramètres physico-chimiques où les vecteurs rouges représentent les paramètres étudiés.

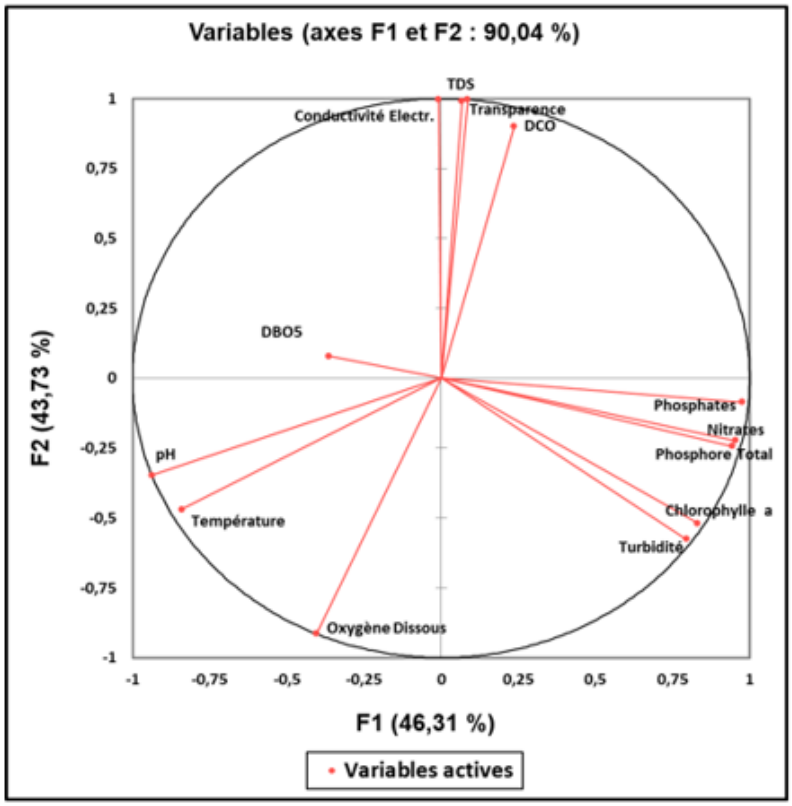


Figure 11 : **ACP-corrélation entre variables physico-chimiques** itivement corrélées. Les variables physico-chimiques formant les angles droit (&=90°) ne sont pas corrélées ou représentent une corrélation nulle, quant aux variables formant les angles obtus (90°<&<180°), elles sont négativement corrélées. En gros, plus l'angle est petit, plus il y a une forte corrélation entre variables.

La figure 12 représente le graphique biplote montrant à la fois les relations entre les variables physico-chimiques et montre comment les sites d'échantillonnage sont décrits par les variables physico-chimiques. Plus une variable est proche au point de la station d'échantillonnage, plus la concentration de cette variable est plus forte dans cette station.

Pour la présente étude par exemple, la valeur la plus élevée de l'oxygène dissous est enregistrée sur le site Ancien Cercle Nautique (ACN), alors que sa faible valeur est trouvée sur le site Kinindo. De même, les valeurs de Chla, Turbidité, Pt, Phosphates, Nitrates, sont plus élevées sur le site de Labeliane qu'à d'autres sites.

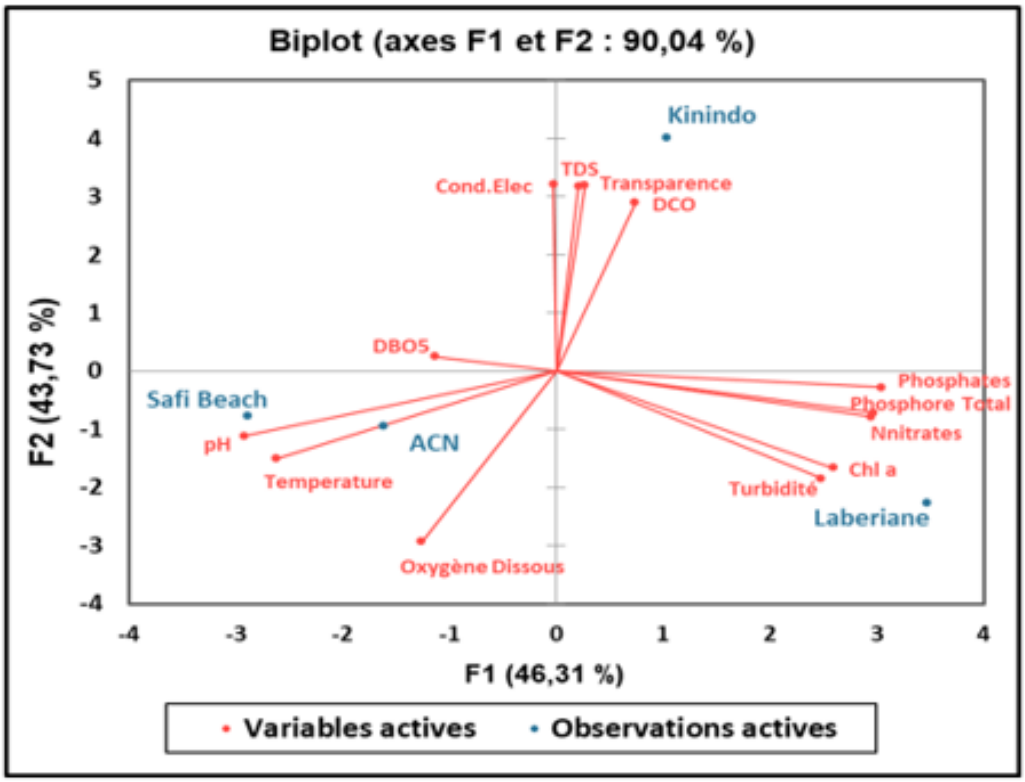


Figure 12 : **ACP-Relation entre sites et variables physico-chimiques.**

La figure 13 montre les liens de proximité entre les sites, les caractéristiques écologiques et les conditions du milieu.

En effet, les sites Ancien Cercle Nautique (ACN) et Safi Beach (SB), sont proches par rapport aux autres sites. Ils présentent presque les mêmes caractéristiques écologiques dans la mesure où ils enregistrent un effectif de macrophytes moins élevé par rapport aux autres sites. Quant aux conditions du milieu, l'Ancien Cercle Nautique et Safi Beach sont presque semblable. Cela est dû aux résultats des paramètres physico-chimiques trouvés, qui montrent que la majorité des paramètres physico-chimiques de ces deux sites présentent des valeurs très proches.

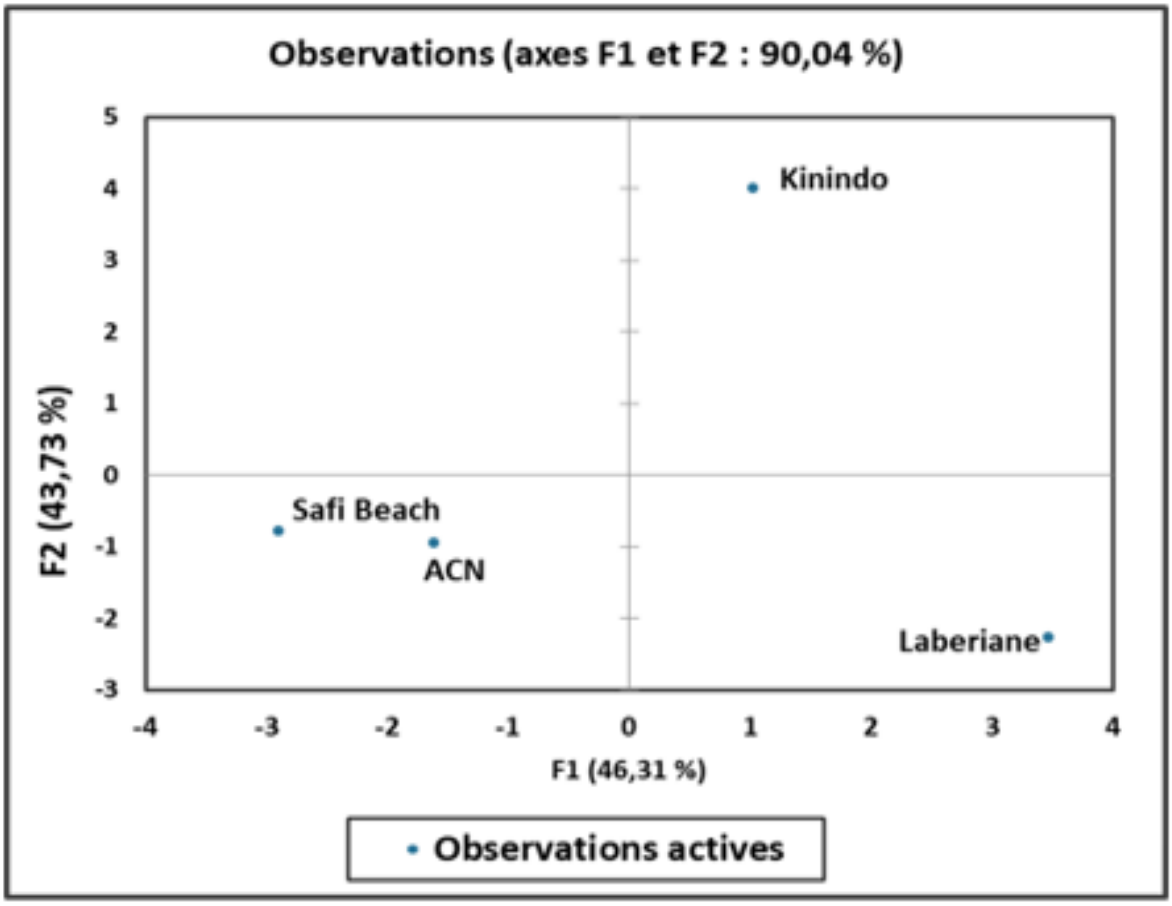


Figure 13 : **ACP-caractérisation des sites d'échantillonnages**

III.1.8. Analyse factorielle de Correspondance

Les espèces de macrophytes situées sur le côté droit **de l'axe verticale** (càd axe des Y ou F2) préfèrent principalement les sites de Labeliane, Ancien Cercle Nautique et Safi Beach comme sites favorables à leur croissance C'est le cas des espèces *Brachiaria* leersiides(BL), *Ludwigia glandulosa*(LG), *Sporobolus africanus*(SA), *Mariscus amauropus*(MA), *Cynodon nlmfuensis*(CN) présentes sur le site Labeliane ; *Paspalidium germinatum*(PG), *Cyperus articulatus*(CAL), *Commelina erecta*.L.(CEL), *Trigonous clumus*(TC) sur le site Ancien Cercle Nautique et *Argreia nervosa*(AN), *Strongylodon lucidus*(SL), *Phragmites mauritianus*(FM) sur le site Safi Beach (Figure 14). Quant au côté gauche **de l'axe vertical**, les espèces qui s'y trouvent préfèrent le site Kinindo. Ces dernières sont entre autre *Nymphoides pelata*(NPL), *Centella asiatica*(CA), *Pistia stratiotes*.L. (PSL) et *Eichornia* crasipes(EC) (Figure14).

La figure 14 montre la Relation écologique entre les Sites d'échantillonnages et les espèces de macrophytes.

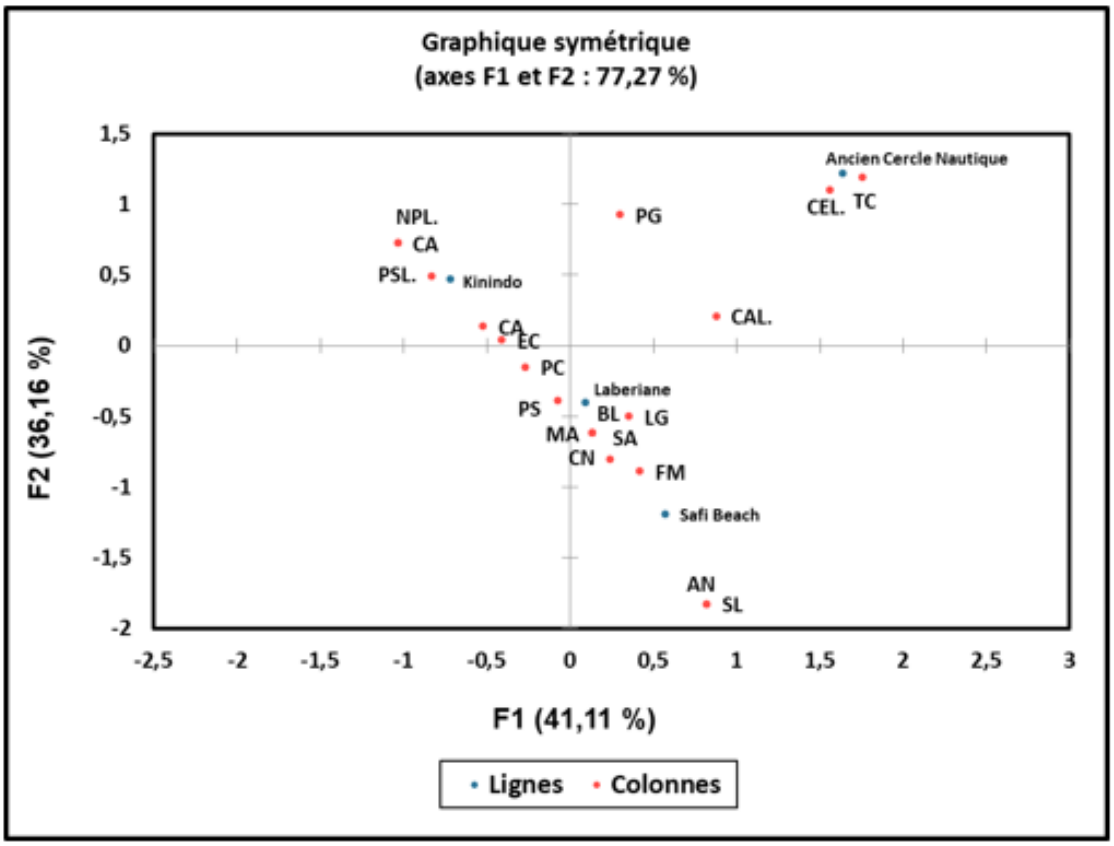


Figure 14 : **Analyse factorielle de Correspondance**

III.1.9. Analyse des corrélations Canoniques

La figure 15 montre la relation entre les facteurs environnementaux ou abiotiques (Paramètres physico-chimiques) et les facteurs Biotiques (les espèces de macrophytes). Elle montre donc comment les paramètres physico- chimiques influent sur la répartition et l'abondance des macrophytes

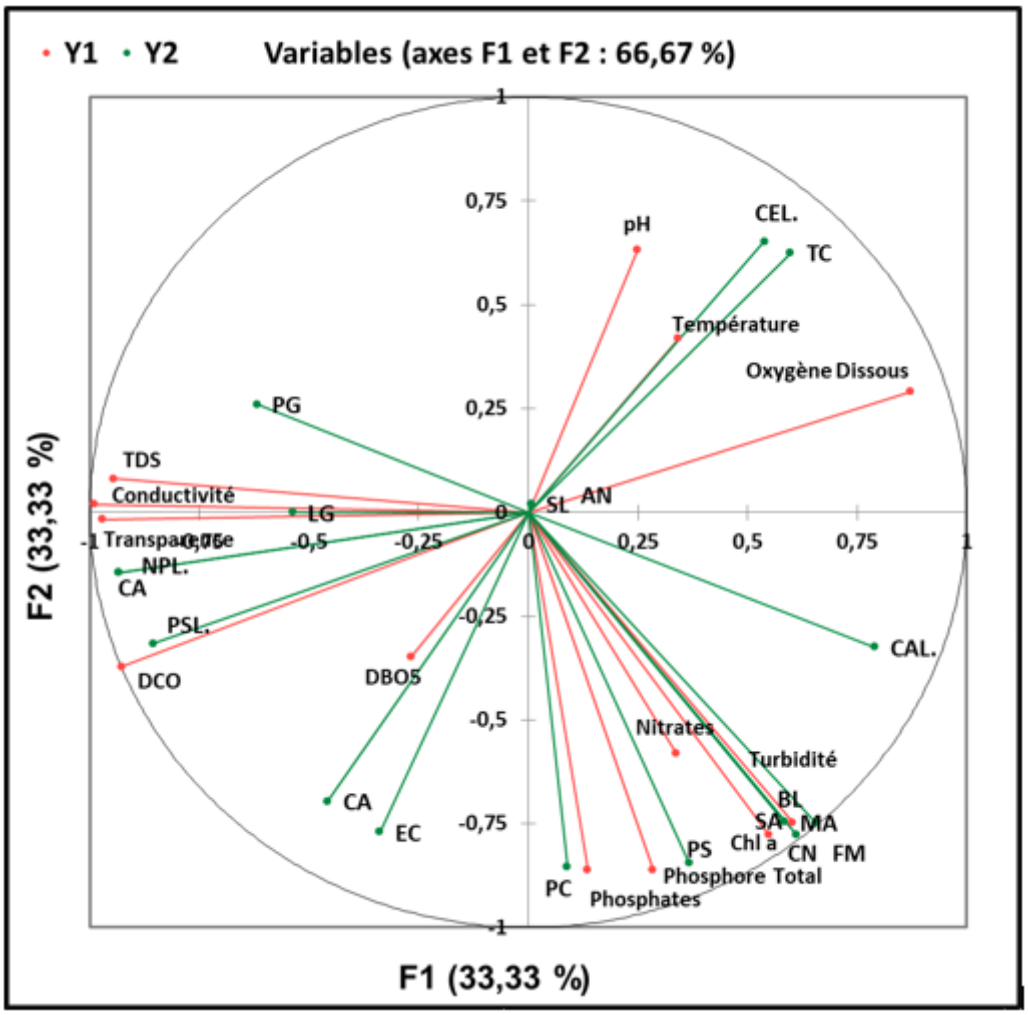


Figure 15 **: Analyse des corrélations Canoniques**

Les résultats de l'analyse des corrélations canoniques (ACorC) présentés sur la figure 15 montrent que l'abondance et la prolifération des espèces de Macrophytes sont affectées par la concentration des paramètres physico- chimiques. Ainsi par exemple :

- L'augmentation de la valeur du pH, de la Température et de l'Oxygène Dissous accélèrent la croissance ou le développement des espèces *Commelina erecta*.L.(CEL) et *Trigonous clums* (TC) alors que la DBO5 et la DCO inhibent la croissance de ces mêmes espèces.
- L'augmentation de la concentration des nitrates, des phosphates, du phosphore total, de la chlorophylle a et de la Turbidité de l'eau accélèrent la croissance des *Paspalum conjuatum(PC), Polygonum senegalense(PS), Mariscus amauropus(MA), Sporobolus africanus* (SA), *Cynodon nlmfuensis(CN), Phragmites mauritianus(FM), Brachiaria leersioides(BL) et des Cyperus articulatus*. L.(CAL.)

- La croissance des *Paspalidium germinatum* (PG), *Nymphoides pelata*.L.(NPL.), *Cyperus angolensis* (CA), *Ludwigia glandulosa* (LG), *Pistia stratiotes* L.(PSL.) et des *Eichhornia crassipes (EC)* est accélérée par l'augmentation des valeurs de la Conductivité électrique, des TDS, de la Transparence, de la DCO et de la DBO_5.

D'une manière globale, on peut admettre que les variables physicochimiques et les espèces de macrophytes situées dans le même quadrant du cercle trigonométrique sont corrélés positivement. Cela veut dire que ces variables physicochimiques se comportent comme des accélérateurs de croissance de ces espèces de macrophytes. Par conre, si les variables physico chimiques se situent dans un quadrant opposé à celui des espèces de macrophytes, cela signifie que ces variables physicochimiques agissent comme des inhibiteurs de croissance de ces espèces de macrophytes.

III.1.10. Détermination de l'état trophique de l'eau

Les paramètres pris en compte dans la détermination de l'Etat trophique sont : Le Phosphore Total (PT), la Chlorophylle a (Chl a) et la Transparence.

Le tableau 14 montre les résultats d'état trophique obtenus aux stations d'échantillonnage du lac Tanganyika en comparaison avec les Valeurs de l'Indice d'Etat Trophique de Carlson pour la classification des lacs.

Tableau 14 : Etat trophique aux stations d'études du lac Tanganyika.

Sites	**Transparence**		**Chlorophylle-a**		**Phosphore Total**		**IET de crlson**	**Etat Trophique**
	(m)	**IET**	**($\mu g.L^{-1}$)**	**IET**	**($\mu g.L^{-1}$)**	**IET**		
Lab	0,39	73,559	172,5	81,121	2117,5	116,43	90,364	Hypereutrophe
Kin	1,215	57,20	15	57,165	1195	106,615	73,66	Hypereutrophe
ACN	0,512	69,697	5	46,384	710	98,817	71,632	Hypereutrophe
SB	0,522	69,366	11	54,114	770	99,985	74,488	Hypereutrophe

Lab : Labeliane ; Kin : Kinindo ; ACN : Ancien Cercle Nautique ; SB : Safi Beach ;

IET : Indice d'Etat Trophique

III. 2. Discussion des résultats

III. 2.1. Paramètres physicochimiques

Potentiel d'hydrogène (pH) : Il indique l'intensité de l'acide ou de la base d'une solution à une température donnée et s'exprime par le logarithme négatif de la concentration en ions hydrogène ($pH = - \log [H^+]$). Elles sont dites acides, les valeurs du pH allant de 0 à 7, tandis que celles allant de 7 à 14 sont de plus en plus alcalins. Le pH est dit neutre quand il est égalé à 7. Selon (Boyd, 1979), la variation du pH de l'eau naturelle oscille entre 4,4 et 8,5 et le dioxyde de carbone qui est un gaz acide influence beaucoup dans cette variation. Dans la présente étude, les valeurs de pH oscillent entre 7,8 et 8,8 avec une moyenne de 8,2 ± 0,49 (Tableau 9). Cela montre que tous les sites étudiés sont alcalins. En comparant ces valeurs à celles trouvées par les autres chercheurs, nous remarquons qu'elles sont presque similaires à celles mesurées par : Lwikitcha (2012) allant de 7,3 à 8,9 et celle de Niyoyitungiye (2019) allant de 8,5 et 8,88, celles de Gordien (2020) allant de 8,3 à 9,11 ; 9,1 pour Bigirindavyi (1996), 8,73 ± 0,23 en surface (saison pluvieuse) pour Hakizimana (2006), 9,5 pour Mudosa (2009), 8,3 pour Mpawenayo (2008), 7,6 à 8,87 pour Nzungu (2017) et 9,3 pour Manirakiza (2011), 8,6 à 9,2 pour Coulter (1994). Selon Boyd, (1998) la majorité des espèces d'eaux douces préfèrent un pH allant de 6,5 à 9, mais la plupart des espèces marines ne tolèrent pas une large gamme de pH comme les espèces d'eau douces, donc le pH optimal se situe généralement entre 7,5 et 8,5 Au-dessous de pH 6,5, certaines espèces ont une croissance lente Lloyd (1992). Dans le cas de notre étude, le p^H trouvé explique la quantité insuffisante des macrophytes suite aux inondations qui déciment certaines espèces en croissance lente.

Température : Elle exprime le degré de chaud et du froid dans le corps de l'organisme tant terrestre qu'aquatique Lucinda et Martin, (1999). Selon Blanc, (2000). La température revêt une importance non négligeable dans la mesure où elle affecte et régit les activités de solubilité des gaz dans l'eau.

Le même auteur stipule que toute augmentation de la température dans l'eau diminue la concentration de gaz tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone et le sulfure (Blanc, 2000). Dans le présent travail, les valeurs de température enregistrées oscillaient entre 26,62 et 28,15C° avec une moyenne de 27,28±0,67C°. Ces valeurs sont proches de celles trouvées par Niyoyitungiye (2019) allant de 27,1C° à 29,8C°.

En considérant les données moyennes par site d'étude, les sites de Labeliane et de Kinindo ont une température proche de 27°C alors que les sites de l'Ancien Cercle Nautique et Safi Beach ont une température proche de 29°C.

Cette ressemblance des valeurs trouvées à Labeliane et à Kinindo, montre que les conditions atmosphériques qui y prévalent sont presque les mêmes. La petite différence de température enregistrée peut être due au réchauffement de l'eau de surface par rayonnements au moment du prélèvement et au mélange d'eau probablement par ondes internes résultant de mouvement de l'eau profonde vers la surface. Comparativement aux valeurs standards de variations physico-chimiques du lac, oscillant entre 25^0C – 30^0C FAO (2006), nos résultats sont dans les normes.

Conductivité électrique : Elle décrit le degré de minéralisation lié à la présence des substances minérales dissoutes dans l'eau, et exprime la capacité d'une solution aqueuse de transporter le courant électrique et cette aptitude dépend du nombre des ions présents dans l'eau (tels que Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, CO_3^-, NO_3^- et PO_4^-), leur concentration totale, leur mobilité, leur valence et leurs concentrations relatives Niyoyitungiye (2019). Plus il y a de sels dissous dans l'eau, plus la valeur de la conductivité électrique augment. Les résultats trouvés variaient de 480,250 à 572µScm^{-1} avec la moyenne de513,43±40,35µScm^{-1}. En comparant ces résultats à ceux des autres chercheurs, force est de constater qu'ils sont peu proches de ceux de Niyoyitungiye (2019) qui avait trouvé une valeur moyenne de 667,38±2,89µScm^{-1} et ceux de Plisinier et al. (1999) qui avaient trouvé une moyenne de 659µScm^{-1} à Bujumbura-Uvira, 654µScm^{-1} à Kigoma et 662 µScm^{-1} à Mpulungu. Quant à Ismaël et al. (2000), ils avaient trouvé des résultats allant de 670 à 681,5µScm^{-1} à la station de Kigoma. Cette différence pourrait être due à la remontée des eaux du lac Tanganyika au moment de l'échantillonnage qui a fortement diminuée la concentration des ions ci- haut mentionnés dans l'eau.

Les solides totaux dissous (TDS) : Ils jouent une grande importance dans le contrôle des déchets biologiques et physique. Les valeurs de TDS trouvées dans la présente étude variaient de 255 à 305,5mgL^{-1}. La valeur maximale a été enregistrée aux stations Kinindo et Ancien Cercle Nautique et la valeur minimale a été trouvée à la station de Labeliane. En moyenne, les valeurs élevées de TDS observées aux stations Kinindo et Ancien cercle Nautique témoignent l'augmentation de l'état nutritionnel de l'eau qui conduit à l'eutrophisation.

Les principales sources des TDS sont les eaux de montagne riche en argile, les eaux des stations d'épuration industrielles ou des eaux usées et ruissellement agricole.

Oxygène dissous (OD) : Ce paramètre détermine la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Ce dernier revêt une importance non négligeable dans la vie des organismes aquatiques Dhawan et Karu (2002). D'après Ramad (2009), l'insuffisance de l'oxygène dissous provoque la mortalité par asphyxie de certaines espèces aquatiques, la fuite des organismes intolérants et le développement de ceux résistants (bactéries). Selon le même auteur, la quantité insuffisante d'oxygène dissous dans un écosystème aquatique, provoque une production des gaz toxiques notamment le sulfure d'hydrogène et le méthane. Selon Mddefp (2013), les teneurs en oxygène dissous pour une eau de surface préconisée pour la protection de la vie aquatique ne devraient pas être inférieures à 5 mgL^{-1} pour une température de 25°C.

Les résultats enregistrés au cours du présent travail variaient de 2,15 à 7,19$mg.L^{-1}$ avec une moyenne de5,70±2,40$mg.L^{-1}$. Les valeurs minimales ont été enregistrées à Kinindo (2,15mgL^{-1}), tandis que les valeurs maximales ont été trouvées à l'Ancien Cercle Nautique (7,19mgL^{-1}) et à Safi Beach (7,17mgL^{-1}). Les valeurs minimales trouvées à kinindo sont dues à la prolifération *d'Eichhornia crassipes* une espèce végétale qui consomme beaucoup l'oxygène. Les résultats de cette étude sont presque semblables à ceux de Nduwayezu (2019) qui avait trouvé que l'oxygène dissous varie entre 0 et 7,3mgL^{-1} à l'embouchure.

La transparence : Elle sert à mesurer la profondeur de pénétration de la lumière dans l'eau. Elle varie en fonction de l'abondance des particules en suspension (argile, limon...) et phytoplancton Balvay(1985). Les résultats enregistrés au cours de cette étude oscillaient entre 0,39 et 1,21m, avec une moyenne de 0,65±0,37m. La valeur la plus élevée a été enregistrée sur le site de Kinindo et la valeur la plus faible sur Site de Labeliane. La plus faible transparence observée sur les sites Labeliane, Ancien Cercle Nautique et Safi Beach peut être attribuée à la remontée des eaux du lac Tanganyika avec des vents violents au moment du prélèvement, provoquant ainsi des turbulences qui remettent en suspension les sédiments et les particules.

Quant à l'eau claire observée à la station de Kinindo, elle est attribuée à la présence et à l'abondance *d'Eichhornia crassipes* considérée comme une plante épuratrice.

La turbidité : c'est la suspension des particules interférant avec le passage de la lumière dans l'eau. La turbidité élevée de l'eau peut diminuer la productivité des poissons car elle réduira pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui empêche la production d'oxygène par des plantes aquatiques.

La turbidité est mesurée en NTU. Lorsque NTU<5 : eau est incolore, 5<NTU<30 : l'eau est légèrement trouble, NTU>50 : l'eau est trouble. Les résultats de turbidité de notre travail variaient de 6,96 et 26,88NTU avec la moyenne de 12,27± 9,74NTU.

La valeur maximale a été enregistrée à la station de Labeliane et la valeur minimale a été enregistrée à la station de Kinindo. La turbidité la plus élevée enregistrée à la station de Labeliane s'explique par un afflux important de particules solides provenant du lessivage des sols du bassin versant Gonzalez et al (2004), rejets d'eaux usées du SAVONOR et de L'AFRITAN.

Nutriments (Nitrates, phosphore total) : l'azote et le phosphore sont des éléments vitaux nécessaires à la croissance des algues qui affectent fortement le processus d'eutrophisation des lacs. L'excès d'azote (N) cause l'eutrophisation des lacs en favorisant la prolifération des algues (Nie et al. 2016). Quant au phosphore, est un élément essentiel à la vie et un facteur limitant des nutriments dans les systèmes d'eau douce Niyoyitungiye (2019) in Elser J., (2012). Ces nutriments peuvent provoquer la croissance des plantes aquatiques nuisibles (macrophytes). Une concentration en phosphore total supérieure à 0,01mgL^{-1} et une concentration en azote supérieure à 0,15mgL^{-1} est à l'origine de la prolifération des algues l'USEPA (2000). Les résultats de la présente étude variaient de 0,71 et 2,11mgL^{-1} avec la moyenne de 1,19 ±0,65mgL^{-1} pour le phosphore total et 0,12 et 0,95mgL^{-1} avec la moyenne de 0,51 ±0,34mgL^{-1} pour les nitrates. La station de Labeliane a enregistré une valeur maximale tant pour le phosphore total que pour les nitrates. Cela est dû aux apports des eaux usées en provenance de SAVONOR et de L'AFRITAN qui se jettent en face du site Labeliane.

En comparant ces résultats à ceux trouvés par les autres, les résultats pour le phosphore total sont proches de celles trouvés par Niyoyitungiye (2019), allant de 0,11 à 1,17mgL^{-1} avec une moyenne de 1,21±0,45mgL^{-1}. Pour les nitrates, les résultats trouvés sont proches de celle de Gordien (2020), allant de 0,33 à 0,36mgL^{-1}.

Demande chimique en oxygène (DCO) et demande biochimique en oxygène (DBO) : Le taux élevé du DCO et du DBO provient dans des entrées excédentaires des eaux usées des ménages, des industries, du bétail, des cultures etc. Selon Clerk (1986), la DBO de 2 à 4 mgL^{-1} ne montre aucune pollution, tandis que les niveaux au-delà de $5mgL^{-1}$ sont révélateurs d'une pollution sévère. Les résultats de la présente étude variaient entre 323,75 et 434,75mgL^{-1} avec une moyenne de 367,87±47,43mgL^{-1} pour le DCO et 13,75 et 28,25mgL^{-1} avec une moyenne de 20,188±6,036mgL^{-1} pour la DBO.

Les valeurs trouvées dans tous les quatre sites sont inférieures à celle trouvée par Ndikumana et al., (2013) ; Nduwayezu (2019) et Niyoyitungiye (2020**).** Ces valeurs faibles pourraient être dues à la montée des eaux du lac Tanganyika qui aurait diluée les eaux usées provenant des rejets**.**

Etat trophique de l'eau aux différentes stations de prélèvement : Les résultats trouvés ont prouvé que les eaux des sites échantillonnés sont en état d'hypereutrophie. Ces sites échantillonnés sont menacés par des rejets urbains, agricoles et/ou industriels. Selon les auteurs Ansa-Assar et al., (2000) ; Kotak et al., (2000) ; Downing et al., (2001) ; Sondergaard et al., (2003) ; Li et al., (2009) et German et al., (2010) les activités anthropiques jouent un rôle non moins négligeable dans l'augmentation de la concentration des nutriments et surtout le phosphore. En effet, la déforestation, l'agriculture intensive et l'urbanisation sont reconnues comme les principaux facteurs contribuant à l'augmentation du phosphore et de l'azote dans les lacs Niyoyitungiye (2019) in Carignan et al., (2000) ; Prepas et al., (2001) et Quinlan et al., (1998) et dans la présente étude, ces mêmes facteurs (avec un accent particulier sur l'urbanisation) justifierait les niveaux élevés de phosphore à Labeliane et à kinindo. De plus, l'urbanisation entraîne une augmentation de la population provoquant à son tour une concentration d'eaux usées et les rejets de détergents Moss (1980) dans le milieu aquatique. Ce phénomène cause le déséquilibre des mécanismes naturels de recyclage des nutriments Sondergaard et al.,(2003) et conduit à l'eutrophisation et la prolifération des macrophytes.

III.2.2. Biomasse algale

Plusieurs recherches qui ont été faites ont prouvé que la chlorophylle a est un indicateur de la biomasse des algues microscopiques présentes dans le lac et l'augmentation de sa concentration dépend de l'augmentation de la concentration des nutriments et Quinlan et al., (1998).

Au cours du présent travail, les résultats trouvés ont montré que les sites Labeliane et Kinindo présentent des valeurs moyennes de concentration en chlorophylle a plus élevées par rapport aux autres sites (0,172mgL^{-1} pour Labeliane et 0,015mgL^{-1} pour Kinindo). L'augmentation de la biomasse algale sur ces sites est principalement liée à des apports élevés d'azote et de phosphore.

Ce phénomène d'augmentation de la biomasse algale peut entraîner des changements dans les assemblages de poissons et d'invertébrés et donc favoriser le développement d'espèces indésirables, comme les espèces tolérantes à la pollution, dont certaines peuvent être invasives Dodds (2006). Cela semble être le cas de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*).

III.2.3. Les macrophytes

Au cours de la présente étude 1288 individus de macrophytes appartenant à 11 familles et19 espèces ont été inventoriés dans toutes les stations d'études. En considérant le groupe systématique, les dicotylédones sont plus représentées avec 8familles. Ces résultats sont similaires aux résultats trouvés par Marius (2018). Au niveau du site Labeliane, un plus grand nombre d'individus a été trouvé, répartis en 7 familles et 15 espèces avec la dominance de *Eichhornia crassipes* qui comptait 65individus, suivi de *Phragmites maurtianus* avec 56 individus, *Cynodon nlmfuensis* 28 individus *et Brachiaria leersioides* 21 individus. Pour le site Kinindo, 228 individus ont été recensés. Ils sont répartis en 8 familles et en 10espèces avec la dominance *d'Eichhornia crassipes* comprenant à elle seule 68 individus, suivi de *Pistia stratiotes* avec 48 individus et *Nymphoides pelata* avec 32 individus. Quant à l'Ancien Cercle Nautique, le nombre total d'espèces recensé était de 66 individus répartis en 3 familles et en 7 espèces. L'espèce qui vient en premier lieu est la *commelina electa* avec 32 individus suivis par *Trigonous cluns* avec 8 individus et *Cyperus articulatus* comptant 6 individus. Pour le site Safi Beach, 58 individus ont été recensés. L'espèce qui vient en premier lieu est le *Phragmites mauritianus* avec 25 individus et *Cynodon nlmfuensis* avec 5 individus (Tableau.3). Sur ce site, l'effort d'échantillonnage a prouvé que si l'échantillonnage durait longtemps, on aurait la chance de trouver des autres espèces nouvelles.

L'abondance des macrophytes sur les sites Labeliane et Kinindo aurait été due à la forte concentration des nutriments principalement le phosphore et l'azote ainsi que l'augmentation de biomasse algale qui s'y est observée par rapport aux autres sites.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le présent travail est une contribution à la connaissance de l'influence de l'état trophique et des paramètres physicochimiques de l'eau sur l'abondance des macrophytes du littorale du lac Tanganyika. Malgré les moyens insuffisants, les mauvaises conditions d'échantillonnages suite à la montée des eaux du Lac Tanganyika et la seule saison d'échantillonnage, les résultats obtenus sur les quatre sites échantillonnés (Labeliane, Kinindo, Ancien Cercle Nautique et Safi Beach), ont montré que les paramètres physicochimiques et l'état trophique du lac Tanganyika influencent significativement l'abondance et la diversité des macrophytes. Toutefois, parmi les 12 paramètres physicochimiques analysés et la chlorophylle-a qui indique la biomasse algale, il a été constaté que :

L'azote et le phosphore qui sont des éléments vitaux nécessaires à la croissance des algues et qui affectent fortement les processus d'eutrophisation des lacs, présentent des concentrations différentes selon les sites. Ces nutriments peuvent provoquer la croissance des plantes aquatiques comme les macrophytes. Or dans la présente étude, des concentrations de 2,11mgL^{-1} pour le phosphore total est 0,95mgL^{-1} pour les nitrates pour le site Labeliane est 1,19mgL^{-1} de phosphore total contre 0,51mgL^{-1} de nitrates pour le site Kinindo ont été enregistrées. Ces deux sites présentent des valeurs de concentration en phosphore total et en Azote élevées par rapport aux autres sites, même si tous les sites présentent des valeurs supérieures aux normes de L'USEPA(2000). En général les valeurs trouvées dans la présente étude ont prouvé que les paramètres physicochimiques influencent l'abondance des macrophytes.

En ce qui concerne l'état trophique du lac, la concentration en phosphore total, en chlrophylle-a et les mesures de transparence ont été utilisées pour calculer l'indice de l'état trophique de tous les sites échantillonnés et les résultats sont les suivants :

Pour Labeliane la concentration en Phosphore total est de 2117,5µgL^{-1}, Chlorophylle-a 172,5µgL^{-1}, nitrates 0,95mgL^{-1} et audelà de 0,39m le disque de Secchi n'est pas visible. L'indice de l'état trophique y est de 90,36µgl^{-1}. Pour Kinindo, la concentration en Phosphore total est de 1195µgL^{-1}, Chl-a 15µgl^{-1}, nitrates 0,51mgL^{-1} et au- delà 1,21m le disque de Secchi n'est pas visible. L'indice de l'état trophique est de 73,66.

Pour l'Ancien Cercle Nautique la concentration en Phosphore total est de 710µgl^{-1}, Chlorophylle-a 5µgl^{-1}, nitrates 0,44mgl^{-1} et au-delà de 0,5m le disque de Secchi n'est pas visible.

L'indice de l'état trophique est de 71,63 et enfin à Safi Beach la concentration en Phosphore total est de 770µgl^{-}, Chlorophylle-a 11µgl^{-1}, les nitrates 0,12mgl^{-1} et au-delà de 0,52m, le disque de Secchi n'est pas visible. L'indice de l'état trophique est de 74,48. Ceci montre que la variation de l'indice d'état trophique varie non seulement en fonction de phosphore total et de chlorophylle a, mais également de la transparence de l'eau.

Les valeurs de l'indice d'état trophique de Carlson pour la classification des lacs montrent que lorsque les valeurs de l'indice d'état trophique dépassent 70, le lac est en état d'hypereutrophie. Donc, les résultats trouvés ont montré que les eaux aux stations échantillonnées sont en état d'hypereutrophie.

Cela est dû à l'augmentation de concentration du phosphore total et de l'azote suite aux rejets urbains, agricoles et/ou industriels qui conduit à l'eutrophisation et à la prolifération des macrophytes. En général, les résultats trouvés sur tous les sites qui ont été l'objet de notre étude, montrent que les paramètres physicochimiques et l'état trophique du lac influencent l'abondance des macrophytes.

En fin de compte, sachant que certains macrophytes sont envahissantes, la prolifération des macrophytes peut avoir des conséquences négatives sur les organismes aquatiques lorsque leur abondance dépasse un certain seuil raisons pour laquelle, nous émettons quelques recommandations :

- **Aux gouvernements des pays riverains ;**

- de surveiller régulièrement toutes les activités qui se font dans les villes frontalières et dans les bassins versants du lac Tanganyika de Bujumbura;
- de faire un système d'épuration des eaux usées provenant des ménages et des industries afin de diminuer la concentration en phosphore total et en azote qui conduisent à l'eutrophisation et à la prolifération des macrophytes ;
- de planter des arbres anti érosives sur les bassins versant afin de réduire les sédiments entrants dans le lac Tanganyika ;
- d'interdire la population riveraine de faire des rejets des eaux usées non traitées en provenance des industries et des ménages dans le lac Tanganyika ;

- de limiter les apports de nutriments aux masses d'eau, notamment l'approvisionnement de phosphore et de nitrates provenant du ruissellement, de l'érosion et du lessivage de terres agricoles fertilisées entraînant une augmentation du stock de nutriments dans les hydrosystèmes ;
- de faire un inventaire des principales sources de pollution par les nutriments dans le bassin versant; analyser les pratiques culturales (techniques de labour, utilisation de couverture végétale, type de sol...) afin de traiter le problème en amont ;
- d'élaborer une politique de domestication du Jacenthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) considérée comme une espèce envahissante du lac Tanganyika, afin qu'elle soit une plante épuratrice au lieu d'être envahissante ;
- de faire une gestion de certaines espèces de macrophytes (*phragmites mauritianus, Cyperus articulatus, Cyperus angolensis*) dont la population riveraine du lac Tanganyika utilise souvent pour des fins diverses.

➢ **Aux chercheurs en général et aux écologistes en particulier** ;

- de multiplier des recherches sur les macrophytes du littorale du lac Tanganyika ;
- d'accroitre les sites et la durée d'échantillonnage pour voir l'évolution spatiotemporelle des macrophytes du Lac Tanganyika.

➢ **A la population riveraine du lac Tanganyika ;**

- de faire une étroite collaboration avec les administratifs pour la mise en œuvre des recommandations ci- haut citées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Allison, E. H., Paley, R. G. T., Ntakimazi, G., Cowan, V. J., & West, K. (2000**). Évaluation et Conservation de Biodiversité dans le Lac Tanganyika : RAPPORT TECHNIQUE FINAL DE BIOSS Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (RAF / 92 / G32).
2. **Balvay G. (1985).** Structure et fonctionnement du réseau trophique dans les retenues artificielles. Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles. INRA, Paris. pp39-66.
3. **Barbe J. (1984).** « Les végétaux aquatiques. Données biologiques et écologiques. Clés de détermination des macrophytes de France », *Bull. Fr. Piscic.*, 1984, p.
4. **Bigirindavyi S. (1996).** Impact de la charge organique des collecteurs municipaux sur les eaux de la baie Nord-Est du lac Tanganyika. Mémoire de licence, Université du Burundi, Faculté des sciences, Bujumbura, 56p.
5. **Bizimana, M., & Duchafour, H. (1991).** A drainage basin management study: the case of the Ntahangwa River Basin. . Biodiversity Support Program, 43–45
6. **Boyd C.E. (1998).** Water Quality for Pond Aquaculture. Research and Development Series No.43. Alabama, International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, Alabama Agricultural Experiment, Station, Auburn University. 37pp
7. **Branchu, P., Bergonzini, L., Benedetti, M., Ambroisi, J. P., & Klerkx, J. (2012).** Sensibilité à la pollution métallique de deux grands lacs africains (Tanganyika et Malawi). Revue Des Sciences de l'eau, 18(2005), 161. https://doi.org/10.7202/705582.
8. **Buhungu S. (2013).** Etablissement du pollutogramme et de l'hydrogramme de la rivière Kinyankonge pendant la saison pluvieuse et sèche. Mémoire de master complémentaire en sciences de l'environnement, Université du Burundi, Faculté des sciences, Bujumbura, 50p.
9. **Campy M. et Macaire J.J. (2003).** Géologie de la surface: Erosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux. 2ème édition, DUNOD, Paris, 440p.
10. **Carignan R, D'Arcy P, Lamontagne S. (2000).** Comparative impacts of fire and forest harvesting on water quality in Boreal Shield lakes. Canadian Journal of Fisheries and aquatic science. 57(S2): 105117.
11. **Carlson RE. (1977).** A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography. 22(2): 361-369
12. **Clerk R.B. (1986).** Marine Pollution. Clarandon Press, Oxford, pp 256.

13. **Coenen, E.J. & Nikomeze, E. (1994).** Lake Tanganyika, Burundi, results of the 1992-1993 Catch Assessment Surveys. FAO/FINNIDA Research for the Management of the Fisheries on Lake Tanganyika. GCP/RAF/271/FIN-TD/24 (En): 27 pp.
14. **Coulter, G. W., Hecky, R. E., & Spigel, R. H. (1991).** Lake Tanganyika and its Life: Natural History Muséum Publications & Oxford University Press.
15. **Daniel, & J. Haury, (1996).** Les macrophytes une métrique méconnue de l'environnement en rivière- cybbium, 20 (3) suppl : 129.142.
16. **Dhawan A, Karu S. (2002).** Pig dung as pond manure. Effect on water quality pond productivity and growth of carps in poly culture system. NAGA, the ICLARM quarterly.
17. **Dodds W K. (2006).** Eutrophication and trophic state in rivers and streams». Limnol. Oceanog. 51: 671-680
18. **Downing JA, Watson S B, McCauley E. (2001).** Predicting cyanobacteria dominance in lakes. Can J of Fish Aquat Sci.58:1905-1908.
19. **Dutartre, Alain ; Peltre, Marie-Christine ; Haury, Jacques ; Menozzi, Marie-Jo,** Introduction – Les macrophytes, partenaires ou concurrents ?, *Revue Science Eaux & Territoires*, Les macrophytes et nous, numéro 15, 2014, p. 2-7, 09/12/2014. Disponible en ligne sur <URL : http://www.set-revue.fr/introduction-les-macrophytes-partenaires-ou-concurrents> (consulté le 21/01/2022), DOI : 10.14758/SET-REVUE.2014.15.01.
20. **Evrard, M. (1996).** Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes. Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix Namur (Belgique).
21. **Fermon, Y. (2007).** Étude de l'état des lieux de la partie nord du lac Tanganyika dans le cadre du Programme Pêche d'Action Contre la Faim en République Démocratique du Congo. In Action Against Hunger, USA.
22. **German C R, Thurnherr A M, Knoery J.(2010).** Export fluxes from submarine venting to the ocean: A synthesis of results from the Rainbow hydrothermal field,. Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement.57:518–527
23. **Gonzalez E J, Ortaz M, Penàterrera C, Infante A. (2004).** Physical and chemical features of a tropical hypertrophic reservoir permanently stratified. Hydrobiologia.522:301-310.
24. **Hade, A. (2002).** Nos lacs-les connaitre pour mieux les protéger. Editions Fides 360p

25. **Hanek, G., Coenen, E. J., & Kotilainen, P. (1993).** Aerial Frame Survey of Lake Tanganyika Fisheries. FAO/ FINNIDA Research for the Management of the Fisheries on Lake Tanganyika. GCP/RAF/271/FIN-TD/ 09.
26. **Hartog C. Den & G. Van Der Velde, (1988).** Structural aspects of plants communities, pp. 133-153.
27. **Hassan, M. A., Egozi, R., & Parker, G. (2006).** Experiments on the effect of hydrograph characteristics on vertical grain sorting in gravel Bed Rivers. Water Resources Research, 42(9).
28. **Hutchinson GE. (1973).** Eutrophication, the scientific background of a contemporary practical problem. American Scientist 61: 269-279.
29. **Huttula, T. (1997).** Flow, Thermal Regime and Sediment Transport Studies in Lake Tanganyika. Natural and Environmental Sciences, 73.
30. **Jaccard P. (1908).** Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat. 44: 223-270.
31. **Kelly W., 2001. Lac Tanganyika** : Résultats et constats tires de l'initiative de conservation du PNUD/GEF (Raf/92/G32) qui a eu lieu au Burundi, en République Démocratique du Congo, en Tanzanie et en Zambie. Projet sur la Biodiversité du Lac Tanganyika, 155p.
32. **Kotak BG, Lam AKY, Prepas EE, Hurdley SE. (2000**). Role of chemical and physical variables in regulating microcystin-LR concentration in phytoplankton of eutrophic lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 57: 1584-1593.
33. **Lewalle J. (1972).** Les étages de végétation du Burundi occidental. Travaux de l'Université Officielle de Bujumbura. Fac. Des. Sciences. 20: 173.
34. **Li M, Gargett A, Denman K. (2000).** What determines seasonal and interannual variability of phytoplankton and zooplankton in strongly estuarine systems. Application to the semi-enclosed estuary of Strait of Georgia and Juan de Fuca Strait, Estuarine, Coastal and Shelf. Science. 50: 467–488.
35. **Li M, Xie GQ, Dai CR, Yu LX, Li FR, Yang SP. (2009).** A study of the relationship between the water body chlorophyll a and water quality factors of the off coast of Dianchi Lake. Yunnan Geographic Environment Research. 21(2): 102–106.
36. **Lloyd R. (1992).** Pollution and Fresh Water Fish. Fishing News Books.

37. **Lorenzen C. (1967).** Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr*. 12(2), 343-346.
38. **Lucinda C, Martin N. (1999).** Oxford English Mini- Dictionary Oxford University Press Inc. New York. 200-535.
39. **Lwikitcha, B. H., Mwapu , P.I. (2012).** Evaluation de l'influence des activités anthropiques sur la physico-chimie, la composition et l'abondance du plancton et des macro-invertébrés du littoral du lac Tanganyika (cas des zones littorales le long de Bujumbura (Burundi) et Uvira (RD Congo) au nord du lac). Master complémentaire en sciences de l'environnement, Université du Burundi, Bujumbura, 50p
40. **Marius N. (2018).** Établissement de la situation de référence des macrophytes de bordure du lac tanganyika : cas des zones inondées des embouchures des rivières Ntahangwa, Collecteur R3 en bas du Cercle Nautique, Muha et Kanyosha
41. **Mddefp (2013).** Critères de qualité de l'eau de surface. 3è édition, Québec, Direction du suivi e l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3, 510p
42. **Mpawenayo P.C, (2008).** Réévaluation de la charge polluante des collecteurs R1 et R3 dans la Municipalité de Bujumbura. Mémoire de licence, Université du Burundi, Faculté des sciences, 57p.
43. **Mpawenayo, B., & Niyondiko, C. (2013).** Etude de la flore diatomique en relation avec l'hétérogénéité des habitats et la conductivité électrique des eaux de la rivière Muha à Bujumbura. : Bull. Sci. Inst. Nat. Environ. Conserv. Nat., 12, 1–13.
44. **Mudosa K. (2009).** Influence des apports des affluents de la baie Nord du lac Tanganyika: « Etude basée sur les données historiques des paramètres physico-chimiques ». Mémoire en génie civil, Université du Burundi, Faculté des sciences appliquées, Bujumbura, 103p.
45. **Ndayizeye, G. (2020).** Diversité des macros invertébrés Benthiques en relation avec les paramètres physicochimiques du littorale du Lac Tanganyika. Cas de l'ancien Cercle Nautique et Nyamugari. Mémoire de master en biologie des organismes et écologie : biologie et gestion des écosystèmes aquatiques.*P.35*
46. **Ndikumana, T., Bizindavyi, E., Kisoholo, A., & Vasel, L. J. (2013).** Impact des collecteurs d'eaux pluviales sur la baie Nord-Est du lac Tanganyika. Bulletin Scientifique de l'Institut National Pour l'environnement et La Conservation de La Nature, 6973(257), 55–60.

47. **Nies-Y, Zhang Z, Shen Q, Gao W, Li Y. (2016).** Significance of different carbon forms and carbonic anhydrase activity in monitoring and prediction of algal blooms in the urban section of Jialing River,
48. **Niyoyitungiye, L. (2019).** Limnological Study of Lake Tanganyika, Africa with Special Emphasis on Piscicultural Potentiality. Biodiversity and Ecology. Assam University Silchar (Inde). Assam University
49. **Niyoyitungiye, L. (2020).** Diagnostic analysis of the major threats of Lake Tanganyika and proposals for improving its ecological status To cite this version : HAL Id : hal02882704. Hal, 8.
50. **Nsa-Asare OD, Marr IL, Cresser MS. (2000).** Evaluation of modeled and measured patterns of dissolved oxygen in a freshwater lake as an indicator of the presence of biodegradable organic pollution. Water Research. 34(4): 1079–1088
51. **Ntakimazi, G. (1998).** Le Point sur les biodiversités dans les eaux burundaises du Lac Tanganyika: Lutte Contre la Pollution et autres Mesures pour Protéger la Biodiversité du Lac Tanganyika Burundi - Analyse Diagnostique Nationale.
52. **Ntakirutimana, R. (2020).** Analyses des fréquences de tailles des principales espèces de poissons capturées par la pêche commerciale au Burundi : *Cas des plages de KAJAGA et NYAMUGARI. Mémoire de master en biologie des organismes et écologie : biologie et gestion des écosystèmes aquatiques.P.70*
53. **Nzungu , B. (2017).** Impact de l'assainissement non collectif en zone sensible sur les eaux du lac Tanganyika: Cas de la Baie Safari Gate. Prévention et remédiation des pollutions. *Mémoire de Master Complémentaire en Sciences de l'environnement, Université du Burundi, Bujumbura-Burundi.*
54. **OCDE (1982).** Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Final report, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) cooperative programme on monitoring of inland waters (eutrophication control), Environment Directorate, OECD, Paris, 154p

55. **Prepas E E, Pinel-Alloul B, Planas D, Méthot G, Paquet S, Reedyk S. (2001).** «Forest harvest impacts on water quality and aquatic biota on the boreal plain: introduction to the TRLS 1ake program». Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 58(2): 421. Quantitative inferences of pasthypolimneticanoxia in south-central Ontario lakes using fossil midges (Diptera: Chironomidae). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.55: 587–596.
56. **Ramade F. (2005).** Eléments d'écologie: Ecologie appliquée. 6è édition, DUNOD, Paris, 864p.
57. **Ramade F. (2007).** Introduction à l'écotoxicologie. Editions TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 617p.
58. **Ramade F. (2012).** Eléments d'écologie-écologie appliquée: Action de l'homme sur la biosphère. 7è édition, DUNOD, paris, 791p.
59. **Rodier, J. (2009).** L'analyse de l'eau. 9e éditon. p. 1600.
60. **Sibomana, C., & Nduwayezu, J. (2018).** Pollution and Foraging Behavior of Pied Kingfisher Ceryle rudis in Bujumbura Bay of Lake Tanganyika, Burundi : Conservation Implications. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 3(2), 332–337. https://doi.org/doi.org/10.22161/ijeab/3.2.3.
61. **Sondergaard M, Jensen L P, Jeppensen E. (2003).** Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. Hydrobiologia.506 (509): 135-14
62. **Stanislas, N. (2021).** Etude sur l'évolution des paramètres indicateurs de la qualité de l'eau de la zone pélagique du lac Tanganyika. *Cas du bassin nord du lac Tanganyika : site au large de NYAMUGARI et près du site de captage de la REGIDESO* Mémoire de master en sciences et Gestion de l'environnement, option : eau et assainissement, P.56.
63. **Troupin, G. (1966).** Etude phytocénologique du Parc National de l'Akagera et du Rwanda oriental. Recherche d'une méthode d'analyse appropriée à la végétation d'Afrique intertropicale. Thèse d'agrégation, ULg, 293p.
64. **Troupin, G. (1983).** Flore du Rwanda. Spermatophytes, volume 2. Annales Musée Royal de l'Afrique centrale, Tervuren (Belgique), 603p.
65. **Troupin, G. (1988).** Flore du Rwanda. Spermatophytes, Volume 4. Musée Royale de l'Afrique centrale, Tervuren (Belgique), 651p.
66. **Troupin, G. (1985).** Flore du Rwanda. Spermatophytes, Volume 3. Musée Royale de l'Afrique centrale, Tervuren (Belgique), 729p.

67. **Troupin, G., (1978).** Flore du Rwanda. Spermatophytes, volume 1. Musée Royale de l'Afrique centrale, Tervuren (Belgique), 413p.
68. **Troupin, G., (1982).** Flore des plantes ligneuses du Rwanda. Annexes. Musée Royale de l'Afrique centrale, Tervuren (Belgique), 747p.
69. **USEPA (2000).** National Water Quality Inventory, Report to Congress. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-841
70. **Whitton B. A., (1979).** Plants as indicator of river water quality; pp. 5, 1- 5, 34. In : biological indicator of water quality (James A.& L. Evison , eds.) .

ANNEXES

Annexe I : Résultats bruts du PH pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts du PH pour les différents sites étudiés					
Site	Dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	7,6	8,7	7,5	7,5	7,825	0,585235
Kinindo	7,8	8,4	7,5	7,6	7,825	0,4031129
ACN	8,4	8,8	8,2	8,7	8,525	0,2753785
SB	8,5	8,9	8,9	8,9	8,8	0,2

Annexe II : Résultats bruts de température pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts de température pour les différents sites étudiés					
Site	Dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	27,3	26,2	26,9	27,2	26,9	0,4966555
Kinindo	27,2	27,2	26,6	25,5	26,625	0,801561
ACN	28,4	28,2	26,8	26,5	27,475	0,9639329
SB	29	28,3	28,6	26,7	28,15	1,008299

Annexe III : Résultats bruts de conductivité Electrique

Site	Dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	512	476	471	462	480,25	21,94501
Kinindo	556	524	610	598	572	39,49684
ACN	526	504	463	494	496,75	26,17091
SB	528	517	486	488	504,75	20,99802

Annexe IV : Résultats bruts de température pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts de TDS pour les différents sites étudiés					
Site	Dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	272	256	251	241	255	12,93574
Kinindo	297	280	325	320	305,5	20,92048
ACN	280	269	253	268	267,5	11,09054
SB	282	272	261	231	261,5	22,06808

Annexe V : Résultats bruts d'oxygène dissous pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts d'oxygène dissous pour les différents sites étudiés					
site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	4,7	5,8	5,2	9,5	6,3	2,180214
Kinindo	1,8	2,3	1,03	3,5	2,1575	1,036287
ACN	9,3	7,04	6,4	6,04	7,195	1,462999
SB	6,8	6,8	7,05	8,06	7,1775	0,6000208

Annexe VI : Résultats bruts de transparence pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts de transparence pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	0,34	0,48	0,41	0,33	0,39	0,0697615
kinindo	1,14	1,02	1,5	1,2	1,215	0,2042058
CN	0,56	0,31	0,72	0,45	0,51	0,1733974
SB	0,81	0,43	0,32	0,53	0,5225	0,2099802

Annexe VII : Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés

	Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	12,24	41,52	_	_	26,88	20,70409
kinindo	6,18	7,75	_	_	6,965	1,110158
CN	6,72	7,85	_	_	7,285	0,7990307
SB	2,9	13,01	_	_	7,955	7,14885

Annexe VIII : Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts des phosphates pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	1,57	1,92	2,02	1,66	1,7925	0,212191
kinindo	0,92	0,74	1,62	1,5	1,195	0,4306197
CN	0,86	0,53	0,71	0,41	0,6275	0,198053
SB	0,32	0,88	0,72	0,66	0,645	0,2357258

Annexe IX : Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts de phosphore total pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	1,82	2,26	2,52	1,87	2,1175	0,3327036
kinindo	1,15	0,78	2,02	1,8	1,195	0,4306197
CN	1,07	0,52	0,74	0,51	0,71	0,2624246
SB	0,4	0,96	0,9	0,82	0,77	0,2532456

Annexe X : Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts des nitrates pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	0,96	0,61	0,66	1,6	0,9575	0,4553662
kinindo	0,7	0,44	0,72	0,21	0,5175	0,2414367
CN	0,73	0,36	0,48	0,22	0,4475	0,2162368
SB	0,22	0,01	0,05	0,23	0,1275	0,1138347

Annexe XI : Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts de DBO5 pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	3	5	50	16	18,5	21,76388
kinindo	5	16	50	10	20,25	20,33675
CN	4	6	40	5	13,75	17,51904
SB	5	3	100	5	28,25	47,84262

Annexe XII : Résultats de turbidité pour les différents sites étudiés

	Résultats bruts de chlorophylle a pour les différents sites étudiés					
Site	dates d'échantillonnage				Moyenne	Ecart-type
	04/02/2021	22/02/2021	11/05/2021	18/05/2021		
Labeliane	0,511	0	0,134	0,045	0,1725	0,2324342
kinindo	0,008	0,002	0,039	0,011	0,015	0,01643168
SB	0,015	0,001	0,019	0,011	0,0115	0,00772442