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

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)

Ndayishimye, Stanislas

2021-04
UB
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/141

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

ETUDE SUR L'EVOLUTION DES PARAMETRES INDICATEURS DE LA QUALITE DE L'EAU DE LA ZONE PELAGIQUE DU LAC TANGANYIKA

(*Cas du bassin Nord du Lac Tanganyika : site au large de NYAMUGARI et près du site de captage de la REGIDESO*)

PAR

Stanislas NDAYISHIMIYE





MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir :

Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement

Option : EAU ET ASSAINISSEMENT

Identification des membres du Jury :

Président du Jury : Prof. SIBOMANA Claver

Secrétaire du jury : Dr. NIYOYITUNGIYE Lambert

Directeur de mémoire : Prof. David NAHIMANA

BUJUMBURA, AVRIL 2021

MEMBRES DU JURY

Président : Prof. SIBOMANA Claver

Secrétaire : Dr. NIYOYITUNGIYE Lambert

Directeur de mémoire : Prof. NAHIMANA David

DEDICACE

A

Mes parents, Frédéric et Apolline

Ma chère épouse, Florence

Mes enfants, Mila Dania et Santa Layna

Toute ma famille

Tous, chez qui l'échange scientifique est un plaisir

Je dédie ce Mémoire.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je remercie mon Sauveur et Seigneur Jésus-Christ de m'avoir donné la force et le courage pendant sa réalisation.

Je remercie également les personnes et institutions qui ont apporté leur soutien durant la réalisation de ce mémoire. Je pense notamment :

Au Prof. David NAHIMANA, qui a accepté de diriger ce travail. La pertinence de ses conseils méthodologiques, sa disponibilité et sa rigueur scientifique ont permis l'aboutissement de ce travail.

A tous les enseignants qui m'ont formé et qui ont fait de moi ce que je suis devenu. Que chacun trouve en ces quelques lignes ma profonde gratitude.

Aux étudiants de master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement en général et plus particulièrement ceux de l'option Eau et Assainissement avec qui nous avons partagé la vie estudiantine.

Au responsable et techniciens des laboratoires d'analyse chimique et environnementale pour leur assistance technique lors de mes analyses qui ont porté sur les eaux brutes du lac Tanganyika.

Aux directeurs et techniciens de la DPFH et de la REGIDESO pour m'avoir accepté de faire un stage dans leurs centres qui a notamment constitué une base de données pour ce travail.

A toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail et qui n'ont pas pu être cités.

Au gouvernement Burundais pour le prêtbourse accordé en ma faveur pour la formation du 2ème cycle.

Au programme UB pour son soutien matériel (véhicule de terrain).

Au Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement(CRSNE) pour son financement à travers le laboratoire d'analyse chimique et environnementale.

SIGLES ET ABREVIATIONS

AEP: Approvisionnement en Eau Potable

˚C : Degré Celsius

Cond. : Conductivité

DBO_5 : Demande Biochimique en Oxygène mesurée après 5 jours d'incubation

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DPFH: Direction de la Promotion des Filières Halieutiques

FAO: Food and Agriculture Organization

GPS: Global Positioning System

ISTEEBU : Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi

NFU: Nephelometric Formazin Unit

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OD : Oxygène Dissous.

OMS : Organisation Mondiale pour la Santé

pH : Potentiel d'hydrogène

RDC: République Démocratique du Congo

REGIDESO : Régie de Production et de Distribution de l'Eau et de l'Electricité

RLT : Recherche sur le Lac Tanganyika

TDS: Total Dissolved Solids

T^o: Température

WHO : World Health Organization

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Hydrologie du lac Tanganyika (a : bilan mensuel moyen, b : Variabilité du niveau d'eau entre 1858 et 2013) 7
Figure 2: Les grandes étapes et conséquences de l'eutrophisation dans un lac 12
Figure 3: Fonctionnement du cycle des éléments nutritifs dans les conditions d'équilibre écologique et lors des apports excessifs en nutriments dans l'eau 13
Figure 4: Photos du 8/9/2018 : changement de la couleur des eaux du lac Tanganyika suite à la prolifération des algues dû à la montée des eaux profondes riches en nutriments ... 13
Figure 5: Localisation des sites d'échantillonnage (a : Limites du lac Tanganyika et les sites d'échantillonnage b : Nord-Est du lac Tanganyika et les sites d'échantillonnage 14
Figure 6: Photos illustrant les sites d'échantillonnage (A: Premier site, B : deuxième site avec la bouée de signalisation du site de captage de la REGIDESO) 15
Figure 7: Résultats de la transparence, de la température, de l'oxygène dissous, du pH, de la conductivité, du TDS et de la turbidité pour le site I 20
Figure 8: Résultats des phosphates, nitrates et ammonium pour le site I 21
Figure 9: Résultats de la transparence, de la température, de l'oxygène dissous, du pH, de la conductivité, du TDS et de la turbidité pour le site II 23
Figure 10: Résultats des nutriments (phosphates, nitrates et ammonium) pour le site II 24
Figure 11: Résultats de la DCO et *DBO5* pour le site II 25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Division des eaux du lac Tanganyika par pays 4
Tableau 2: Statistiques physiographiques du lac Tanganyika 5
Tableau 3: Localisation et coordonnées géographiques des sites d'échantillonnage 15
Tableau 4: Chronogramme et conditions d'échantillonnage 16

RESUME

Dans le bassin Nord du lac Tanganyika, durant trois mois (fin Avril-début Juillet) dix paramètres limnologiques ont été mesurés à deux sites (site au large de Nyamugari et près du site de captage de la REGIDESO) au moins une fois par mois pour chaque site. Au deuxième site la DCO et la DBO_5 ont été ajoutés à la liste des paramètres analysés pour évaluer la pollution organique. L'objectif de l'étude était d'évaluer l'évolution de la qualité des eaux de la zone pélagique du bassin Nord du lac Tanganyika. Nous avons étudié dans deux sites la variation spatiale et temporelle des principaux paramètres physico- chimiques et des principaux nutriments. Pour y parvenir, sept paramètres physico-chimiques (la transparence, la température, l'oxygène dissous, le pH, la conductivité électrique, les TDS et la turbidité) ont été directement mesurés in Situ à l'aide des sondes spécifiques. Pour les autres paramètres, des échantillons ont été prélevés et analysés au laboratoire de chimie analytique de l'Université du Burundi. En effet, une stratification thermique verticale permanente, variable en intensité et instable au mois de Juillet a été observée pour le site I plus profond que le deuxième. L'épilimnion a augmenté sa profondeur au mois de Juillet et par conséquent la thermocline et l'oxycline n'ont pas été atteintes. Pour le site II, la colonne d'eau est restée quasi-homogène durant toute la période d'échantillonnage. Les résultats obtenus ont montré que la transparence a varié de 2,26m à 10,8m, élevée au site I qu'au site II et augmentant la valeur d'Avril à Juillet. La température gravitait entre 27,8˚C à 25, 1 ˚C, diminuant la valeur de l'épilimnion vers l'hypolimnion. L'oxygène dissous a évolué dans le même profil que la température variant de 6,82mg/l à 0,192mg/l. Les fluctuations de pH ont montré que les eaux sont alcalines. La variation du pH est restée entre 9,11 et 8,23. La conductivité électrique et le TDS ont évolué dans le même profil variant respectivement de 605 à 682 µS/cm et de 317 à 396mg/l avec tendance d'augmenter la valeur dans les eaux profondes. La turbidité est élevée pour le site II qu'au site I, variant de 13,42 NTU à 0,08NTU, diminuant d'Avril à Juillet et augmentant des eaux superficielles vers les eaux profondes. Les concentrations en nutriments azotés sont plus élevées au site II qu'au site I alors que les phosphates montrent une tendance inverse. La pollution organique a indiqué des valeurs variant entre 4 et 330mgO_2/l pour la DCO et de 0 à 20mgO_2/l pour la DBO_5 et cela indique une menace de pollution au site II.

Mots clés : Lac Tanganyika, zone pélagique, paramètre physico-chimique, Thermocline, pollution organique

ABSTRACT

In the northern basin of Lake Tanganyika, for three months (late April-early July) ten limnological parameters were measured at two sites (site off Nyamugari and near the REGIDESO catchment site) at least once a month for each site. At the second site, COD and BOD5 were added to the list of parameters analyzed to assess organic pollution. The objective of the study was to evaluate the evolution of water quality in the pelagic zone of the North Tanganyika basin. We studied in two sites the spatial and temporal variation of the main physico-chemical parameters and the main nutrients. To achieve this, seven physico-chemical parameters (transparency, temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, TDS and turbidity) were directly measured in situ using specific probes. For the other parameters, samples were taken and analyzed at the analytical chemistry laboratory of the University of Burundi. Indeed, a permanent vertical thermal stratification, variable in intensity and unstable during the month of July was observed for site I, deeper than the second one. The epilimnion increased its depth in July and consequently the thermocline and oxycline were not reached. For site II, the water column remained almost homogeneous during the whole sampling period. The results obtained showed that the transparency varied from 2.26m to 10.8m, higher at site I than at site II and increasing in value from April to July. Temperature gravitated between 27.8˚C to 25, 1 ˚C, decreasing the value from epilimnion to hypolimnion. Dissolved oxygen changed in the same pattern as temperature varying from 6.82mg/l to 0.192mg/l. The pH fluctuations showed that the waters are alkaline. The pH variation remained between 9.11 and 8.23. Electrical conductivity and TDS evolved in the same profile varying respectively from 605 to 682 µS/cm and from 317 to 396mg/l with a tendency to increase the value in the deep waters. Turbidity was higher at site II than at site I, ranging from 13.42 NTU to 0.08NTU, decreasing from April to July and increasing from surface waters to deep waters. Nitrogenous nutrient concentrations were higher at Site II than at Site I, while phosphates showed an opposite trend. Organic pollution indicated values ranging from 4 to 330mgO2/l for COD and from 0 to 20mgO2/l for BOD5 and this indicates a pollution threat at site II.

Key words: Lake Tanganyika, pelagic zone, physico-chemical parameter, Thermocline, organic pollution

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY i
DEDICACE ii
REMERCIEMENTS iii
SIGLES ET ABREVIATIONS iv
LISTE DES FIGURES v
LISTE DES TABLEAUX vi
RESUME vii
ABSTRACT viii
TABLE DES MATIERES ix
AVANT PROPOS xi
INTRODUCTION 1
CHAPITRE I. ETAT DES LIEUX DU LAC TANGANYIKA 4
1.1. Cadre physique et géographique 4
1.2. Hydrologie 6
1.3. Caractéristiques limnologiques et saisonnières 7
1.4. Menaces sur les eaux du lac Tanganyika 9
1.4.1. La pollution 9
1.4.2. La sédimentation 10
1.4. 3. Nutriments 11
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES 14
2.1. Milieu d'étude 14
2.1.1. Localisation des sites d'échantillonnage 14
2.1.2. Description des sites d'échantillonnage 15
2.1.3. Chronogramme et conditions d'échantillonnage 16
2.2. Mesure des variables caractéristiques du milieu 16
2.2.1. Les paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés in Situ 16
2.2.2. Prélèvement, conservation et traitement de l'échantillon analysé au laboratoire 17
2.2.3. Dosage des nutriments 17
2.2.4. Dosage de la pollution organique 18
2.3. Analyse et traitement des données 18

CHAPITRE III. PRESENTATION DES RESULTATS 19
3.1. Site I 19
3.1.1. Principaux paramètres physico-chimiques mesurés in Situ 19
3.1.2. Principaux nutriments dosés 21
3.2. Site II 22
3.2.1. Principaux paramètres physico-chimiques mesurés in Situ 22
3.2.2. Principaux nutriments dosés 24
3.2.3. La pollution organique au site II 25
CHAPITRE IV: DISCUSSION DES RESULTATS 26
4.1. Caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau 26
4.2. Profils verticaux et temporels des nutriments dosés 29
4.3. Ampleur de la pollution organique près du site de captage de la REGIDESO 30
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 33
ANNEXES 43

AVANT PROPOS

L'assainissement et le developpement durable exigent que l'exploitation halieutique se base sur le contrôle permanent de la qualité d'eau. La plupart des défis prennent sources dans le bassin versant qui surplombe les milieux aquatiques. Diverses activités anthropogéniques causent en aval la pollution et la disparition des eaux ainsi que les espèces aquatiques. La plupart des lacs du monde, d'Afrique, et le lac Tanganyika en particulier sont dégradés par des activités d'origine naturelle et humaine. Cette étude décrit l'évolution des paramètres indicateurs de la qualité de l'eau de la zone pélagique du lac Tanganyika. Nous y proposons des études à faire pour mieux trouver les solutions adéquates.

Les paramètres indicateurs de la qualité de l'eau sont des facteurs puissants qui conditionnent l'existence de toute forme de vie aquatique. Autrement dit, s'ils évoluent négativement, les espèces aquatiques finissent par disparaitre. Cette étude propose donc une démarche d'évaluation spatio-temporelle basée sur l'analyse des eaux du bassin Nord du lac Tanganyika. De la mesure des paramètres physico-chimiques, de l'analyse des nutriments, de l'évaluation de la pollution organique des eaux échantillonnées, ce travail constitue une contribution majeure dans la gestion des eaux du lac Tanganyika.

INTRODUCTION

Les écosystèmes d'eau douce sont des compartiments naturels nécessaires pour la continuité de la vie (Simpi et al., 2011). Ils sont essentiels pour diverses activités telles que l'approvisionnement des municipalités en eau potable, l'industrie, l'agriculture et les loisirs. Malheureusement, ils sont parmi les écosystèmes les plus sérieusement menacés par l'impact des activités anthropiques au cours de ce dernier siècle (Dudgeon et al., 2006).

En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (Mc Kinney, 2002). Elles sont responsables de menaces comme la pollution, la sédimentation et la destruction des habitats côtiers et par conséquent pélagiques (Calamari et Naeve, 1994 ; Ogutu et al., 1997; Hassan, 2006).

Le lac Tanganyika n'est pas épargné. Il est situé entre quatre pays dont la R.D.Congo, le Burundi, la Tanzanie et la Zambie et de grandes agglomérations se sont érigées autour de ce lac. Il s'agit de Bujumbura au Burundi, Uvira, Kalemie et Moba en R.D.Congo, Kigoma et Kipili en Tanzanie et Mpulungu en Zambie. Ces lieux de peuplement sont éparpillés dans le bassin versant du lac Tanganyika et abritent une variété d'industries et d'activités potentiellement polluantes (Bakevya et al., 1998). Les eaux de surface du lac Tanganyika sont fortement polluées par différents contaminants nocifs provenant des activités humaines dans les grandes villes établies sur son bassin versant (Niyoyitungiye et al., 2019).

Situé à l'intersection des bassins atlantique, méditerranéen et de l'océan Indien, le lac Tanganyika offre un fort potentiel de développement (Bergonzini et al., 2015). Etant le plus ancien des lacs africains avec une biodiversité remarquable, il constitue une source d'eau potable et de protéines animales pour une population d'environ 11 millions d'habitants. Il contient environ 17% des réserves en eau douce de surface du monde (Plisnier et al.2018) avec plus de 500 espèces endémiques d'invertébrés et de vertébrés aquatiques.

Les sources de pollution et de sédimentation susceptibles de causer de sérieux problèmes sont notamment les déchets ménagers, les engrais et les pesticides utilisés dans l'agriculture, les ports, le trafic lacustre, les entreprises industrielles et les petites activités industrielles officielles ou non (Kelly, 2001; Hassan, 2006). Trois villes dont Bujumbura, Uvira et Rumonge sont érigées dans la zone côtière du bassin Nord du lac Tanganyika.

Plusieurs rivières traversent la ville de Bujumbura en charriant des polluants de toute sorte qui finissent par se déverser dans le lac. Les rejets domestiques, le lessivage des terres, les rejets des savonneries industrielles et artisanales et ceux de la Station d'épuration de Buterere (STEP) constituent des sources majeures de pollution pour ce lac (Niyoyitungiye et al., 2019).

C'est pourquoi les paramètres limnologiques tels que la transparence ou les mesures des profils de température et d'oxygène permettant la détermination de la thermocline et de l'oxycline sont importants (Plisnier et al., 2018). Les effets d'une légère augmentation de la température de l'eau du lac sur l'écosystème du lac Tanganyika pourraient être atténués par une augmentation de la force du vent, si celle-ci était suffisante pour induire un plus grand mélange (Naithani et al., 2011).

Etant donné que le bon fonctionnement de la zone pélagique est essentiel pour maintenir la qualité des eaux du lac Tanganyika et les communautés pélagiques (qui vivent en pleine eau, loin des côtes) qui comprennent parfois des espèces qui font des incursions temporaires en eau profonde à partir des communautés littorales (Fermon, 2007), la conservation des zones pélagiques est au centre de la gestion des ressources du lac (Kelly et al., 2001)**.** La plupart des paramètres de qualité de l'eau étaient adaptés à la pisciculture (Niyoyitungiye et al., 2019). La présente étude se propose d'évaluer, dans le temps et dans l'espace, l'évolution de la qualité de l'eau dans la zone pélagique du lac Tanganyika en se basant sur son état physico-chimique et limnologique.

Il n'existe pas de données récentes sur les caractéristiques en profondeur des paramètres physico-chimiques et limnologiques de la colonne d'eau du lac Tanganyika. Or, ces informations sont importantes pour apprécier la santé d'un écosystème lacustre surtout dans sa partie pélagique. C'est pour essayer de combler ce vide que nous avons choisi pour thème de recherche : **« 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) »**. Les résultats de l'étude devraient aider les décideurs à la prise de mesures de renforcement de la protection de la zone pélagique notamment, lieu de captage de l'eau approvisionnée dans les villes riveraines et de zone écologique. Spatialement, le lac est menacé de la zone littorale vers la zone pélagique et les eaux

profondes sont plus polluées que les eaux superficielles (Plisnier et al.,1999). Temporellement, il est menacé par l'accroissement de la population au fur des années.

Objectifs

Objectif global

Evaluer la qualité de l'eau de la zone pélagique du bassin Nord du lac Tanganyika en vue d'aider les décideurs à la prise de mesures de renforcement de la protection de la zone pélagique.

Objectifs spécifiques

Il s'agit notamment de:

- ✓ Caractériser la physico-chimie des eaux (la transparence, température, oxygène dissous, pH, conductivité électrique, turbidité, TDS, phosphates, nitrates et azote ammoniacal)
- ✓ Déterminer l'ampleur de la pollution organique (Demande Chimique en Oxygène et Demande Biochimique en Oxygène) près du site de captage de la REGIDESO
- ✓ Déterminer l'évolution de la qualité de l'eau au cours de ces trois dernières décennies

A part l'introduction, la conclusion et les perspectives, ce travail s'articule autour de quatre chapitres. Le premier est consacré à l'état des lieux de l'écosystème, le deuxième chapitre décrit le matériel, les méthodes et outils utilisés dans la collecte, l'analyse et le traitement des données, le troisième et le quatrième chapitre sont consacrés respectivement à la présentation et discussion des résultats.

CHAPITRE I. ETAT DES LIEUX DU LAC TANGANYIKA

1.1. Cadre physique et géographique

Le lac Tanganyika est situé dans la vallée du Rift Est Africain. Sa superficie de 32600 km^2 est partagée entre quatre pays riverains : RDC, Tanzanie, Burundi et la Zambie (Fermon, 2007). Il est estimé que plus de 10 millions d'habitants sont présents dans le bassin versant du lac.

Tableau 1:Division des eaux du lac Tanganyika par pays

Pays	Latitude	Surface		Périmètre	
		Km^2	%	Km	%
Burundi	03°20'30"S - 04°26'40"S	2 600	8%	159	9%
RDC	03°21'00"S - 08°13'40"S	14 800	45%	795	43%
Tanzanie	04°26'00"S - 08°36'00"S	13 500	41%	669	36%
Zambie	08°13'40"S – 08°48'30"S	2 000	6%	215	13%
Total	03°20'30"S - 08°48'30"S	32 900	100%	1 850	100%

Source : Fermon, 2007

Tableau 2: Statistiques physiographiques du lac Tanganyika

Paramètres	Valeurs
Pays riverains	RDC, Tanzanie, Burundi et Zambie
Latitude	03°20' – 08°48' Sud
Longitude	29°03' – 31°12' Est
Age	environ 12 millions d'années
Altitude	773 m au-dessus du niveau de la mer
Longueur	673 km, c'est le 7ème plus grand lac dans le monde
Largeur	12 – 90 km, moyenne d'environ 50 km
Superficie	32 600 km^2
Volume	18 880 km^3
Périmètre côtier	1 838 km
Profondeur maximum	1 320 m dans le bassin nord, 1,470 m dans le bassin sud
Profondeur moyenne	570 m, 2ème plus profond lac du monde
Bassin versant	220 000 km^2
Stratification	permanente, méromictique
Zone oxygénée	70 m de profondeur au nord, 200 m de profondeur au sud
	23-27 °C
Température	8.6 – 9.2
pH	Environ 460 mg/litre
Salinité	440 ans
Temps de résilience	
(renouvellement)	Plus de 500 espèces de poissons
Richesse poissonneuse	

Source : Fermon 2007

1.2. Hydrologie

Le lac Tanganyika présente un vaste réseau hydrographique caractérisé par de nombreux cours d'eaux permanents et temporaires (Fermon, 2007). Les principaux cours d'eau qui se jettent dans le lac Tanganyika sont la rivière Rusizi à l'extrémité nord (Burundi) qui contribue environ 30% au débit du lac (Hecky et al.1991) et la rivière Malagarazi qui entre dans le lac par un vaste delta marécageux sur la rive Est de la Tanzanie dans le bassin hydrographique du lac Victoria.

Le lac Tanganyika est le plus important réservoir d'eau douce d'Afrique avec un volume de 18 880 km^3, il est parmi les lacs mondiaux les plus volumineux et les plus profonds (Branchu et al. 2005). C'est la Rusizi qui apporte au lac la plus grande quantité d'eau. Le bassin versant du lac Tanganyika englobe dans sa partie nord le lac Kivu, qui se déverse dans le lac Tanganyika par la rivière Rusizi. Ses eaux rejoignent le bassin du Congo puis l'océan Atlantique. La rivière Lukuga à Kalemie est un exutoire qui le relie au bassin du fleuve Congo. Il évacue 6% de l'eau totale du lac Tanganyika (Coulter, 1991). Le débit de la Lukuga varie suivant le niveau du lac, la moyenne serait de 10 à 200 m^3/s (Kelly et al.2001). Le bilan hydrologique annuel moyen est associé à des apports par précipitations directes de 1090 mm/an et à une évaporation en surface de 1695 mm/an (Bultot, 1993).

Rapportés à la surface du lac, les apports du bassin versant représentent environ 955 mm/an et les pertes à l'exutoire, la Lukuga, 365 mm/an. Sur la période 1932-1995 le niveau lacustre chute d'environ un mètre, soit une moyenne de 15 mm/an (Bergonzini et al. 1998)

Le niveau du lac témoigne du bilan hydrologique moyen, composé d'apports par les pluies (environ 36 km^3 /an) et par les écoulements en provenance du bassin versant (environ 30 km^3 /an au total), et de pertes par évaporation à la surface du lac (environ 1700 mm/an ou 56 km^3 /an) ou par écoulement via l'exutoire de la Lukuga (environ 10 km^3 /an). À l'échelle saisonnière et annuelle (fig.1), ce bilan dépend fortement de la circulation atmosphérique régionale, et montre une fluctuation d'environ 70 cm d'amplitude, avec un bas niveau en octobre (fin de la saison sèche) et un haut niveau en mai (fin de la saison des pluies et du passage de la zone de convergence intertropicale au-dessus du bassin) (Bergonzini et al., 2015).

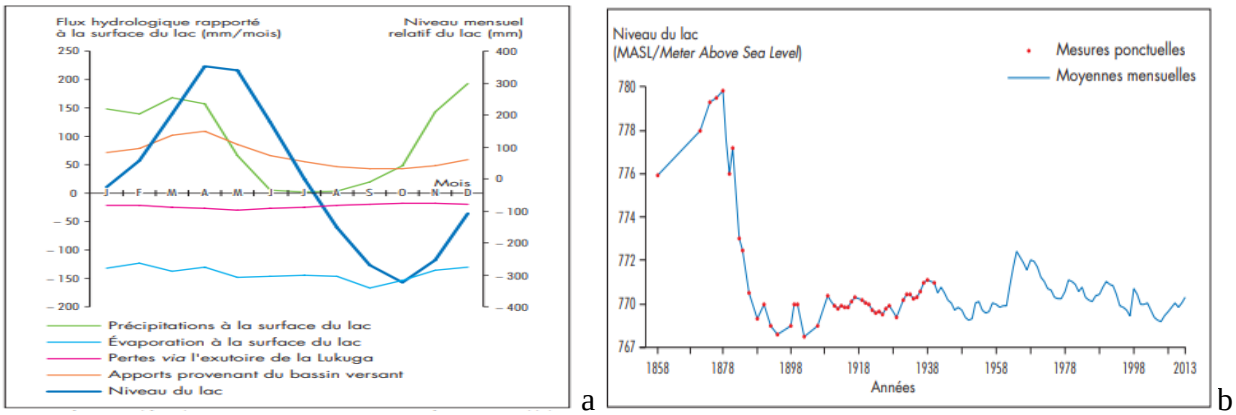


Figure 1**: Hydrologie du lac Tanganyika** (a : bilan mensuel moyen, b : Variabilité du niveau d'eau entre 1858 et 2013 (Bergonzini et al., 2015)

Depuis les derniers 2.800 ans, le niveau du lac a été relativement stable, fluctuant entre 765 et 775 mètres au-dessus du niveau de la mer pendant la plus grande partie de cette période (Cohen et al. 1997). Le 12 Mai 2020 à 10h30, le niveau du lac Tanganyika était à 776,10m d'altitude, niveau atteint en 1964 (De Bont, A. F.et al. 1972). Des dégâts énormes sont observés au niveau de certaines constructions le long du lac surtout vers le sud de la ville de Bujumbura. Des maisons d'habitation inondées, avenues et routes devenues impraticables sans oublier les lieux de loisirs fermés, tel est la situation qui prévaut sur les rives du Tanganyika actuellement. Le lac n'a que deux possibilités naturelles de sortie de l'eau : l'évaporation et la rivière Lukuga où l'eau rejoint ainsi le bassin du Congo. Il est alimenté par les précipitations ; les eaux du lac Kivu via la Rusizi et les eaux des rivières de son bassin versant, en particulier, la Malagarazi et la Rusizi (Fermon, 2007)

1.3. Caractéristiques limnologiques et saisonnières

Le lac Tanganyika est très sensible à la variation climatique. Le vent et la température de l'air influencent le mélange des eaux. Celles-ci sont très riches en nutriments en profondeur (N, P, Si). La stratification thermique est permanente sauf au sud du lac où un upwelling annuel est observé sous l'effet des vents du Sud-Est. L'abondance relative des espèces de poissons capturés est directement liée à ces variations environnementales. Des variations climatiques depuis une quarantaine d'années sont observées. Une simulation actuelle à court terme (10 ans) montre que la thermocline de 75 m de profondeur se déplace vers le haut dans le sud du lac jusqu'à ce que la

couche inférieure atteigne la surface du lac pendant les mois d'août et de septembre (Sterckx et al., 2020). Les changements de stratification ont été le résultat d'une diminution du niveau du lac, d'une légère augmentation de la température et d'une réduction des apports au lac (Rimmer et al. 2011)

Le lac Tanganyika se trouve sur la voie de migration de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), ce qui fait que le lac connaît une saison humide et une saison sèche.

La courte saison sèche s'étend de juin à Août et la longue saison des pluies de septembre à mai. Au début de la saison sèche, les alizés du Sud-Est provoquent un mouvement des eaux chaudes de surface vers l'extrémité Nord du lac (Langeberg et al. 2008). De là, les courants des eaux froides et profondes reviennent vers le Sud. Dans le Sud, ces courants d'eaux profondes remontent à la surface. Les eaux profondes sont riches en nutriments. Les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent sont comprises entre 0,2 et 1,7 m/s (Nahimana et al., 2008). Avec la montée ou la remontée de ces eaux, il y a aussi une remontée de nutriments dans le sud. Les alizés coïncident avec la période la plus froide de l'année. Les températures de l'air froid combinées à la remontée d'eaux froides conduisent au refroidissement des eaux de surface dans le sud. Il crée un plus grand mélange et augmente ainsi l'azote (N) et les concentrations de phosphore (P). Le contrôle des concentrations de N et de P, la croissance du phytoplancton, la biomasse et la composition des espèces et leur augmentation se traduisent par une augmentation de la biomasse du phytoplancton (Plisnier et al. 1999). En septembre, à la fin de la saison sèche, les vents forts cessent et les remontées d'eau dans le sud s'arrêtent et l'afflux de la Rusizi se mélange en fait avec l'épilimnion, pas l'hypolimnion (Vandelannoote et al. 1999). Selon Coulter (1991), l'apport fluvial a une influence limitée sur l'écosystème pélagique en raison du long temps de renouvellement de l'eau basé sur l'apport fluvial (environ 1000 ans).

Le métalimnion continue d'osciller pendant plusieurs mois jusqu'à ce qu'il revienne en position horizontale. Au cours de ces mois, on observe une augmentation des mouvements de l'eau. Les oscillations provoquent un upwelling secondaire dans le nord vers octobre-novembre. Les eaux profondes riches en nutriments s'élèvent à la surface et provoque des efflorescences de phytoplancton (Plisnier et al., 1999). On a d'abord pensé que ces proliférations de phytoplancton ont été causées par un apport accru de nutriments dû aux ruissellements causés par les fortes pluies de la saison des pluies. Un délai entre l'augmentation des précipitations et la prolifération

d'algues ont laissé entendre que les remontées d'eau secondaires jouaient un rôle plus important (Plisnier et al. 1999).

Deux simulations sur 30 ans ont été réalisées (l'une avec les conditions actuelles et l'autre avec les conditions futures), de sorte qu'une comparaison peut être faite entre la situation actuelle et la situation à la fin du 21e siècle. Les résultats montrent que la température de l'eau de surface augmente en moyenne de 3 ± 0,5°K. Cette dernière influence l'hydrodynamique dans les 150 premiers mètres du lac, c'est-à-dire que le fond de la thermocline ne fait plus surface. Cette stratification induite par la température arrête complètement le mécanisme de mélange (Plisnier et al. 1999).

1.4. Menaces sur les eaux du lac Tanganyika

L'environnement du Lac Tanganyika relève des défis multiples, résultant des activités liées à l'augmentation galopante de la population des pays riverains. Les résultats et constats tirés du projet régional PNUD/GEF (Raf/92/G32) sur la biodiversité du lac Tanganyika qui a eu lieu en 1995-2000 au Burundi, en RDC, en Tanzanie et en Zambie, révèlent que le lac Tanganyika fait face à une variété de menaces , dont les plus importantes sont la pollution, la sédimentation, la surpêche, et la destruction des habitats sensibles.

1.4.1. La pollution

Le lac Tanganyika est l'un des plus grands lacs du monde et il joue un rôle important dans l'économie du Burundi, de la Tanzanie, de la Zambie et de la RDC. Malgré sa riche biodiversité, le Lac Tanganyika subit continuellement une dégradation, dont l'une des principales causes est la pollution. Cette pollution représente une menace périlleuse contre certaines espèces. Le lac est également très vulnérable à la pollution en raison de ses caractéristiques naturelles et la conservation de sa diversité biologique ne fait actuellement l'objet que de quelques efforts. De plus, cette pollution est causée par des charges excessives de sédiments et de nutriments dues à l'érosion du bassin versant, aux rejets industriels et urbains, y compris les déversements de bateaux et des activités de pêche intensive aux méthodes non appropriées (DE BIOSS, 2000). La situation de la pollution du lac Tanganyika est tellement alarmante. La mise en application des mesures et stratégies de limitation est d'une extrême urgence étant donné que les effets font déjà

leur manifestation par la réduction des prises de pêche et par la raréfaction de certaines espèces de poissons.

Les paramètres physico-chimiques ont respectivement une grande influence sur l'augmentation et la diminution de la quantité d'espèces de poissons dans l'environnement (Niyoyitungiye et al., 2019)

Située dans la partie Nord-Est, Bujumbura, la capitale économique du Burundi, est la plus grande ville autour du lac et la plus peuplée. Elle est considérée comme la principale source de pollution du lac (Yu et al., 2017). Plusieurs rivières et canaux d'eau traversent la ville et se déversent dans la baie de Bujumbura au Nord du lac Tanganyika. Leur effet contaminant augmente vraisemblablement avec l'urbanisation croissante et le manque d'installations requises pour le traitement des eaux usées (Yu et al., 2017). Cette pollution affecte les communautés lacustres, y compris les communautés semi-aquatiques, et ses effets doivent être étudiés. L'abondance et la prolifération de certaines espèces de phytoplancton et de zooplancton sont affectées négativement ou positivement par la concentration des paramètres physico-chimiques parce que, certaines variables physico-chimiques ont été trouvées soit des inhibiteurs, soit des accélérateurs de croissance pour les espèces de phytoplancton (**Niyoyitungiye et al., 2020**).

La production importante de matière organique est due à plusieurs facteurs notamment la température élevée à la surface de l'eau et l'absence d'oxygène en profondeur.

Des études avaient montré que la station d'épuration de Buterere déverse ses effluents dans la rivière Kinyankonge qui devient un canal de transfert de polluants vers le lac Tanganyika qui est le milieu récepteur final (Niyungeko et al., 2011 ; Nsavyimana et al., 2014). De même, une étude préliminaire établissant le pollutogramme et l'hydrogramme de la rivière Kinyankonge a montré que les eaux à l'embouchure sont fortement polluées (Buhungu et al., 2017).

1.4.2. La sédimentation

L'augmentation de la déforestation dans le bassin versant et l'érosion conséquente a causé un accroissement de matières en suspension entrant dans le lac par les cours d'eau.

Les sédiments présents sur le fonds du lac proviennent de deux sources essentiellement différentes à savoir une source autochtone (constituée d'une importante composante organique et

d'une composante minérale) et une source allochtone (proviennent de la désintégration et de l'érosion des différentes formations géologiques qui bordent le bassin du lac) (CARRIERES et al., 1998). La sédimentation des matières solides emprisonne avec elle une partie de ces précieux éléments nutritifs utiles pour la production biologique, qui ne peuvent alors revenir en solution dans l'eau qu'à la faveur des mouvements des eaux avec les vagues et les courants dans la zone littorale (Ntakimazi, 1998).

L'augmentation de la sédimentation peut avoir un profond effet négatif sur la biodiversité en altérant les habitats (notamment le changement des substrats rocheux en substrats mixtes ou sablonneux) et en interrompant la production primaire et les trames alimentaires, causant par là une réduction de la diversité des espèces (Simone et Britski 1999)

L'augmentation des taux de sédimentation se manifeste dans le lac par les habitats rocheux inondés de sédiments, qui sont courants le long de la côte burundaise, et les deltas de rivières en progradation, tel que le delta de la rivière Ruzizi. Le delta de la rivière Ruzizi est le principal affluent du bassin nord et semble avoir augmenté ses annexes au cours des dernières années (Cohen, 1991).

1.4. 3. Nutriments

L'impact des affluents consiste en l'enrichissement des eaux par un apport de certains nutriments dont le lac est plutôt déficitaire, qui se traduit par une amélioration locale de la productivité primaire; celle-ci est toutefois contrariée par une plus grande turbidité des eaux, à cause d'un apport non négligeable en matières en suspension par les cours d'eaux qui proviennent des hauts plateaux érodés (Ntakimazi, G. 1998). Les dépôts de la Rusizi pourraient augmenter l'azote inorganique et l'alcalinité au large de l'embouchure du lac, ce qui contribue à l'apport des nutriments dans le nord du lac Tanganyika (Vandelannoote et al., 1999).

Dans un lac sain, les nutriments sont consommés par les organismes aquatiques, comme les algues, les bactéries et les plantes aquatiques, et soutiennent leur croissance. Ceux-ci forment la base du réseau trophique soutenant l'ensemble de l'écosystème aquatique. Les nutriments concernés sont principalement l'azote et le phosphore provenant surtout des intrants agricoles et des eaux usées. L'augmentation de la concentration d'azote et de phosphore dans le

milieu provoque l'eutrophisation des milieux aquatiques. Elle est caractérisée par une croissance excessive des plantes et des algues due à la forte disponibilité des nutriments.

Le phosphore est un nutriment essentiel dans l'écosystème du lac Tanganyika, qui détermine la productivité primaire du lac et influence ensuite les sources de protéines animales pour les pays riverains (Cheng Yu : 余成, 2017). Alors que l'ammonium s'accumule dans les eaux anoxiques sombres, les pics de nitrates et de nitrites sont surtout observés entre 30 et 70 m de profondeur en raison des processus de nitrification. En dessous de la profondeur photique et jusqu'au fond, les silicates ont augmenté en raison de dissolution de la silice biogène (Nahimana et al. 2008).Les principales conséquences de ces évènements se traduisent par l'eutrophisation des eaux lacustres et par d'importantes modifications concernant les peuplements de poissons et les caractéristiques trophiques du lac (Barroin, 2003)

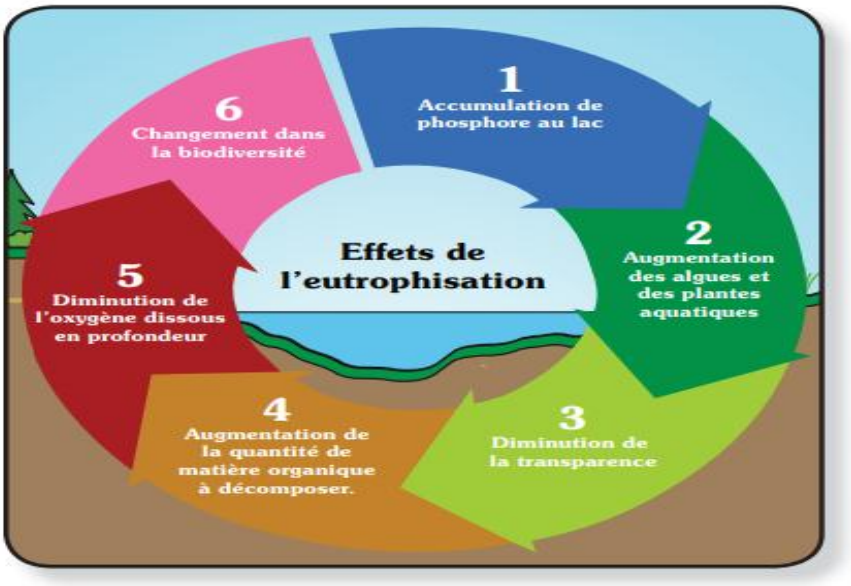


Figure 2: Les grandes étapes et conséquences de l'eutrophisation dans un lac (Laurentides, 2009)

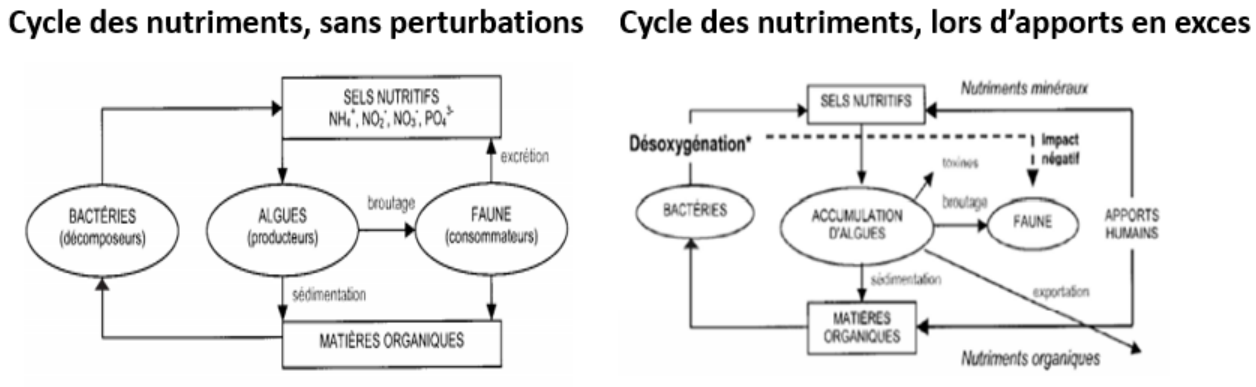


Figure 3: Fonctionnement du cycle des éléments nutritifs dans les conditions d'équilibre écologique et lors des apports excessifs en nutriments dans l'eau (Galvez-Cloutier et al., 2000).



Figure 4:Photos du 8/9/2018 : changement de la couleur des eaux du lac Tanganyika suite à la prolifération des algues dû à la montée des eaux profondes riches en nutriments

C'est du boom planctonique. Les planctons sont des organismes microscopiques animal [zooplancton] et végétal [phytoplancton] qui servent de base de la nourriture des poissons. Dans des conditions normales, il y a régulation automatique de tous ces organismes dans l'eau via la relation trophique c'est-à-dire de la chaine alimentaire. A partir du moment où on enregistre beaucoup d'activités anthropiques autour du lac qui y rejettent beaucoup d'effluents qui apportent trop de nutriment dans le lac, le milieu s'enrichit en NPK (Azote, Phosphore et Potassium) qui favorise alors la prolifération des planctons dans le lac. Pendant la période des vents violents, ces organismes planctoniques qui ne peuvent se mouvoir que par courant d'eau prennent alors l'essor de s'éparpiller sur toute la surface du lac obstruant ainsi la pénétration de l'oxygène de la surface vers le fond et c'est cela qui est alors à la base de la mort des poissons par asphyxie (Devidal et al., 2007).

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

2.1.1. Localisation des sites d'échantillonnage

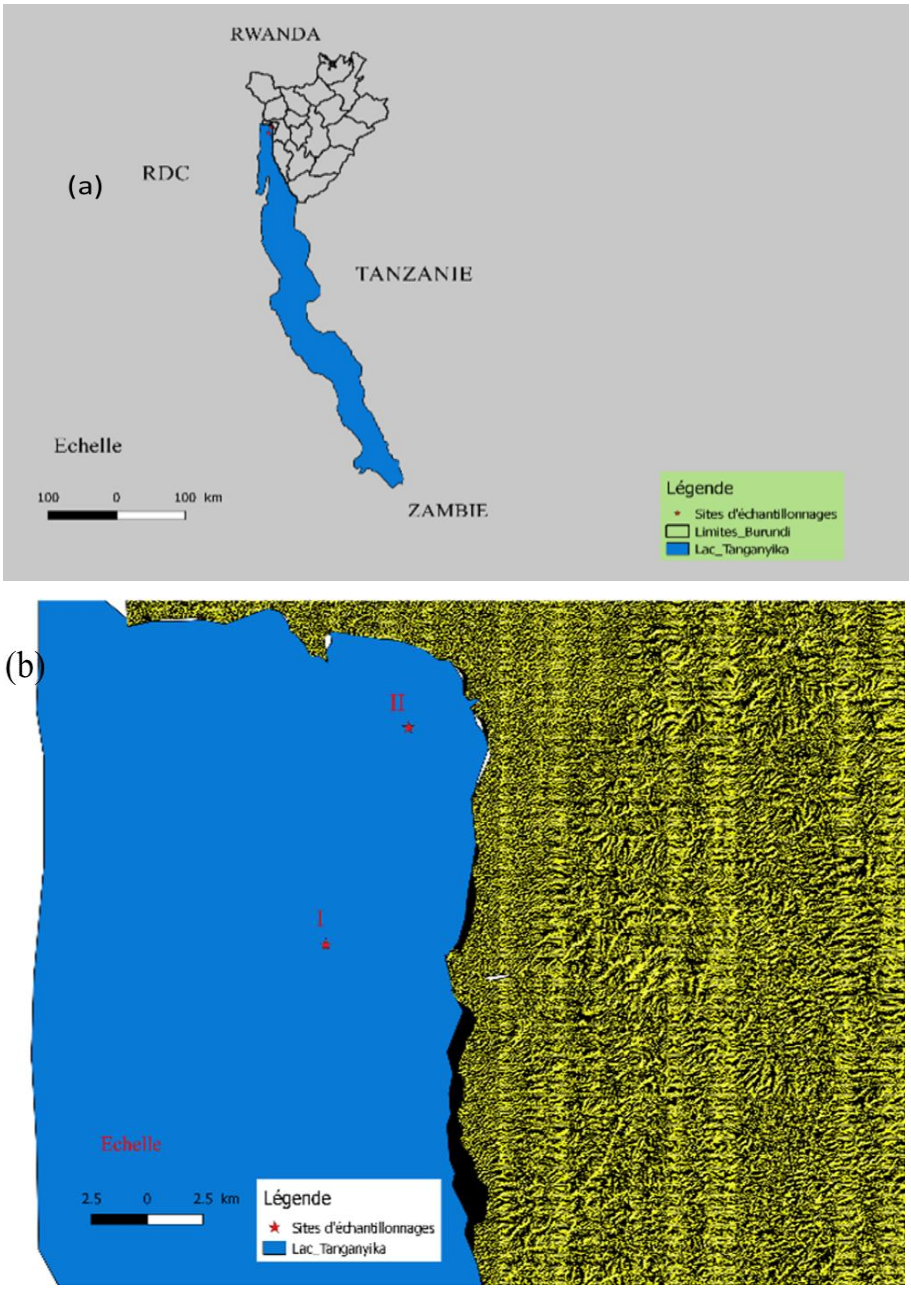


Figure 5:Localisation des sites d'échantillonnage (a : Limites du lac Tanganyika et les sites d'échantillonnage b : Nord-Est du lac Tanganyika et les sites d'échantillonnage

2.1.2. Description des sites d'échantillonnage

Les activités d'échantillonnage ont été effectuées dès le matin, généralement entre 8h30 et 13h30, à l'aide d'un petit bateau à moteur du Cercle Nautique de Bujumbura. Le géoréférencement de chaque site a été effectué à l'aide d'un GPS de marque GARMIN etrex 10. Le tableau 3 montre les coordonnées géographiques ainsi que les caractéristiques du milieu :

Tableau 3: Localisation et coordonnées géographiques des sites d'échantillonnage

Site 'échantillonnage	Localisation	Coordonnées géographiques
site I	Large de Nyamugari	Sud: 03°28´00'' Est : 029°17'00''
site II	A 3.5 km de la tempête de Bujumbura. Il correspond au site de captage de la REGIDESO	Sud: 03°23´00'' Est : 029°19'00''



Figure 6: Photos illustrant les sites d'échantillonnage (A: Premier site, B : deuxième site avec la bouée de signalisation du site de captage de la REGIDESO)

2.1.3. Chronogramme et conditions d'échantillonnage

La collecte des données a été effectuée entre avril et juillet 2020. Pour chacun des deux sites retenus, 4 collectes d'échantillons ont été faites entre 9h00-13h30min pour le site I et entre 9h00-10h40min pour le site II. Le tableau 4 ci-dessous nous montre le chronogramme suivi par cette campagne.

Tableau 4: Chronogramme et conditions d'échantillonnage

sites	dates	période	heures	conditions du lac
	23/04/2020	Semi-pluvieuse	10h37-13h27	lac semi-agité
	12/05/2020	Saison sèche	9h56-11h45	lac agité
	02/06/2020	Saison sèche	9h19-11h44	lac calme
Site I	07/07/2020	Saison sèche	9h14-11h57	lac très calme
	05/05/2020	Saison sèche	9h15-10h39	lac semi-calme
	6/05/2020	Saison sèche	9h15-10h36	lac calme
	16/06/2020	Saison sèche	9h33-10h30	lac calme
Site II	21/07/2020	Saison sèche	9h12-10h34	lac calme

2.2. Mesure des variables caractéristiques du milieu

2.2.1. Les paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés in Situ

La température, l'oxygène dissous, TDS, la turbidité, le pH, la conductivité électrique et la transparence de l'eau ont été mesurés in situ ainsi que la profondeur pour le site II seulement. La température et l'oxygène dissous ont été mesurés à l'aide d'un oxymètre portable de terrain (de marque Oxi 3315 Set 1). La conductivité électrique, TDS et le pH ont été mesurés avec une multisonde, electrochemical analyser (marque Consort C6010) utilisant plusieurs électrodes spécifiques. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre (marque TURBIQUANT 1100 IR). La transparence de l'eau a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi de 20 cm de diamètre. La profondeur a été mesurée pour le site II seulement selon la capacité de l'échosondeur utilisée, elle ne mesure pas la profondeur supérieure à 50 m (marque PLASTIMO ECHOTEST II). Cet appareil est incapable de détecter les plus grandes profondeurs comme celles du site I.

2.2.2. Prélèvement, conservation et traitement de l'échantillon analysé au laboratoire

Après les mesures des paramètres physico-chimiques in situ, un échantillon d'eau a été récolté à chaque site et profondeur à l'aide d'une bouteille de Van Dorn présentant un système d'ouverture et de fermeture actionnée par un messager. La bouteille est munie d'un tuyau de vidange. A cette bouteille est attachée une corde graduée permettant d'envoyer la bouteille d'échantillonnage à la profondeur voulue.

Après le prélèvement, l'échantillon a été directement conservé dans un bidon en polyéthylène de 5 litres et mis au froid dans une caisse à glaçons (glacière) et à l'abri de la lumière. Pour le site I, onze échantillons d'eau ont été prélevés à chaque intervalle de 10 m de la surface jusqu'à 100 m de profondeur c'est-à-dire à 0m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 90 m et 100 m. Pour le site II, six échantillons ont été prélevés à différentes profondeurs c'est-à-dire 0m, 1m, 10m, 15m, 25m et 35m du fait de la petite profondeur du site. Les échantillons ont été acheminés vers le laboratoire de l'Université du Burundi situé à la Faculté des sciences (laboratoire de chimie analytique) au département de Chimie. Dès l'arrivée au laboratoire, l'eau était filtrée d'abord sur des filtres (marque VWR dont la rétention des particules est de 1,5µm) de porosité 0,7µm gardée dans des flacons bien propres qui étaient ensuite conservés dans une glacière au froid et à l'abri de la lumière. Cette eau filtrée était conservée à 4˚C en attente des différentes analyses et dosage des principaux nutriments et de la pollution organique

2.2.3. Dosage des nutriments

Le dosage des nutriments (phosphates, nitrates et ammonium) a été réalisé par des techniques standardisées d'analyses spectrophotométriques UV-Visible d'eau filtrée (marque 6705 UV/Vis.Spectrophotometer) selon les méthodes décrites par Rodier(2009). La technique consistait à transformer l'ion à doser sous forme d'un complexe coloré présentant un pic d'absorption dans le domaine d'UV-Visible. Les calculs stœchiométriques étaient effectués via la loi de Beer-Lambert permettant de convertir l'absorbance (A) mesurée à cette longueur d'onde, en concentration (C) du complexe par ajout des quantités adéquates de réactifs appropriés : acide ascorbique, salicylate de sodium, réactif de Nessler respectivement pour les phosphates, les nitrates et l'ammonium.

2.2.4. Dosage de la pollution organique

La demande chimique en oxygène (DCO) est mesurée avec des tubes tests contenant tous les réactifs nécessaires à la minéralisation et à l'apparition de la couleur. Elle s'est déroulée en deux étapes. Une étape de la minéralisation dans un bloc chauffant avec des solutions préparées (réactif acide et la solution de digestion à haut niveau). Deux et demi millilitres d'échantillon ont été additionnés aux réactifs et portés à 148 °C pendant 2 heures dans un minéralisateur. Ensuite, on a laissé refroidir à la température ambiante. La seconde étape a été celle de la mesure de la concentration dans un photomètre Palin Test modèle DR 7500 à une longueur d'onde de 490 nm.

La demande biochimique en oxygène a été mesurée à l'aide d'un DBO-mètre. Un volume d'eau correspondant à la gamme d'estimation de la DBO_5 par rapport à la DCO du même échantillon a été versé dans le flacon en verre brun contenant un barreau magnétique. Deux pastilles de soude caustique (NaOH) ont été ensuite introduites dans le godet en caoutchouc. La soude caustique a pour rôle d'absorber le CO_2 produit lors de l'oxydation des matières organiques. Le tout est placé dans un incubateur qui assure une température constante de 20°C à l'obscurité. La quantité d'oxygène est enregistrée toutes les 24 heures par l'OxiTop sur une période de 5 jours. La DBO_5 exprimée en mg O_2 /l est obtenue par multiplication de la valeur enregistrée au jour 5 par un facteur déterminé selon la gamme de DCO.

2.3. Analyse et traitement des données

Les tableaux-synthèses des données, la statistique descriptive (détermination des moyennes) et la construction des graphiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Microsoft Excel (version 2013) sous Microsoft Windows 10.

CHAPITRE III. PRESENTATION DES RESULTATS

Nous allons présenter les résultats site par site. Ces deux sites échantillonnés diffèrent du point de vue de leurs situations géographiques. Le site I est très éloigné du site II. Ce dernier est proche de la zone littorale par rapport au premier. Le site I est plus profond que le site II.

3.1. Site I

3.1.1. Principaux paramètres physico-chimiques mesurés in Situ

Les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés in Situ (la transparence, température, oxygène dissous, conductivité, pH, Turbidité et TDS) sont reprises dans le tableau en annexe I et représentées graphiquement sur la figure 7 pour chacun des paramètres. La transparence relevée au mois de Juin et de Juillet est double de celle observée au mois d'Avril. Au cours de toute la période d'échantillonnage elle a augmenté d'Avril à Juillet en passant de 5,4 m à 10,8 m (figure 7.A). La température, l'oxygène dissous, le pH et la conductivité électrique diminuent généralement avec l'augmentation de la profondeur. La température de l'eau diminue avec la profondeur en formant des gradients thermiques verticaux selon la date d'échantillonnage. Elle a varié de 27,8˚C à 25, 1 ˚C (Annexe I) sur la colonne d'eau échantillonnée entre 0m et 100 m de profondeur. Les mois d'Avril, Mai et Juin ont montré que la colonne d'eau est fortement stratifiée avec une profondeur de la thermocline variable entre 40-90m (figure 7.B). Au mois de juillet, pas de gradient de température et la thermocline n'a pas été atteinte (figure 7.B). L'oxycline affiche une profondeur variable entre 50 à 80m en passant des teneurs en oxygène dissous de 6,82mg/l à 0,192mg/l (figure 7.C). La conductivité varie de 611 à 630 µS/cm (figure 7.E), le pH oscille entre 9,11 et 8,23(figure 7.D), la turbidité varie de 5,13 à 0,08 NTU (figure 7.F) et TDS varient de 335 à 342mg/l (figure 7.G). Les valeurs du pH et de la turbidité diminuent avec l'augmentation de la profondeur tandis que celles de la conductivité et du TDS semblent augmenter leurs valeurs avec l'augmentation de la profondeur. Les résultats bruts par date d'échantillonnage sont présentés dans le tableau en annexe I. Il découle de l'analyse de la figure 7 trois résultats à savoir :

1˚ Durant la période d'échantillonnage, la transparence de l'eau varie du simple au double d'Avril-Mai à Juin-Juillet (figure 7.A)

2˚ La profondeur de la thermocline et de l'oxycline augmente au cours de la période d'échantillonnage jusqu'au-delà de notre profondeur d'échantillonnage (figure 7.B et 7.C)

3˚ Les autres paramètres physico-chimiques montrent des tendances affichant généralement une diminution avec la profondeur (figure 7.D, E et G) ou une tendance variable et moins claire (figure 7.F)

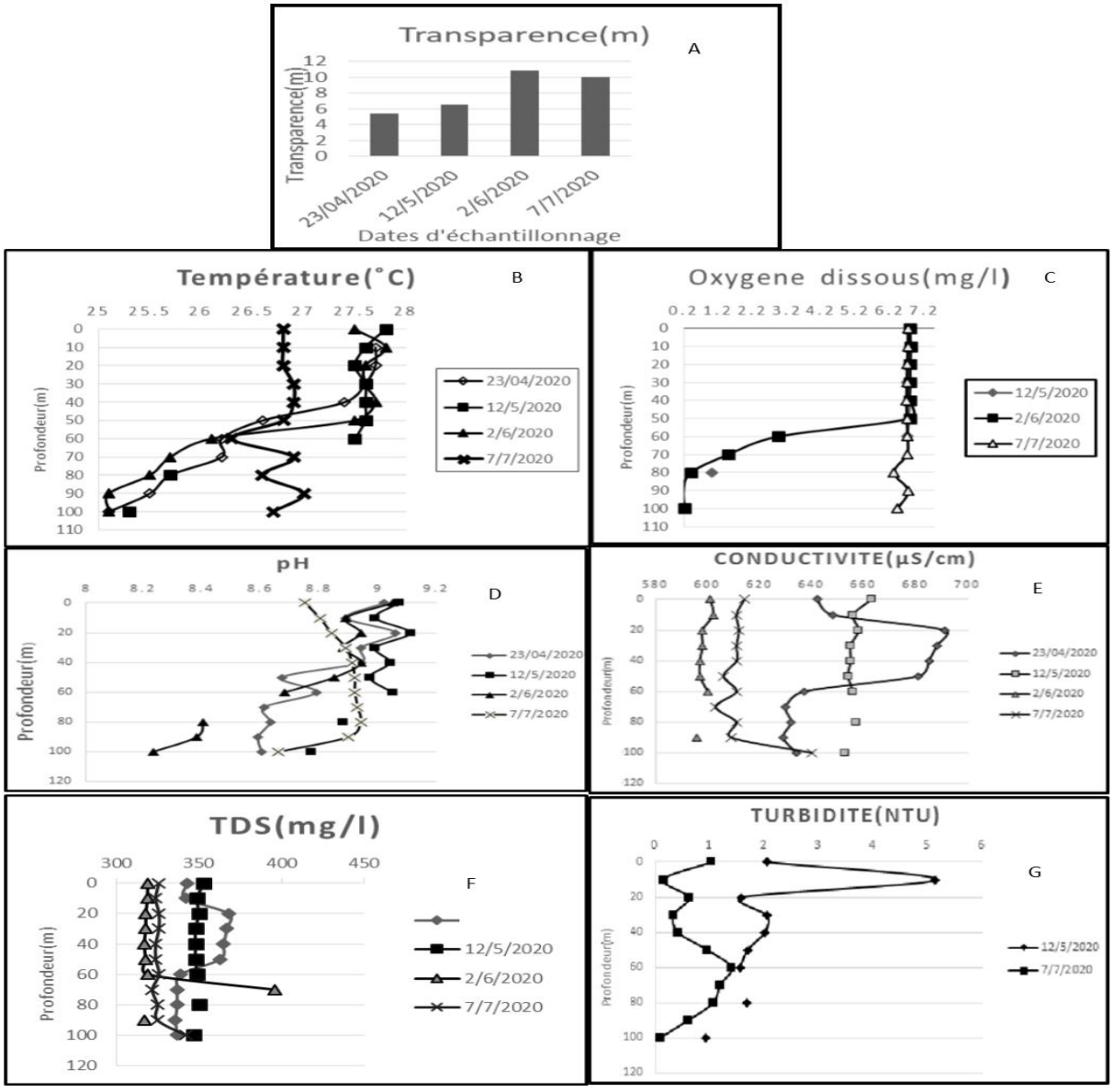


Figure 7: Résultats de la transparence, de la température, de l'oxygène dissous, du pH, de la conductivité, du TDS et de la turbidité pour le site I

3.1.2. Principaux nutriments dosés

Les concentrations de 3 nutriments totaux dosés (phosphates, nitrates et ammonium) pour les différentes dates sont notées dans le tableau en annexe I et représentées graphiquement sur la figure 8. La concentration en phosphates est élevée dans l'épilimnion et dans l'hypolimnion au mois d'Avril (figure 8.A). Cette concentration est basse dans ces deux couches au mois de Mai (figure 8.A). Juin-Juillet, la concentration en phosphates semble être instable mais ayant tendance à augmenter dans l'hypolimnion (figure 8.A). Au mois d'Avril, la concentration en nitrates est élevée dans le metalimnion (figure 8.B). Les nitrates augmentent la concentration dans l'épilimnion au mois de Mai (figure 8.B). De Juin à Juillet, la concentration en nitrates est élevée dans l'épilimnion et basse dans l'hypolimnion (figure 8.B). La concentration en ammonium augmente avec la profondeur au mois d'Avril passant de 0,72 à 9,36mg/l et ne varie pas au mois de Juillet (figure 8.C). La concentration en phosphates est très élevée par rapport à la concentration en nitrates dans toutes les profondeurs (figure 8.A et 8.B).

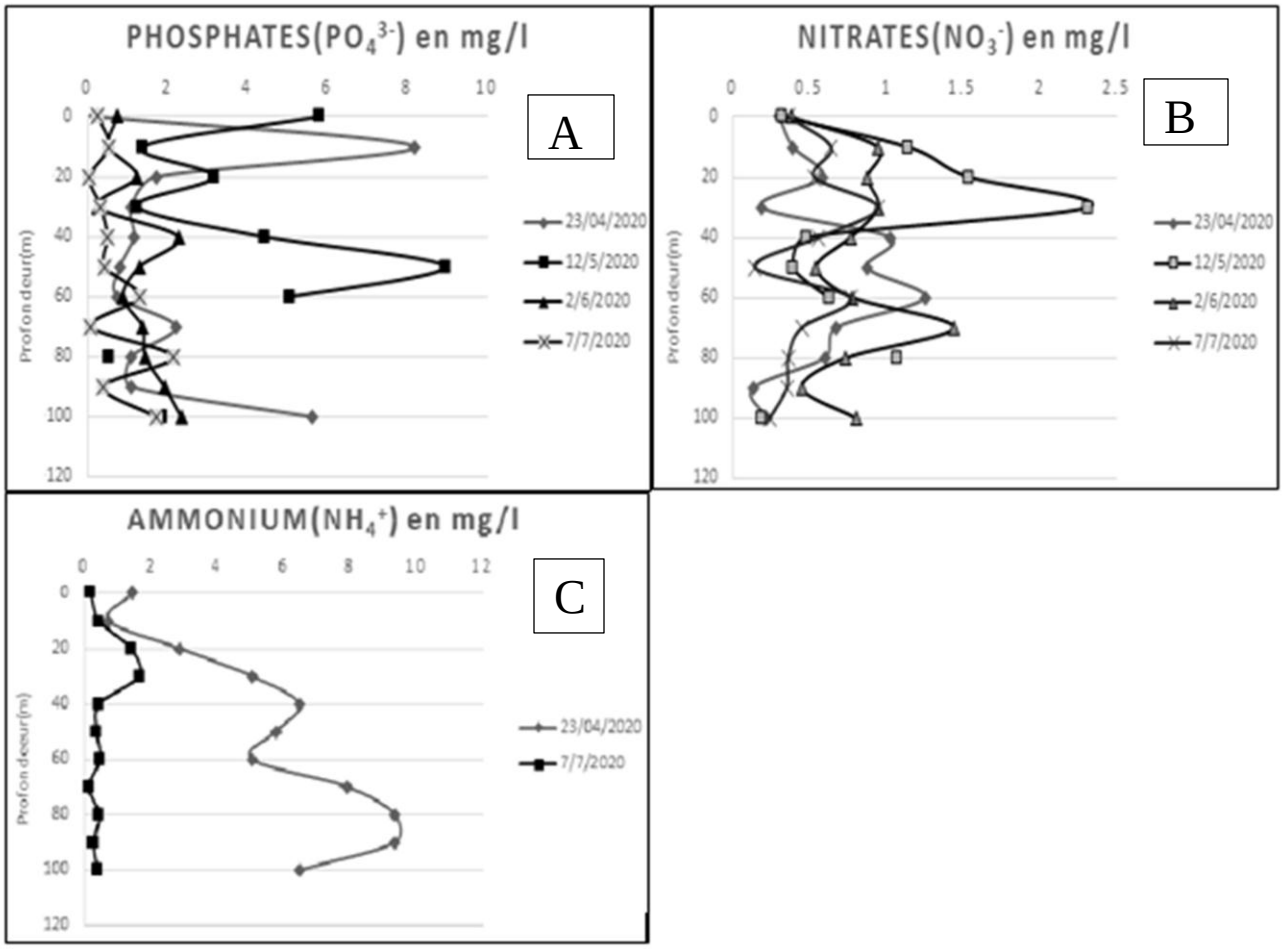


Figure 8: Résultats des phosphates, nitrates et ammonium pour le site I

3.2. Site II

3.2.1. Principaux paramètres physico-chimiques mesurés in Situ

Les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés in Situ (la transparence, température, oxygène dissous, conductivité, pH, Turbidité et TDS) sont reprises dans le tableau en annexe II et représentées graphiquement sur la figure 9. La transparence augmente de Mai à Juillet passant de 2,26m à 5,19m (figure 9.A). La température diminue de Mai à Juillet passant de 28,3˚C à 26,4˚C (figure 9.B). La teneur en oxygène dissous semble diminuer avec la profondeur passant généralement de 6,86mg/l à 6,54mg/l (figure 9.C). Le pH varie de 9,09 à 8,69 (figure 9.D), la conductivité varie de 605 à 682 µS/cm (figure 9.E) et TDS varient de 323 à 359mg/l (figure 9.F). De Juin à Juillet, la valeur de la turbidité diminue passant de 4,61 à 1,03NTU (figure 9.G). La turbidité est élevée au mois de Mai surtout dans les eaux profondes (figure 9.F). Les valeurs de la température, de l'oxygène dissous, du pH et de la turbidité semblent diminuer de Mai à Juillet et des eaux superficielles vers les eaux profondes, ce qui est l'inverse pour la conductivité et les TDS. La conductivité et TDS sont corrélés positivement, si la valeur de la conductivité augmente, celle de TDS augmente aussi. Il ressort de ces résultats que :

1˚ Le site n'est pas thermiquement stratifié et la colonne d'eau est quasi-homogène (figure 9.B).

2˚ La transparence (figure 9.A) est généralement faible par rapport au site I.

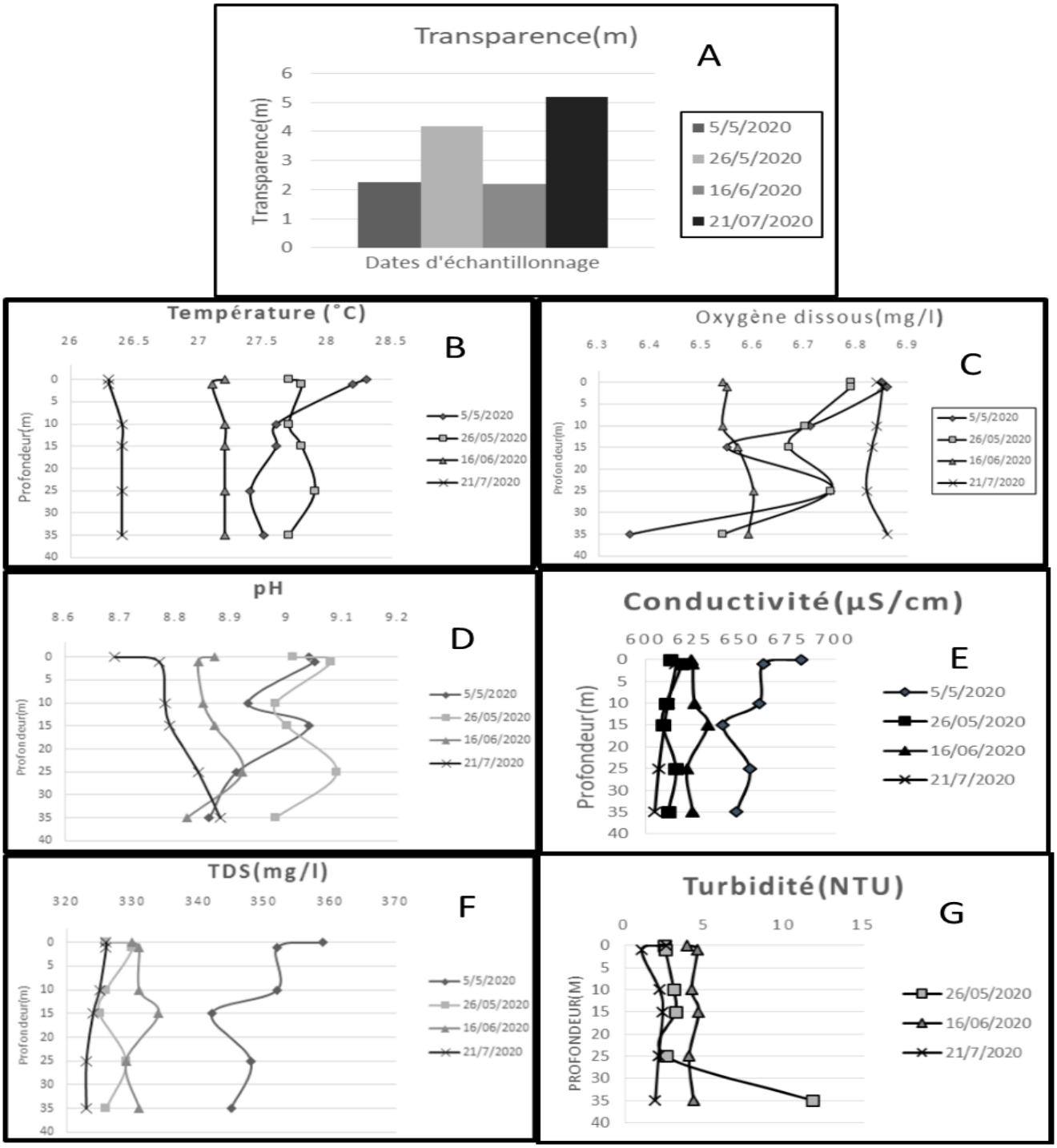


Figure 9: Résultats de la transparence, de la température, de l'oxygène dissous, du pH, de la conductivité, du TDS et de la turbidité pour le site II

3.2.2. Principaux nutriments dosés

La figure 10 montre les concentrations de 3 nutriments dosés (phosphates, nitrates et ammonium) en mg/l et les données brutes sont décrites dans le tableau en annexe II. Au mois de Mai, les valeurs des concentrations en phosphates (figure 10.A) et en nitrates (figure 10.B) semblent augmenter des eaux superficielles vers les eaux profondes. De Juin à Juillet, les valeurs des concentrations en phosphates semblent diminuer des eaux superficielles vers les eaux profondes (figure 10.A). Ces concentrations augmentent aussi de Mai à Juillet. Il ressort de ces résultats que :

1˚ Les valeurs des concentrations des nutriments sont restées instables mais ayant tendance à augmenter avec la profondeur (figure 10.A et 10.B).

2˚Les valeurs des concentrations en phosphates semblent augmenter de Mai à Juillet (figure 10.A) et celles des nitrates semblent diminuer au cours de la même période (figure 10.B). Les concentrations en ammonium sont élevées à 10 m (figure 10.C).

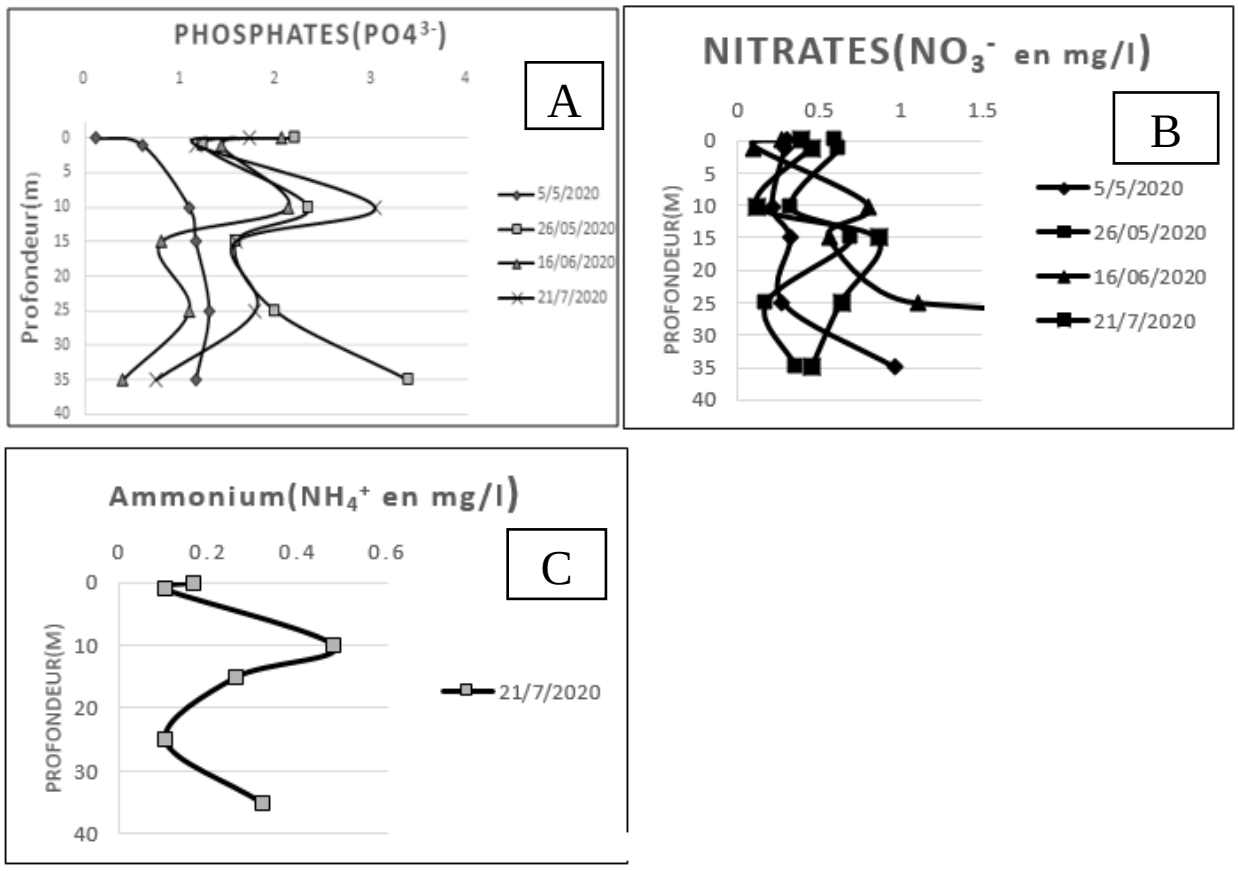


Figure 10: Résultats des nutriments (phosphates, nitrates et ammonium) pour le site II

3.2.3. La pollution organique au site II

Les valeurs des paramètres de la pollution organique analysée (DCO et DBO_5) sont données en annexe II et représentées graphiquement sur la figure 11. Ces deux paramètres évoluent dans le même plan (figure 11.A et 11.B). Leurs valeurs sont élevées au mois de Mai et aussi dans les eaux superficielles que dans les eaux profondes. Une valeur très élevée de la DCO (138mg O_2/l) est mesurée à 10m (figure 11.A). De même, celle de la DBO_5 (10,5mg O_2/l) est élevée à cette même profondeur (figure 11.B).

1˚La concentration de la pollution organique est élevée dans les eaux superficielles de la colonne d'eau de 1 à 15m de profondeur (figure 11.A et 11.B).

2˚ Les valeurs de la DCO et de la DBO_5 diminuent de Mai à Juillet respectivement de 330 à 4 mg O_2/l (figure 11.A) et de 20 à 2 mg O_2/l (figure 11.B)

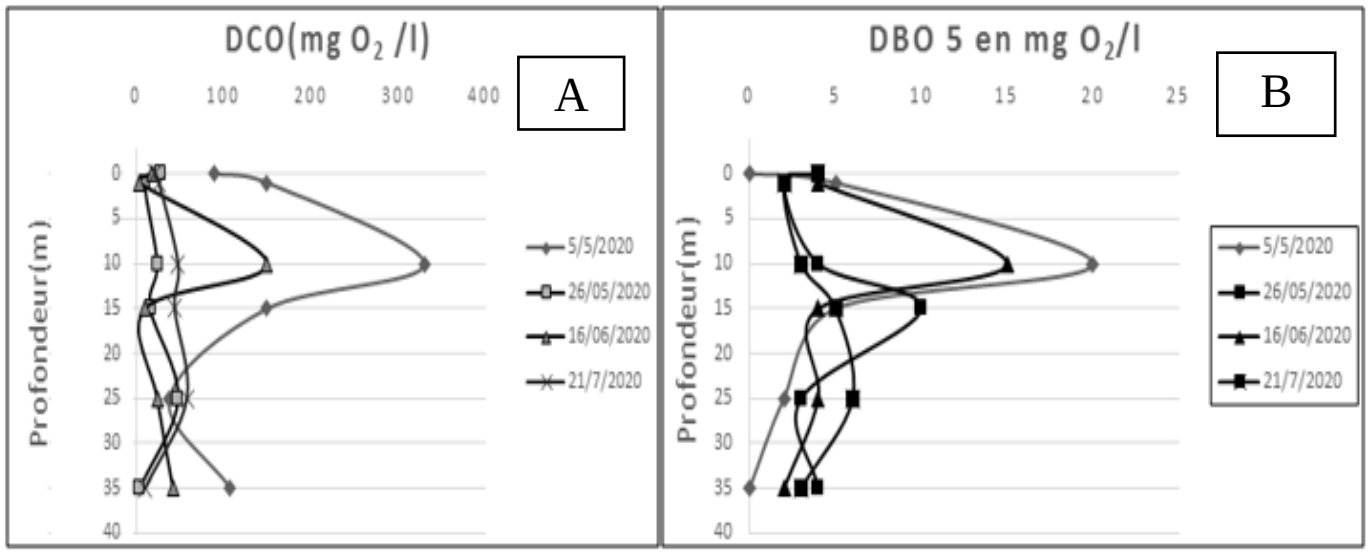


Figure 11: Résultats de la DCO et *DBO5* pour le site II

CHAPITRE IV: DISCUSSION DES RESULTATS

4.1. Caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau

La transparence mesure la profondeur de pénétration de la lumière dans l'eau et montre à quel point l'eau est claire. Elle est fondamentale et importante car les plantes aquatiques ont besoin de la lumière du soleil pour effectuer la photosynthèse. Notre étude montre une valeur variant de 5,4 m à 10,8 m (site I) respectivement d'Avril à Juillet avec une moyenne de 8,18 m, la valeur la plus élevée a été relevée au mois de Juin et la plus basse au mois d'Avril (figure 7.A). Cette valeur est proche de celle relevée par Plisnier et al. (1999) qui avaient trouvé 8 à 10 m c'est-à-dire 9 m de profondeur pendant toute la saison sèche. Nahimana et al. (2008) avaient relevé une transparence de 12,5 m pour les mois de Mars à Juin. La transparence est de 7 à 12 m (Plisnier et al.,2009). Elle varie aussi de 2,26 à 5,19 m (site II) respectivement de Mai à Juillet avec une moyenne de 3,46 m, la valeur la plus élevée a été enregistrée au mois de Juillet et la plus basse au mois de Mai (figure 9.A). Dans la présente étude, des lectures du disque de Secchi basses ont coïncidé avec des niveaux élevés de la turbidité au mois de Mai (Figure 9.A et G). Elle peut être attribuée d'une part à l'abondance des particules en suspension (argile, limon,..), au ruissellement de surface rempli de matière organique (sol, morts,…) du bassin versant et d'autres affluents dans le lac Tanganyika et aux communautés de zooplancton qui contribuent à la clarification de l'eau du lac par le phytoplancton (Coulter et al., 1991, Plisnier et al.,1999). Les figures 7.A et 9.A montrent que la transparence des eaux du lac Tanganyika varie beaucoup selon l'endroit.

La température est un facteur environnemental primaire qui affecte et régit les activités biologiques et la solubilité des gaz dans l'eau. Toute augmentation de la température de l'eau diminue la concentration des gaz tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone et le soufre (Blanc, 2000). Les valeurs de la température enregistrées pour le présent travail varient de 27,8˚C à 25, 1 ˚C sur la colonne d'eau échantillonnée de 0 m à 100 m de profondeur (figure 7.B) et de 28,3˚C à 26,4˚C sur la colonne d'eau échantillonnée de 0 à 35m de profondeur (figure 9.B). La stratification thermique a été observée au site I sauf au mois de Juillet (figure 7.B). En mai-juin, les vents du Sud-Est poussent l'eau chaude de l'épilimnion vers le nord du lac. La profondeur de l'épilimnion augmente et par conséquent celle de l'hypolimnion surtout au mois de Juillet. Cela entraîne un basculement de l'épilimnion (Plisnier et al.1999). L'épilimnion s'étendait généralement de la surface à des profondeurs comprises entre 0 et 50 m et la thermocline

s'étendait généralement de 50 à 80 m. Cette observation fut constatée par Plisnier et al. (1999) qui avait délimité la thermocline entre 50-100m. Selon Nahimana et al. (2008), le gradient de la température s'observe aux profondeurs gravitant entre 30-90 m. L'eau de l'hypolimnion a été délimitée à environ 90 à 100 m, sauf pendant le mois de Juillet. Les valeurs moyennes de ce paramètre ont diminué d'avril à Juillet, de 0m à 100m de profondeur et montrent une stratification contrariant une absence de stratification au site II. Selon Manirakiza (2011), une nette stratification est constatée au mois de Février à Mars, la température varie entre 27,2 à 26,4˚C respectivement de 1 à 40m de profondeur. Nos résultats (figure 9.B) diffèrent de ceux trouvés par Manirakiza (2011). Cela est dû à la saison d'échantillonnage. La colonne d'eau serait stratifiée de Février à Mars et homogène de Mai à Juillet. La saisonnalité influe beaucoup sur la température et cela est dû aux caractéristiques naturelles de cet écosystème basées sur sa stratification permanente (Coulter et al.1991, Kelly et al., 2001, Coulter et al.,1994). Dans le lac Tanganyika, le maximum de stratification se produit pendant la saison des pluies entre octobre et avril (Hecky et al., 1991).

L'oxygène dissous montre des valeurs variant de 6,82 mg/l à 0,192 mg/l (figure 7.C) sur la colonne d'eau échantillonnée entre 0 m et 100 m de profondeur et de 6,86 mg/l à 6,54 mg/l sur la colonne d'eau échantillonnée entre 0 et 35 m de profondeur (figure 9.C). L'oxycline a été observée au site I sauf au mois de Juillet (figure 7.C) et entre 50-80m de profondeur. Le gradient de l'oxygène dissous gravite entre 40-70 m (Nahimana et al., 2008) et entre 50-80 m (Plisnier et al., 1999), ce qui corrobore nos résultats sur le site I. La concentration en oxygène dissous diminue avec la profondeur dans la colonne de 1 à 40 m (Manirakiza 2011) au niveau du site II. Cette concentration serait basse de Février à Mars et élevée de Mai à Juillet.

Le potentiel d'hydrogène (**pH**) affiche des valeurs variant de 9,11 à 8,23 (figure 7.D) et de 9,09 à 8,69 (figure 9.D). Ces valeurs de pH sont proches de celles mesurées par Coulter et al. (1994) qui s'échelonnent de 9,2 à 8,6. Des valeurs élevées de pH ont été publiées pour le Nord du lac Tanganyika et se situaient entre 9,4 et 8,4 (Plisnier et al. 2001). Dans la couche photique, les valeurs du pH sont élevées et se situent généralement entre 9,5 et 8,3 (Nahimana et al., 2008). Ce paramètre est entre 7,8 et 9,5 (Ntakimazi,1995). La distribution verticale du pH a généralement montré une diminution avec l'augmentation de la profondeur et est probablement liée à l'activité photosynthétique des algues dans la couche photique qui consomme des ions bicarbonate (Plisnier et al.1999), ce qui est proche de notre fourchette de données sur le pH.

La conductivité électrique exprime la capacité d'une solution aqueuse à transporter le courant électrique et cette aptitude dépend du nombre d'ions libres présents dans l'eau (tels que Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO^{3-}, CO_3^{-}, NO_3^{-} et PO_4^{3-}). La conductivité est donc indicative de la teneur totale en ions et du niveau de fraîcheur de l'eau (Ogbeibu, 1995). Les résultats de notre travail indiquent une valeur gravitant de 630 à 611 µS/cm (figure 7.E) et de 682 à 605 µS/cm (figure 9.E). Ces valeurs sont similaires à celles trouvées par les recherches antérieures. Pour l'eau brute destinée à la consommation humaine, la valeur de la conductivité doit être ≤1100 µS/cm (OMS 2015) et ≤1400 µS/cm (WHO 2004). La conductivité est de 665µS/cm (Branchu et Bergonzini, 2004). Elle est entre 578,0 et 744,0 µS/cm avec une valeur moyenne de 636 µS/cm (Ntakimazi 1995). La conductivité électrique des eaux du lac Tanganyika serait autour de 600 µS/cm.

Les solides dissous totaux (**TDS**) représentent les phosphates de calcium, les nitrates, le sodium, le potassium et le chlorure qui se trouvent dans les eaux. Certains solides totaux dissous présents à l'état naturel proviennent de l'altération et de la dissolution des roches et des sols. Le total des solides dissous (TDS) est une mesure des sels inorganiques, de la matière organique et d'autres matières dissoutes dans l'eau (U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1986). Notre étude montre une valeur gravitant entre 300 et 400 mg/l. Elle varie de 317 à 396 mg/l (figure 7.F) et de 323 à 359 mg/l (figure 9.F). Les changements dans les concentrations de TDS dans les eaux naturelles résultent souvent d'effluents industriels, de modifications du bilan hydrique (en limitant les apports, en augmentant la consommation d'eau ou en augmentant les précipitations ou de l'intrusion d'eau salée) (Weber-Scannell et al., 2007).

La turbidité est la suspension de particules dans l'eau et qui interfèrent avec le passage de la lumière. La turbidité mesure les propriétés de transmission de la lumière de l'eau et est composée de matériaux en suspension et colloïdaux. Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau sont les suivantes : NTU<5 : eau claire, 5<NTU<30 : eau légèrement trouble et NTU>50 : eau trouble (OMS 2015, WHO 2002). Au cours de la présente étude, la turbidité a varié entre 5,13 et 0,08NTU (figure 7.G) et de 13,42 à 1,03NTU (figure 9.G).La valeur la plus élevée est mesurée au mois d'Avril et la plus basse au mois de Juillet (figure 7.G). Cela pourrait être dû à la diminution des apports fluviaux dont la concentration augmente pendant la saison pluvieuse. D'après la figure 9.G, la plus grande valeur est mesurée en Mai et la plus basse au mois de Juillet (figure 9.G). Plisnier et al.1999 ont aussi montré des valeurs proches variant de 0,32 à 0,33NTU respectivement aux stations de Bujumbura/Uvira et de

Mpulungu. Aux mois d'Avril et de Mai, l'eau est légèrement trouble (5<NTU<30) tandis que l'eau est claire au mois de Juillet (NTU<5). La diminution de la production planctonique et des apports fluviaux pourraient expliquer la raison.

4.2. Profils verticaux et temporels des nutriments dosés

Les nutriments sont des éléments vitaux nécessaires à la croissance des algues qui affectent fortement le processus d'eutrophisation dans les lacs. Les trois nutriments examinés (les phosphates, les nitrates et l'ammonium) affichent des concentrations nettement instables suivant les différentes profondeurs.

Les phosphates montrent généralement une homogénéité en concentration de 0 à 100 m de profondeur et d'Avril à Juillet (figure 8.A) avec tendance d'augmenter dans les eaux profondes passant de 8,17 à 0,04 mg/l (figure 8.A) .La valeur la plus élevée a été enregistrée au mois d'Avril et la plus basse au mois de Juillet (Annexe I). Les moyennes de concentration en phosphates sous forme de PO_4^{3-} pour la colonne d'eau de 0 à 100m varient de 0,13 à 0,15 mg/l (Plisnier et al.1999). Elles varient entre 0,00 à 0,01 mg/l (Ntakimazi, 1995). Les valeurs des phosphates restent encore homogènes dans les profondeurs de 0 à 35 m et de Mai à Juillet (figure 10.A). La valeur la plus élevée a été trouvée au mois de Mai et la plus basse au mois de Juillet (Annexe II). Les phosphates pourraient montrer une stratification de Février à Mars (Manirakiza et al., 2011). Les phosphates pourraient avoir une concentration élevée pendant la saison pluvieuse que dans la saison sèche. Cela pourrait être dû aux apports industriels et ménagers à travers les affluents du lac Tanganyika.

Les nitrates affichent des valeurs variant de 2, 31 à 0,14 mg/l et d'Avril-Mai à Juin –Juillet (figure 8.B). La valeur la plus élevée est enregistrée au mois de Mai et la plus basse au mois de Juillet (Annexe II). Nos résultats corroborent ceux de Ntakimazi (1995) qui a trouvé que la valeur des nitrates varie de 0,19 à 1,09 mg/l. Les valeurs des nitrates semblent montrer une homogénéité dans la colonne toujours avec tendance d'augmenter dans les eaux profondes. Elles varient de 1,097 à 0,1 mg/l (figure 10.B). La valeur élevée (trouvée dans les eaux profondes) et basse (trouvée à la surface de l'eau) ont été enregistrées au mois de Juin (Annexe II). Cela serait dû aux vents de la période d'échantillonnage qui font monter les eaux profondes riches en nutriments. Le lac était agité au mois de Juin. Cette faible concentration des nitrates aux mois d'Avril et de Mai pourrait être due à l'arrêt du processus de nitrification ou accélération du

processus de dénitrification. La concentration de l'azote total augmente en fonction de la profondeur (Manirakiza 2011). Les normes régissant la qualité d'eau potable recommandent une concentration en nitrates <45mg/l (WHO, 2004), ce qui est le cas pour l'utilisation de l'eau comme source d'eau brute pour la REGIDESO.

Les concentrations d'**ammonium** varient d'Avril à Juillet avec les valeurs de 9,36 à 0,115 mg/l (figure 8.C). La valeur la plus élevée a été enregistrée au mois d'Avril et la plus basse au mois de Juillet (Annexe II). Cette valeur varie entre 0,36 et 0,92 mg/l (Ntakimazi 1995). L'ammonium semble afficher des concentrations nettement élevées dans les deux sites (figure 8.C et 10.C) augmentant de la surface vers les eaux profondes et décroissantes d'Avril à Juillet (Annexe I et II).

Les concentrations des nutriments augmentent substantiellement avec la profondeur en raison de la production primaire qui se déroule dans l'épilimnion (Hecky et al., 1991). On observe une lente augmentation de la vitesse du vent qui correspond à la première moitié de la saison sèche (Plisnier et al., 1999, Nahimana et al., 2008), ce qui provoque des concentrations instables en nutriments.

4.3. Ampleur de la pollution organique près du site de captage de la REGIDESO

Dans la présente étude, la valeur de la DCO a varié de 4 à 330 mgO_2/l (figure 11.A). La plus grande valeur a été mesurée au mois de Mai à10 m de profondeur et la plus petite a été mesurée à la fin du mois de Mai et au mois de Juin (Annexe II). La valeur de la DCO diminue de Mai à Juin-Juillet et est très élevée dans la colonne d'eau à 10m de profondeur. La valeur de la DBO_5 a varié de 0 à 20 mgO_2/l (figure 11.B). La valeur la plus élevée et la plus petite ont été mesurées au mois de Mai (Annexe II). Les valeurs moyennes mensuelles de la DCO sont 144,3 ; 21,6 ; 41,3 et 34,6 mgO_2/l respectivement pour le 5/5/2020 ; 26/05/2020 ; 16/06/2020 et 21/7/2020. Les valeurs moyennes mensuelles de la DBO_5 sont 5,3 ; 4,5 ; 5,5 et 3,8 mgO_2/l respectivement pour le 5/5/2020 ; 26/05/2020 ; 16/06/2020 et le 21/7/2020. En analysant un peu plus en détail les ratios entre ces deux paramètres, le ratio DCO/DBO_5 égal à 27,22; 4,8 ; 7,5 et 9,1 respectivement pour le 5/5/2020 ; 26/05/2020 ; 16/06/2020 et le 21/7/2020 justifie au regard de la valeur classiquement connue ($1,25 < DCO/DBO_5 < 3$), (Edeline, 1997) que cette pollution organique est non biodégradable.

Dans les eaux de surface non polluées, la DCO est ≤ 20 mg O_2/l, elle est de 20 à 200 mg O_2/l pour les eaux modérément polluées et > 200 mg O_2/l pour les eaux très polluées (Chapman, 1997). La DBO des eaux superficielles non polluées est inférieure à 1mgO_2/l; les eaux modérément polluées ont une teneur en DBO allant de 2 à 9 mgO_2/l tandis que les eaux fortement polluées ont une valeur de DBO supérieure à 10 mgO_2/l (Adakole, 2000).

Les résultats de la DCO et de la DBO_5 montrent généralement que les eaux sont modérément polluées. Cela pourrait être dû aux effluents charriés à travers les rivières qui surplombent ce site surtout pendant la saison pluvieuse. Les rivières à proximité de la ville de Bujumbura sont fortement touchées par diverses formes de pollution de l'eau et cela affecte par conséquent le lac Tanganyika (Buhungu et al., 2018). Les rejets domestiques, le lessivage des terres, les rejets d'une savonnerie et ceux d'une Station d'épuration de Buterere à travers la rivière Kinyankonge constituent des sources majeures de pollution pour le lac Tanganyika qui est le milieu récepteur final (Niyungeko et al., 2011, Nsavyimana et al., 2015). L'utilisation des sols est de plus en plus modifiée et constitue également une menace pour la qualité de l'eau et la biodiversité des rivières et du lac Tanganyika dont ils sont les affluents (Cheng Yu et al., 2018).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Malgré la seule saison d'échantillonnage, la limite des moyens et les conditions d'échantillonnage ; les paramètres physico-chimiques ayant fait objet de la présente étude ont servi pour évaluer l'évolution de la qualité des eaux de la zone pélagique du bassin Nord du lac Tanganyika ainsi que leur variation spatio-temporelle (du site II vers le site I, des eaux superficielles vers les eaux profondes et d'Avril à Juillet). Toutefois, parmi les 12 paramètres physico-chimiques évalués, il a été constaté que :

- ✓ 5 paramètres ont généralement montré des valeurs habituellement mesurées (température, Oxygène dissous, pH, conductivité électrique et TDS). La température et l'oxygène dissous du site I ont montré que la partie Nord du lac Tanganyika demeure stratifié, méromictique et pseudoeutrophe. La colonne d'eau au site II est stable au cours de toute la saison d'échantillonnage.
- ✓ 5 paramètres (la transparence, la turbidité, les phosphates, les nitrates et l'ammonium) ont indiqué une dégradation de la qualité de l'eau au fur du temps par réduction de la transparence, augmentation de la turbidité et une concentration élevée des nutriments.
- ✓ 2 paramètres (la DCO et la DBO_5) nouvellement évalués dans la zone pélagique du lac Tanganyika révèlent une pollution organique au site II. Selon les valeurs moyennes mensuelles calculées et les normes de Chapman, ce site est modérément pollué.

Le site II est plus menacé de pollution que le site I. Généralement, la zone pélagique du bassin Nord du lac Tanganyika n'est pas polluée, l'eau est de bonne qualité. Toutefois,

- ❖ un monitoring annuel et continu avec un échantillonnage jusqu'à la profondeur maximale mettant en cause les problèmes liés à la sédimentation est indispensable.
- ❖ La surveillance de la qualité de l'eau devrait cibler la pollution chimique, la pollution par les sédiments, les paramètres microbiologiques et biologiques en même temps afin d'en relever certaines corrélations. En outre, il est important de relier les données physicochimiques aux habitats aquatiques afin d'obtenir des informations sur la manière dont les changements de la qualité de l'eau peuvent affecter les stocks de poissons et la biodiversité en général. Une étude multidisciplinaire est nécessaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Adakole, J. A. (2000). The effects of domestic, agricultural and industrial effluents on the water quality and biota of Bindare stream, Zaria-Nigeria. Department of Biological Sciences, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria, Ph. D Thesis, 256p.

2. Alabaster, J. S. & Lloyd, R.(1982).Water quality criteria for freshwater fish (2nd edit)..

3. Bailey-Watts, C. Foxall & K.West (2000). Lutte contre la pollution et autres mesures pour protéger la biodiversité du Lac Tanganyika (RAF/92/G32)

4. Bailey-Watts, T., Foxall, C., & Wiltshire, N. (1996). Pollution and its effects on biodiversity: baseline review. Pollution control and other measures to protect biodiversity in Lake Tanganyika-baseline review 4: pollution of international waters.

5. Bakevya, P., Hakizimana, G., & Baranemage, D. (1998). Etablissements humains, villes et industries (Synthèse). Lutte Contre la Pollution et Autres Mesures pour Protéger la Biodiversité du Lac Tanganyika Analyse Diagnostique Nationale-Burundi, pp07-11.

6. Barroin, G. (2003). Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatiques.

7. Barroin, G. (2004). On en parle encore-A propos de l'article" Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatique" par Guy Barroin.

8. Bergonzini, L. (1998). Les fluctuations du niveau du lac Tanganyika et les termes de référence de son bilan hydrique. In *International conference on tropical climatology, meteorology and hydrology. In memoriam Franz Bultot (1924-1995)* (pp613-637).

9. Bergonzini, L., Richard, Y., & Camberlin, P. (2002). Variation interannuelle du bilan hydrique du lac Tanganyika (1932–1995): changement dans la relation précipitation-excédent lacustre/Interannual variation of the water budget of Lake Tanganyika (1932–1995): changes in the precipitation-lake water excess relationship. *Hydrological sciences journal*, *47*(5), 781-796.

10. Bergonzini, L., Williamson, D., & Albergel, J. (2015). L'hydrologie et la limnologie autour du lac Tanganyika in book by CAZENAVE-PIARROT A. *Atlas des Pays du Nord-Tanganyika. Marseille, IRD Éditions*.

11. Blanc L. (2000). Données spatio-temporelles en écologie et analyses multi-tableaux : examen d'une relation. Thèse de doctorat de l'"Université Claude Bernard-Lyon 1. 266p.

12. Branchu P., Bergonzini L., Benedetti Ambrosi J.-P. & Klerkx, J., (2005). Sensibilité à la pollution méthanique de deux grands lacs africains (Tanganyika et Malawi). *Revue des Sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau 18/spécial :* p161-180.

13. Brion, N., Nzeyimana, E., Goeyens, L., Nahimana, D., & Baeyens, W. (1999). Nitrogen dynamics in northern Lake Tanganyika. Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (UNDP/GEF/RAF/92/G32). 12p.

14. Brion, N., Nzeyimana, E., Goeyens, L., Nahimana, D., Tungaraza, C., & Baeyens, W. (2006). Inorganic nitrogen uptake and river inputs in Northern Lake Tanganyika. *Journal of Great Lakes Research*, *32*(3), 553-564.

15. Buhungu, S., Houssou, A. M., Montchowui, E., Ntakimazi, G., Vasel, J. L., & Ndikumana, T. (2017). Etablissement du pollutogramme et de l'hydrogramme de la rivière Kinyankonge, Burundi. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *11*(3), 1386-1399.

16. Bultot, F. (1993). Evaporation from a tropical lake: comparison of theory with direct measurements: comment. *Journal of hydrology (Amsterdam)*, *143*(3-4), 513-519.

17. Calamari, D., & Naeve, H. (Eds.). (1994). *Review of pollution in the African aquatic environment* (No. 25). Food & Agriculture Org.

18. Carrieres, I. S. D. M. E. (1998). Par Salvator Ruzima Tharcisse Songore Bujumbura, Septembre. Secteur des mines et carrieres.

19. Chale, F. M. M. (2004). Inorganic nutrient concentrations and chlorophyll in the euphotic zone of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia*, *523*(1-3), 189-197.

20. Chapman DV. (1997). Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring; London, E & FN Spon.

21. Cheng Yu, Shuang Chen, Lu Zhang, Zhaode Wang, Qiushi Shen, & Qun Gao. (2017). Morphologie et caractéristiques de la distribution du phosphore dans les sédiments de surface des rivières qui se jettent dans le lac Tanganyika, dans la partie nord-est du lac. *Lake Science, 29(2),* 334-342.

22. Cohen, A. S., Talbot, M. R., Awramik, S. M., Dettman, D. L., & Abell, P. (1997). Lake level and paleoenvironmental history of Lake Tanganyika, Africa, as inferred from late Holocene and modern stromatolites. *Geological Society of America Bulletin, 109(4),* 444-460.

23. Coulter, G. W., & Spigel, R. H. (1991). Hydrodynamics. In Lake Tanganika and its life (pp. 49-75).

24. Coulter, G. W., Tiercelin, J. J., Mondegeur, A., Hecky, R. E., & Spigel, R. H. (1991). Lake Tanganyika and its life.

25. Cox, S. P., Martell, S. J., Walters, C. J., Essington, T. E., Kitchell, J. F., Boggs, C., & Kaplan, I. (2002). Reconstructing ecosystem dynamics in the central Pacific Ocean, 1952-1998I. Estimating population biomass and recruitment of tunas and billfishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *59*(11), 1724-1735.

26. Danley, P. D., Husemann, M., Ding, B., DiPietro, L. M., Beverly, E. J., & Peppe, D. J. (2012). The impact of the geologic history and paleoclimate on the diversification of East African cichlids. *International Journal of Evolutionary Biology*.

27. De Bioss, R. T. F. (2000). Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (RAF/92/G32) Lutte contre la pollution et autres mesures visant à protéger la biodiversité du Lac Tanganyika (RAF/92/G32).

28. De Bont, A. F. (1972). La productivité du lac Tanganika. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, *18*(2), 656-660.

29. Devidal, S., Rivard-Sirois, C., Pouet, M. F., & Thomas, O. (2007). Solutions curatives pour la restauration de lacs présentant des signes d'eutrophisation.

30. Dewitte, O., Dille, A., Depicker, A., Kubwimana, D., Mateso, J. C. M., Bibentyo, T. M., & Monsieurs, E. (2020). Constraining landslide timing in a data-scarce context: from recent to very old processes in the tropical environment of the North Tanganyika-Kivu Rift region. *Landslides*, 1-17.

31. Dorioz, J. M., & Trevisan, D. (2013). Le transfert diffus du phosphore dans les bassins agricoles: ordres de grandeur, mécanismes, maîtrise. *Revue EAT thématique*, 27-47.

32. Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, *81*(2), 163-182.

33. Edeline, F. (1997). Théorie et technologie des réacteurs. *L'épuration biologique des eaux*, 303.

34. Ehrenfels, B., Bartosiewicz, M., Mbonde, A. S., Baumann, K. B., Dinkel, C., Junker, J., & Sweke, E. A. (2020). Thermocline depth and euphotic zone thickness regulate the abundance of diazotrophic cyanobacteria in Lake Tanganyika. *Biogeosciences Discussions*, 1-21.

35. 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. *Action Against Hunger, USA*.

36. Foxall, C., Chale, F., Bailey-Watts, A., Patterson, G., & West, K. (2000). Pollution Special Study (PSS) Pesticide and heavy metals in fish and molluscs of Lake Tanganyika. Pollution Special Study (PSS), Pollution Control and

Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (RAF/92/G32), 1-12.

37. Galvez-Cloutier, Rosa, IZE, Sylvaine, & Arsenault, Sylvain. (2002). Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophi-sation. *Vecteur environnement* 35(6),18.

38. Groupe, C. R. E. Laurentides 2009. Les algues.

39. 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)*

40. Hecky, R. E. (1991). The pelagic ecosystem. *Lake Tanganyika and its life*, 90-110.

41. Hecky, R. E., & Fee, E. J. (1981). Primary production and rates of algal growth in Lake Tanganyika 1. *Limnology and Oceanography*, *26*(3), 532-547.

42. Huyghe, C. (2019). Food resources of Lake Tanganyika sardines.

43. Kakogozo, B., Kahindo, N., Mwenyemaile, B., & Drieu, O. (2000). Etude Hydrologique du Bassin Nord-Ouest du Lac Tanganyika (RD Congo). Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (UNDP/GEF/RAF/92/G32). 44p.

44. 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

45. Langenberg, V. (1996). The physical limnology of Lake Tanganyika, August-December 1995.

46. Langenberg, V. T. (2008). *On the limnology of Lake Tanganyika*.

47. Laura Sigg, Philippe Behra & Werner Stumm.(2006). Chimie des milieux aquatiques. Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. *4è édition. DUNOD Paris.*

48. Laurentides, C. R. E. (2009). L'oxygène dissous.

49. Lucinda C, Martin N. (1999). Oxford English Mini- Dictionary Oxford University Press Inc. New York. 200-535.

50. Lung'ayia, H., Sitoki, L., & Kenyanya, M.(2001).The nutrient enrichment of Lake Victoria (Kenyan waters). Hydrobiologia, 458, 75–82.

51. Lwikitcha, B. H., & Mwapu, P. I. (2012). Essai d'évaluation de l'influence des activités anthropiques sur la physico-chimie, la composition et l'abondance du plancton et des macroinvertébrés du littoral du lac Tanganyika (Cas des zones littorales le long de Bujumbura (Burundi) et Uvira (RD-Congo) au nord du lac).

52. McKinney, M. L. (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*, *52*(10), 883-890.

53. Nahimana, D., Brion, N., Baeyens, W., & Ntakimazi, G. (2008). General nutrient distribution in the water column of Northern Lake Tanganyika. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, *11*(1), 8-15.

54. Naithani, J., Plisnier, P. D., & Deleersnijder, E. (2011). Possible effects of global climate change on the ecosystem of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia*, *671*(1), 147-163.

55. Niyoyitungiye, L., Giri, A., & Mishra, B. (2019). Assessment of Physico-Chemical Characteristics of Water at Selected Stations of Lake Tanganyika, Africa with Special Emphasis on Pisciculture Purposes. *International Journal of Basic and Applied Biology*, *6*(3), 211-217.

56. Niyoyitungiye, L., Giri, A., & Mishra, B. P. (2019). Effect of Physico-Chemical attributes on the abundance and spatial distribution of fish species in Lake Tanganyika, Burundian coast. *International journal of advanced research*, *7*(12), 410-424.

57. Niyoyitungiye, L., Giri, A., & Mishra, B. P. (2020). Quantitative and qualitative analysis of phytoplankton population in relation to environmental factors at the targeted sampling stations on the Burundian littoral of Lake Tanganyika. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, *8*(1, Part B), 110-121.

58. Niyoyitungiye, L., Giri, A., Mishra, B., & Kar, D. (2020). The impact of abiotic environmental factors on the occurrence, assemblages and diversity of freshwater zooplanktons in Lake Tanganyika, Burundian littoral. *International Journal of Entomology Research*, *5*(5), 2455-4758.

59. Niyungeko, C. (2011). Evaluation de l'efficacité épuratoire de la station de lagunage de Buterere. Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master Complémentaire en Sciences de l'Environnement, Facultés des Sciences, Université du Burundi, 71p.

60. Nsavyimana, G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voies de valorisation des boues de vidange: Application à Bujumbura-Burundi (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).

61. Ntakimazi, G. (1995). Le rôle des écotones terre/eau dans la diversité biologique et les ressources du lac Tanganyika. *Projet UNESCO/MAB/DANIDA*, *510*, 1991-1994.

62. Ntakimazi, G. (1998). Le Point sur le Biodiversité dans les eaux burundaises du lac Tanganyika. Lutte contre la Pollution et autres mesures pour protéger la Biodiversité du Lac Tanganyika. Analyse Diagnostique Nationale-Burundi, 07-11.

63. Ogbeibu, A. E., & Egborge, A. B. M. (1995). Hydrobiological studies of water bodies in the Okomu Forest Reserve (Sanctuary) in southern Nigeria. 1. Distribution and diversity of the invertebrate fauna. *Tropical freshwater biology. Benin City*, *4*, 1-27.

64. Ogutu-Ohwayo, R., Hecky, R. E., Cohen, A. S., & Kaufman, L. (1997). Human impacts on the African great lakes. *Environmental Biology of Fishes*, *50*(2), 117-131.

65. O'Reilly, C. M., Alin, S. R., Plisnier, P. D., Cohen, A. S., & McKee, B. A. (2003). Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, *424*(6950), 766-768.

66. Pakistan, W. W. F. (2007). Pakistan's water at risk, water and health related issues and key recommendations. *Freshwater & Toxics Programme, Communications Division, WWF Pakistan*.

67. Paugy, D., & Levêque, C. (2019). Le lac Victoria: Un écosystème bouleversé par l'Homme. *IRD Éditions*.

68. Plisnier, P. D. (1994). Field manual for the second year of limnological sampling on Lake Tanganyika. FAO/FINNIDA Research for the Management of the Fisheries on Lake Tanganyika. GCP/RAF/271/FIN-FM/13 (En): 53 p.

69. Plisnier, P. D., Chitamwebwa, D., Mwape, L., Tshibangu, K., Langenberg, V., & Coenen, E. (1999). Limnological annual cycle inferred from physical-chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika. *In From limnology to fisheries: Lake Tanganyika and other large lakes (pp. 45-58). Springer, Dordrecht.*

70. Plisnier, P. D., Mgana, H., Kimirei, I., Chande, A., Makasa, L., Chimanga, J., ... & Naithani, J. (2009). Limnological variability and pelagic fish abundance (Stolothrissa tanganicae and Lates stappersii) in Lake Tanganyika. *Hydrobiologia*, *625*(1), 117-134.

71. Plisnier, P. D., Nshombo, M., Mgana, H., & Ntakimazi, G. (2018). Monitoring climate change and anthropogenic pressure at Lake Tanganyika. *Journal of Great Lakes Research*, *44*(6), 1194-1208.

72. Rimmer, A., Gal, G., Opher, T., Lechinsky, Y., & Yacobi, Y. Z. (2011). Mechanisms of long term variations in the thermal structure of a warm lake. *Limnology and Oceanography*, *56*(3), 974-988.

73. Rodier, J., & Legube, B. (2009). L'analyse de l'eau. Dunod.

74. Sangbana, K. (2017). La protection des eaux douces transfrontières contre la pollution: dimensions normatives et institutionnelles. Schulthess.

75. Secretariat, L. T. A. (2012). Strategic Action Programme for the protection of biodiversity and sustainable management of natural resources in Lake Tanganyika and its basin. Lake Tanganyika Basin Authority, Bujumbura.

76. Simone, C., & Britski, H. A. (1999). Description of a new species of Steindachnerina (Teleostei: Characiformes: Curimatidae) from the upper Rio Paraná basin, Brazil. *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, *10*(3), 211-216.

77. Simpi, B., Hiremath, S. M., Murthy, K. N. S., Chandrashekarappa, K. N., Patel, A. N., & Puttiah, E. T. (2011). Analysis of water quality using physico-chemical parameters Hosahalli Tank in Shimoga District, Karnataka, India. *Global Journal of Science Frontier Research*, *11*(3), 31-34.

78. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1986. Quality Criteria for Water (Gold Book). EPA 440/5-86-001. Washington D.C.

79. Sterckx, K., Delandmeter, P., Lambrechts, J., Deleersnijder, E., & Thiery, W. (2020). Simulating Lake Tanganyika's hydrodynamics under a changing climate. *Earth System Dynamics Discussions*, 1-33.

80. Vandelannoote, A., Deelstra, H., & Ollevier, F. (1999). The inflow of the Rusizi River to Lake Tanganyika. *In From Limnology to Fisheries: Lake Tanganyika and Other Large Lakes (pp. 65-73). Springer, Dordrecht.*

81. Verburg, P., Hecky, R. E., & Kling, H. (2003). Ecological consequences of a century of warming in Lake Tanganyika. *Science*, *301*(5632), 505-507.

82. Verburga, P., & Hecky, R. E. (2009). The physics of the warming of Lake Tanganyika by climate change. *Limnology and Oceanography*, *54*(6part2), 2418-2430.

83. Weber-Scannell, P. K., & Duffy, L. K. (2007). Effects of total dissolved solids on aquatic organism: a review of literature and recommendation for salmonid species. *American Journal of Environmental Sciences*.

84. WHO. (2004). Guidelines for drinking-water quality, recommendations (3rd ed.), World Health Organization, and Geneva.1:515.

ANNEXES

I. Résultats bruts par date d'échantillonnage pour le site I

Dates	Profondeur	Transparence(m)	Température(°C)	Oxygène dissous(mg/l)	pH	conductivité(µS/cm)	Turbidité(NTU)	TDS(mg/l)	Phosphates(mg/l)	Nitrates(mg/l)	ammonium(mg/l)
le 23/04/2020	0	5.4			9.02	642		343	0.1875	0.3	
le 23/04/2020	10	5.4	27.7		8.89	648		342	8.17361111	0.39	
le 23/04/2020	20	5.4	27.7		9.06	691		368	1.7153	0.585	
le 23/04/2020	30	5.4	27.6		8.94	688		367	1.090278	0.184	
le 23/04/2020	40	5.4	27.4		8.94	685		365	1.15972	1.028	
le 23/04/2020	50	5.4	26.6		8.67	681		363	0.8125	0.87	
le 23/04/2020	60	5.4	26.2		8.79	637		339	0.7431	1.2497	
le 23/04/2020	70	5.4	26.2		8.61	630		337	2.20138889	0.6684	
le 23/04/2020	80	5.4	25.7		8.63	632		337	1.0903	0.6	
le 23/04/2020	90	5.4	25.5		8.59	629		336	1.0903	0.13	
le 23/04/2020	100	5.4	25.1		8.6	634		337	5.60416667	0.22	
le 12/05/2020	0	6.52	27.8	6.81	9.07	663	2.05	353	5.8	0.322	
le 12/05/2020	10	6.52	27.6	6.79	8.99	656	5.13	349	1.368	1.1389	
le 12/05/2020	20	6.52	27.5	6.77	9.11	658	1.58	350	3.1736	1.54	
le 12/05/2020	30	6.52	27.6	6.72	8.99	655	2.04	348	1.229	2.315	
le 12/05/2020	40	6.52	27.6	6.76	9.04	655	2	348	4.423	0.4746	
le 12/05/2020	50	6.52	27.6	6.76	8.97	654	1.69	348	8.9375	0.39	
le 12/05/2020	60	6.52	27.5	6.7	9.05	656	1.55	349	5.0486	0.6269	
le 12/05/2020	70	6.52									
le 12/05/2020	80	6.52	25.7	1.02	8.88	657	1.68	350	0.5347	1.069	
le 12/05/2020	90	6.52									
le 12/05/2020	100	6.52	25.3	0.233	8.77	653	0.93	347	1.854	0.19	
le 02/06/2020	0	10.8	27.5	6.78	9.05	601		319	0.743	0.3778	
le 02/06/2020	10	10.8	27.8	6.82	8.89	602		319	0.535	0.945	
le 02/06/2020	20	10.8	27.6	6.8	8.94	598		318	1.229	0.876	
le 02/06/2020	30	10.8	27.6	6.8	8.88	598		318	0.257	0.945	
le 02/06/2020	40	10.8	27.7	6.78	8.94	597		317	2.27	0.765	
le 02/06/2020	50	10.8	27.5	6.78	8.85	597		318	1.2986	0.543	

le 02/06/2020	60	10.8	26.1	2.96	8.68	600		319	0.88	0.779	
le 02/06/2020	70	10.8	25.7	1.5				396	1.368	1.44	
le 02/06/2020	80	10.8	25.5	0.406	8.4				1.4375	0.737	
le 02/06/2020	90	10.8	25.1	0.192	8.38	596		317	1.92	0.447	
le 02/06/2020	100	10.8	25.1	0.236	8.23				2.34	0.8	
le 07/07/2020	0	10	26.8	6.73	8.75	614	1.02	326	0.2569	0.36	0.164
le 07/07/2020	10	10	26.8	6.73	8.8	611	0.14	324	0.5347	0.64	0.446
le 07/07/2020	20	10	26.8	6.71	8.84	612	0.61	326	0.0486	0.53	1.39
le 07/07/2020	30	10	26.9	6.7	8.89	611	0.33	326	0.326	0.945	1.6359
le 07/07/2020	40	10	26.9	6.69	8.91	611	0.41	324	0.5	0.5577	0.446
le 07/07/2020	50	10	26.8	6.7	8.92	606	0.95	324	0.43	0.142	0.36
le 07/07/2020	60	10	26.3	1.79	8.92	611	1.39	326	1.298	0.765	0.47
le 07/07/2020	70	10	26.9	1.3	8.93	603	1.18	322	0.09	0.447	0.115
le 07/07/2020	80	10	26.6	0.329	8.94	611	1.06	325	2.13	0.36	0.446
le 07/07/2020	90	10	27	0.31	8.9	609	0.6	325	0.395	0.35	0.2746
le 07/07/2020	100	10	26.7	0.218	8.66	640	0.08	342	1.715	0.239	0.385

II. Résultats bruts par date d'échantillonnage pour le site II

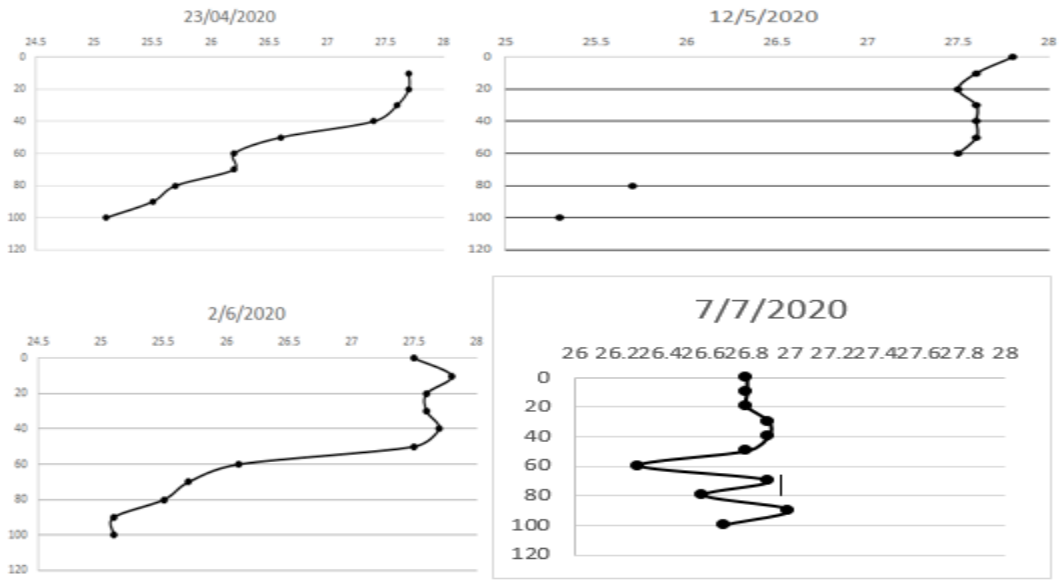
Dates	Profondeur (m)	Transparence (m)	Température(˚C)	Oxygène dissous(mg/l)	pH	conductivité(µS/cm)	Turbidité(NTU)	TDS(mg/l)	Phosphates(mg/l)	Nitrates(mg/l)	ammonium(mg/l)	DCO(mg O2/l)	DBO5(mg O2/l)
le 05/05/2020	0	2.26	28.3	6.85	9.04	682	2.78	359	0.118	0.3		90	0
le 05/05/2020	1	2.26	28.2	6.86	9.05	662	4.46	352	0.6	0.29		150	5
le 05/05/2020	10	2.26	27.6	6.71	8.93	660	7.6	352	1.09	0.21		330	20
le 05/05/2020	15	2.26	27.6	6.55	9.04	641	13.42	342	1.1597	0.32		150	5
le 05/05/2020	25	2.26	27.4	6.75	8.91	655	2.25	348	1.298	0.28		38	2
le 05/05/2020	35	2.26	27.5	6.36	8.86	648		345	1.1597	0.97		108	0
le 26/05/2020	0	4.19	27.7	6.79	9.01	613	2.45	326	2.2	0.599		28	4
le 26/05/2020	1	4.19	27.8	6.79	9.08	619	2.51	330	1.229	0.626		10	2
le 26/05/2020	10	4.19	27.7	6.7	8.98	611	3.05	326	2.34	0.322		24	4
le 26/05/2020	15	4.19	27.8	6.67	9	609	3.17	325	1.576	0.696		16	10
le 26/05/2020	25	4.19	27.9	6.75	9.09	616	2.55	329	1.99	0.17		48	3
le 26/05/2020	35	4.19	27.7	6.54	8.9	612	11.76	326	3.38	0.36		4	4

					8								
le 16/06/2020	0	2.19	27.2	6.54	8.87	624	3.9	330	2.0625	0.27		18	4
le 16/06/2020	1	2.19	27.1	6.55	8.84	625	4.51	331	1.43	0.1		4	4
le 16/06/2020	10	2.19	27.2	6.54	8.85	626	4.17	331	2.13	0.8		150	15
le 16/06/2020	15	2.19	27.2	6.57	8.87	633	4.62	334	0.8	0.557		10	4
le 16/06/2020	25	2.19	27.2	6.6	8.92	622	4.02	329	1.09	1.097		24	4
le 16/06/2020	35	2.19	27.2	6.59	8.82	625	4.29	331	0.395	10		42	2
le 21/07/2020	0	5.19	26.3	6.84	8.69	613	2.56	326	1.715	0.4	0.164	22	4
le 21/07/2020	1	5.19	26.3	6.85	8.77	616	1.03	326	1.1597	0.448	0.103	26	2
le 21/07/2020	10	5.19	26.4	6.84	8.78	612	2.16	325	3.034	0.116	0.48	48	3
le 21/07/2020	15	5.19	26.4	6.83	8.79	610	2.36	324	1.576	0.86	0.26	44	5
le 21/07/2020	25	5.19	26.4	6.82	8.84	607	2.09	323	1.784	0.628	0.103	58	6
le 21/07/2020	35	5.19	26.4	6.86	8.88	605	1.89	323	0.743	0.4488	0.32	10	3

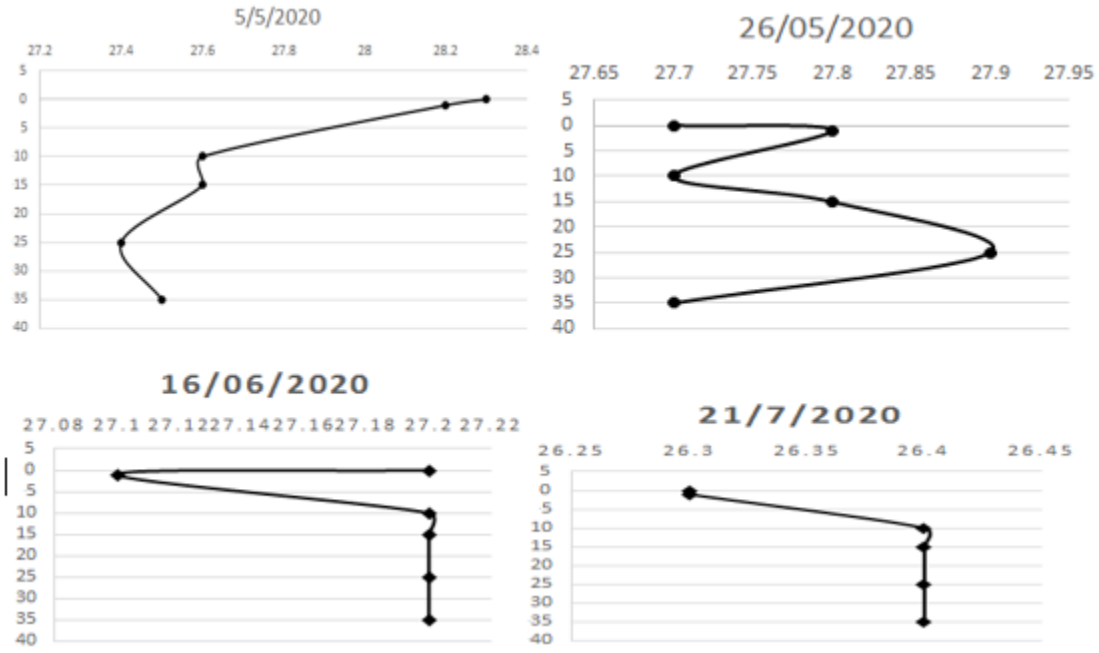
III. Présentations graphiques des données brutes

1. Température

1.1. Site I

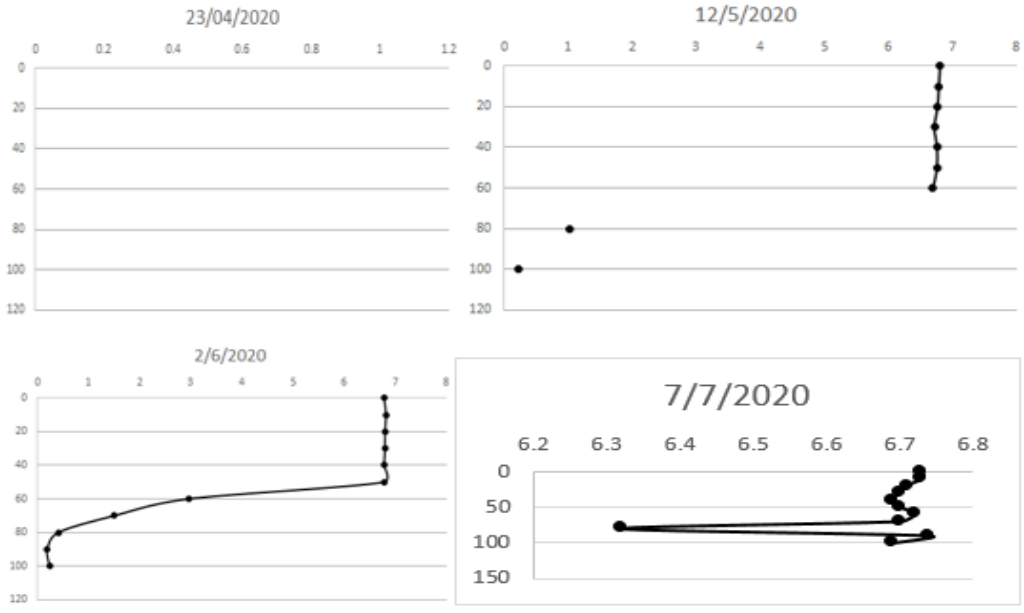


1.2. Site II



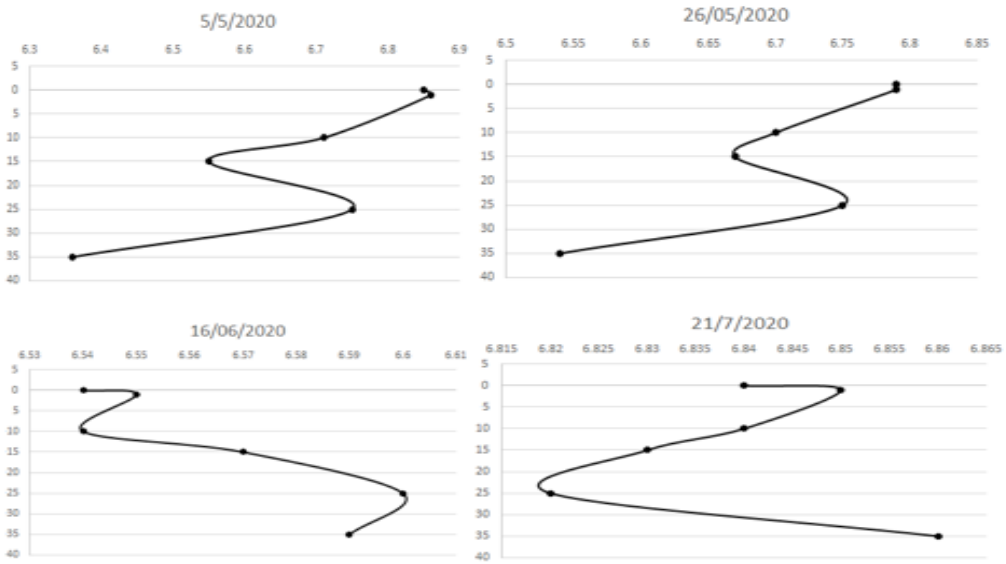
2. Oxygène dissous

2.1. Site I



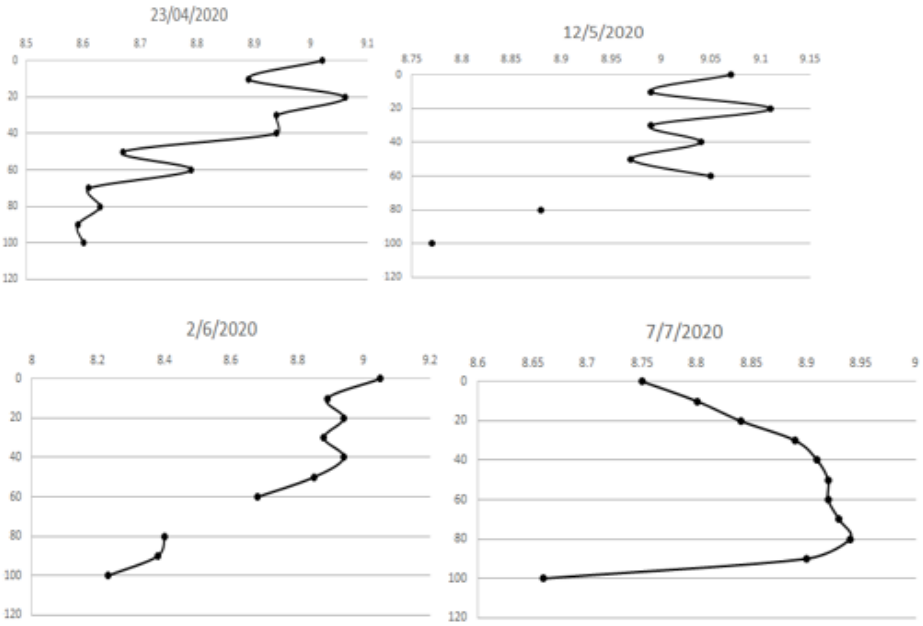
Pas de donnees pour le 23/04/2020

2.2. Site II

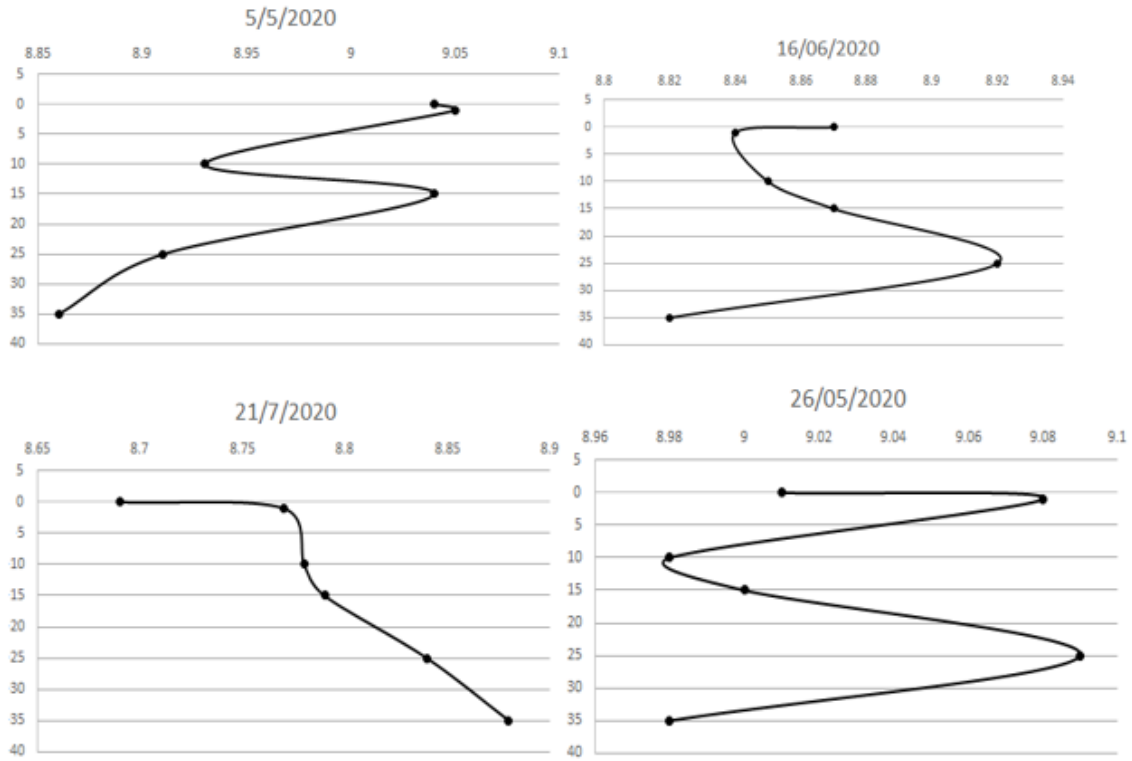


3. pH

3.1. Site I

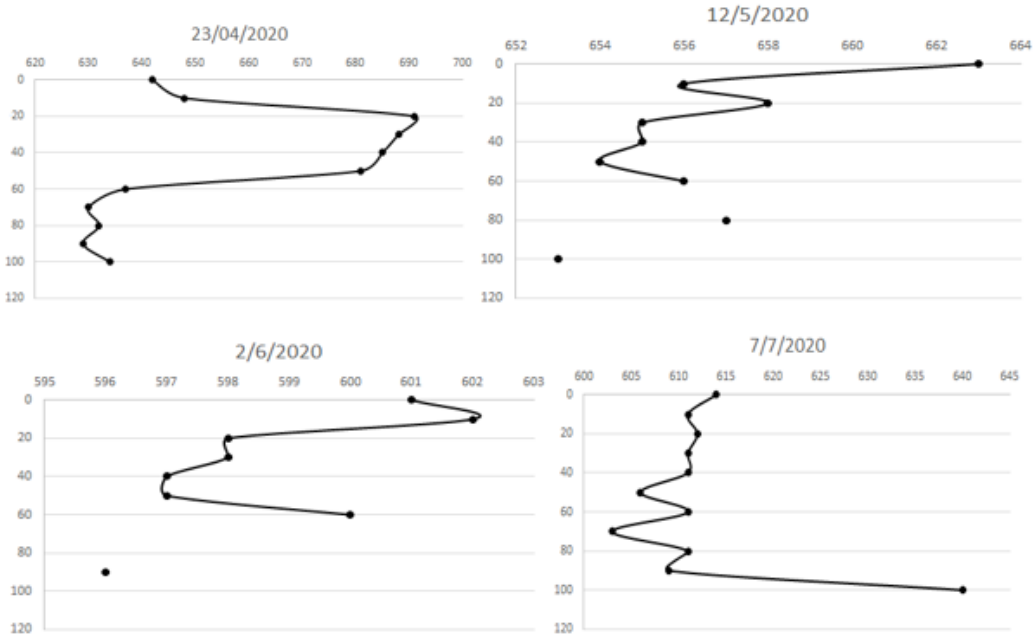


3.2. Site II

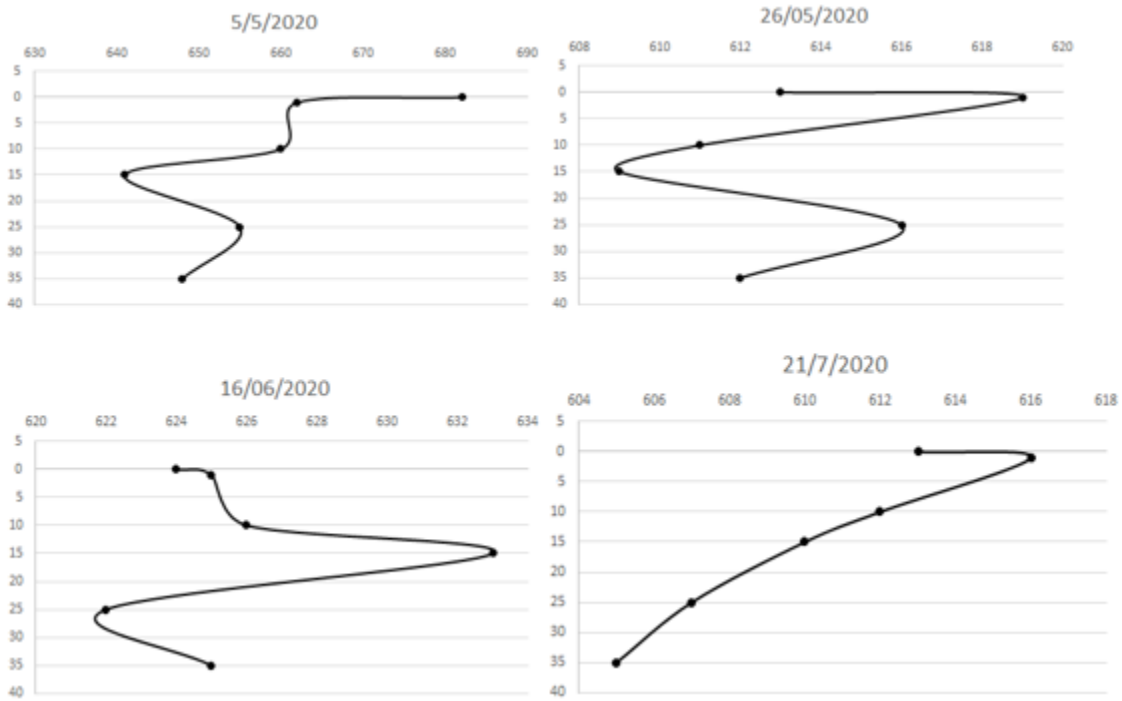


4. Conductivité

4.1. Site I

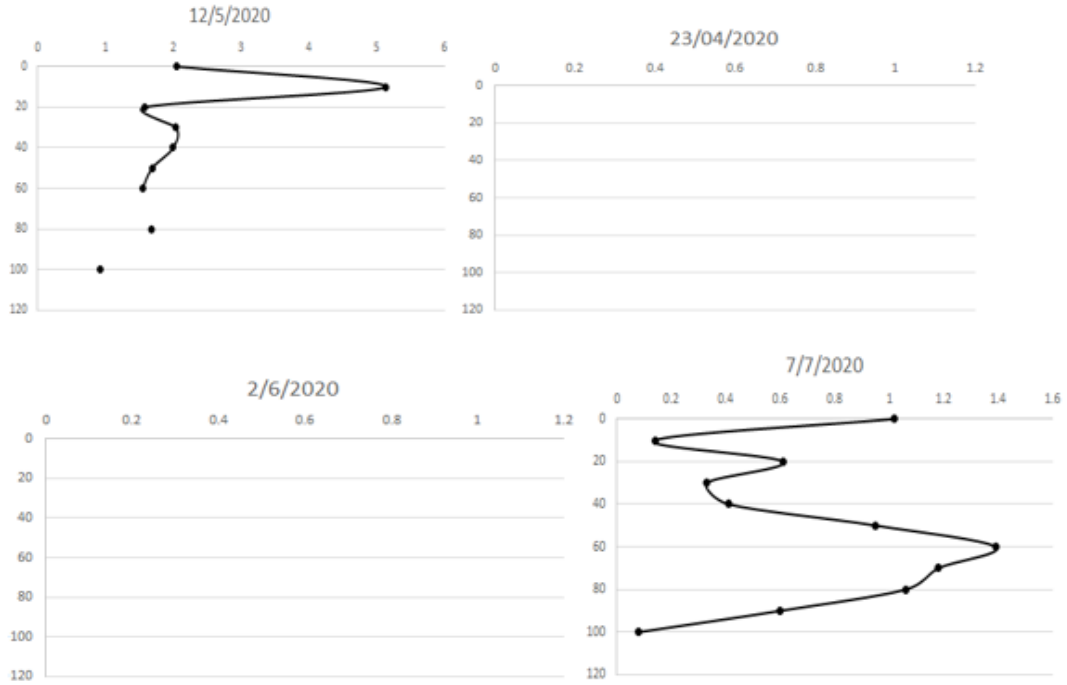


4.2. Site II



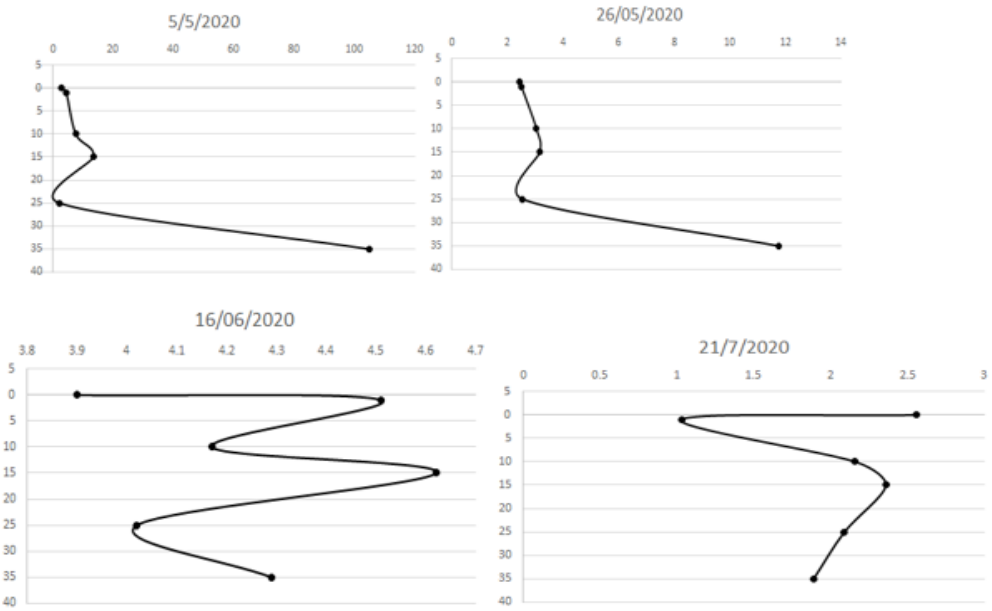
5. Turbidité

5.1. Site I



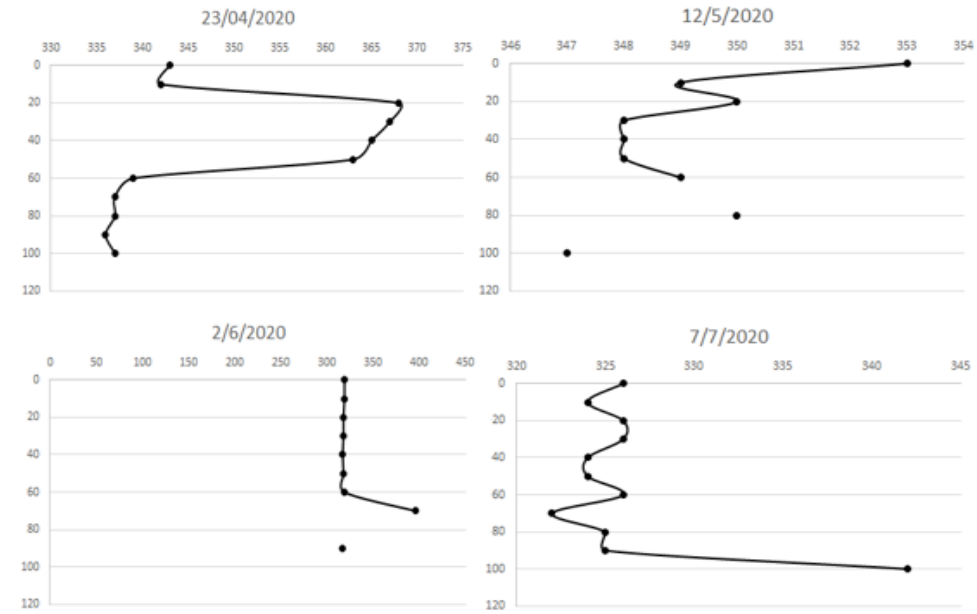
Pas de donnees pour le 23/04/2020 et pour le 2/06/2020

5.2. Site II

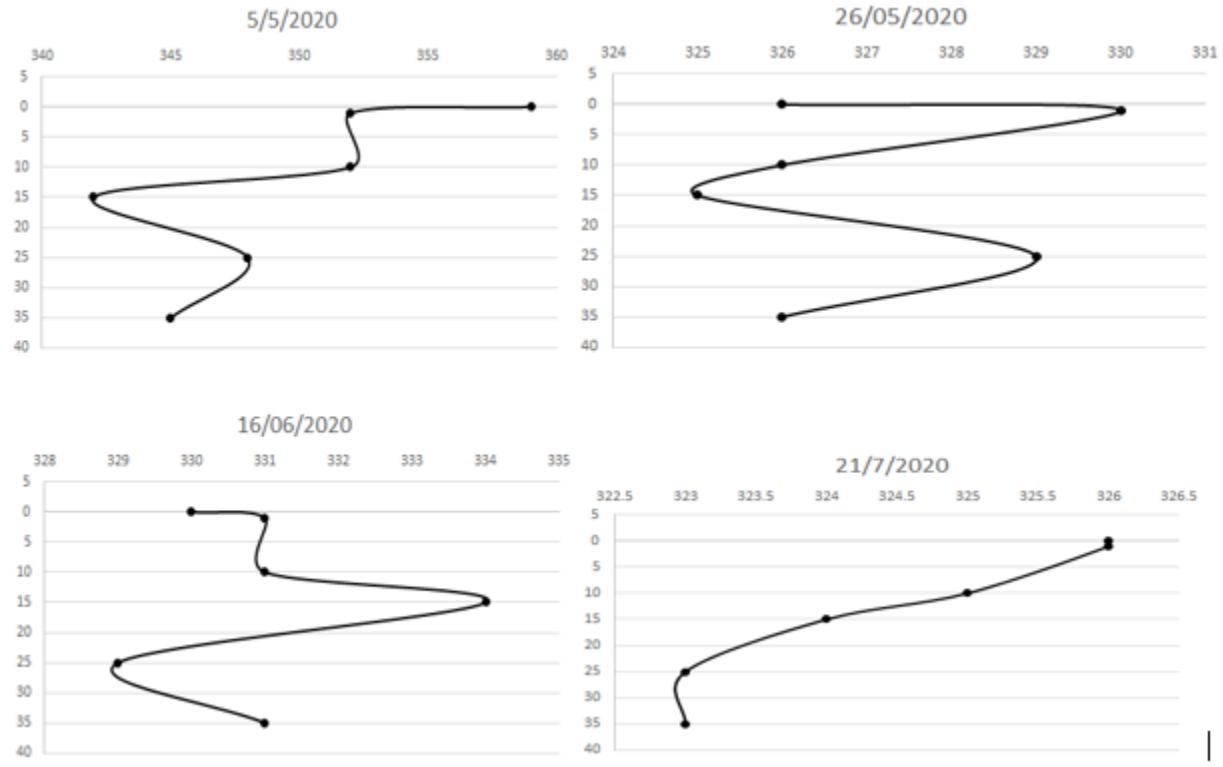


6. TDS (mg/l)

6.1. Site I

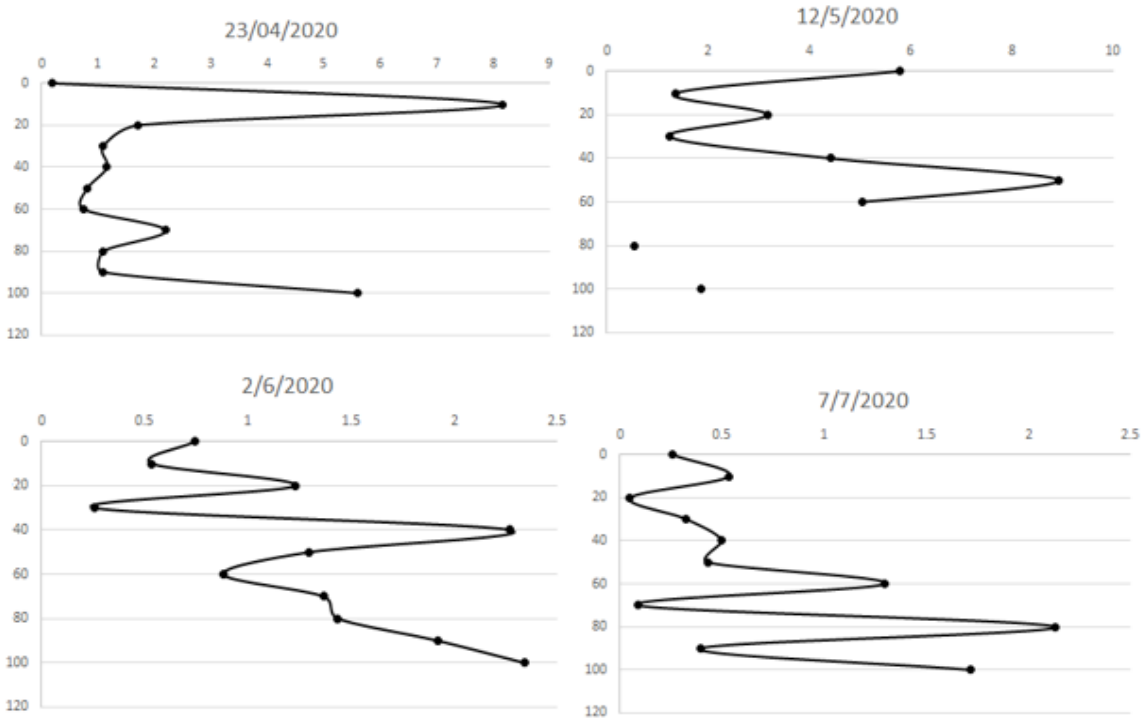


6.2. Site II

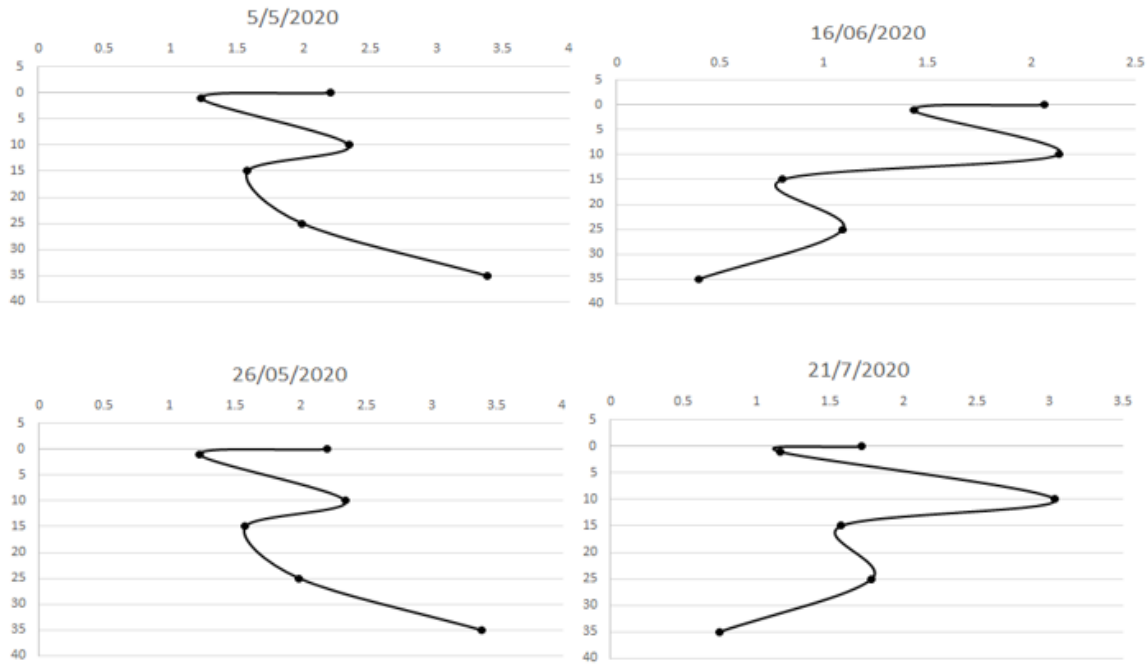


7. Phosphates (mg/l)

7.1. Site I

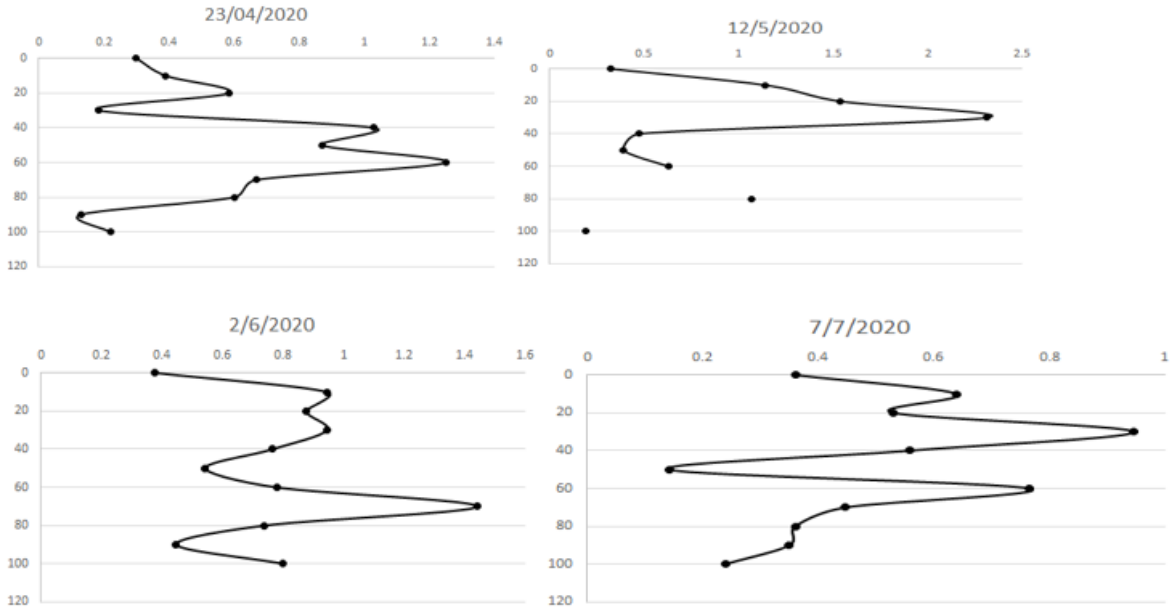

23/04/2020
12/5/2020
2/6/2020
7/7/2020

.2. Site II

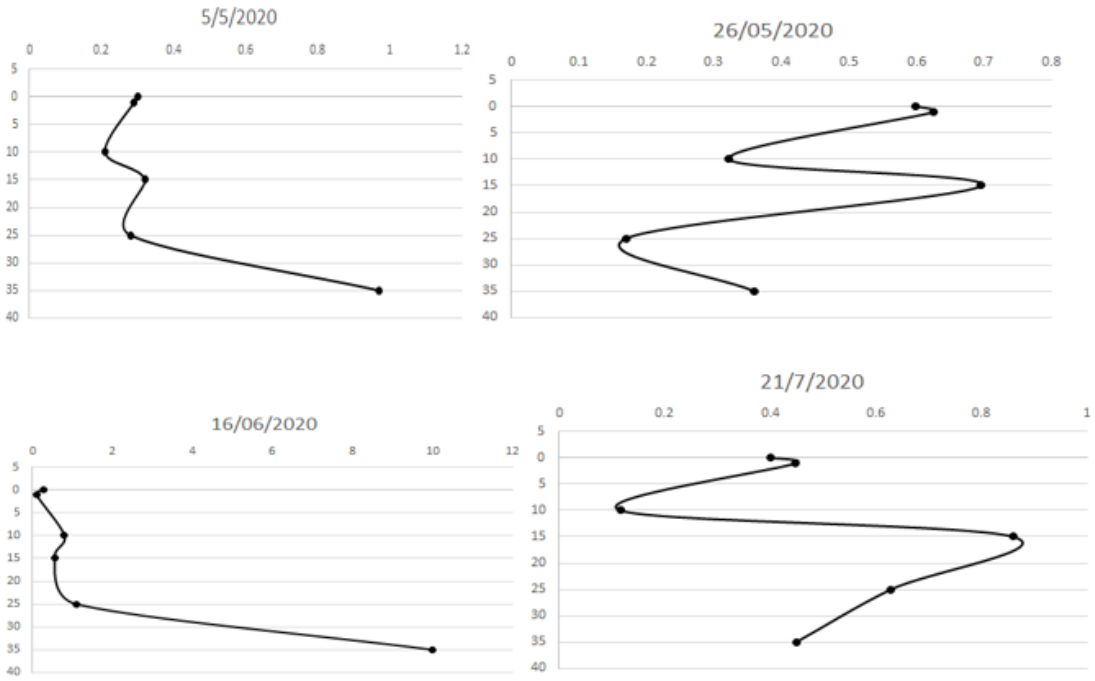

5/5/2020
16/06/2020
26/05/2020
21/7/2020

8. Nitrates (mg/l)

8.1. Site I

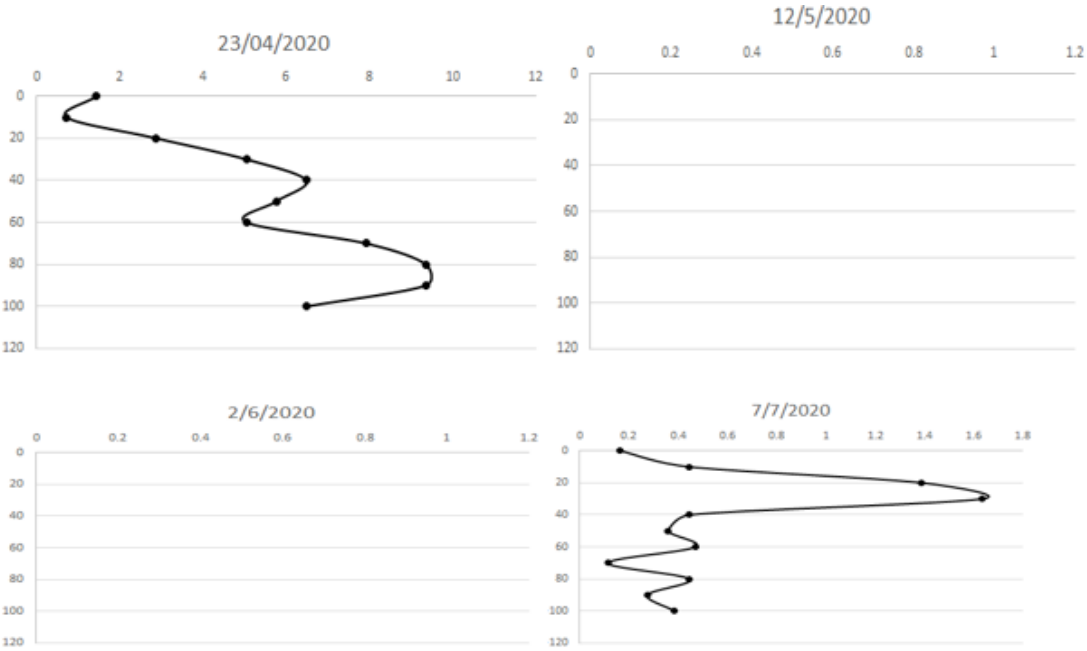


8.2. Site II



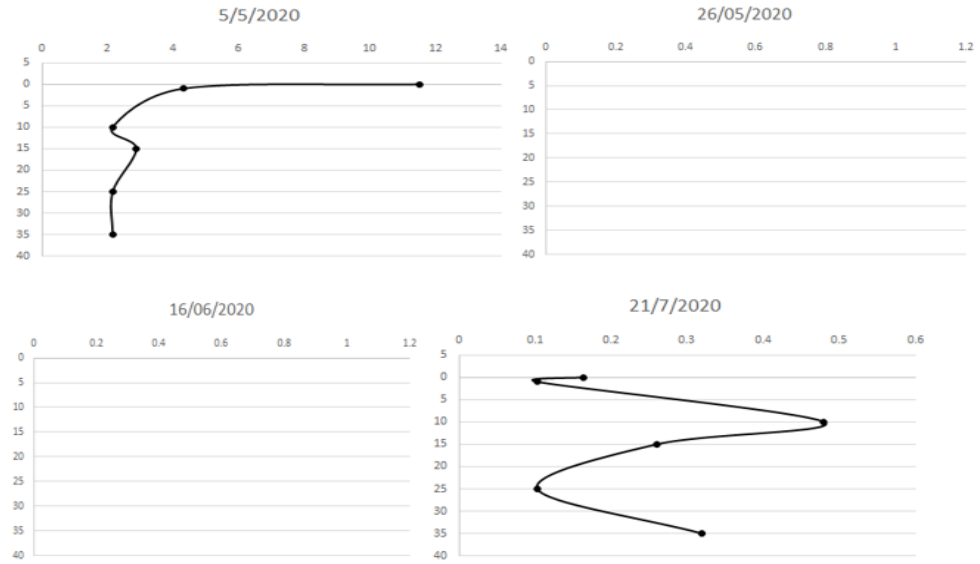
9. Ammonium (mg/l)

9.1. Site I



Pas de donnees pour le 12/05/2020 et pour le 2/06/2020

9.2. Site II



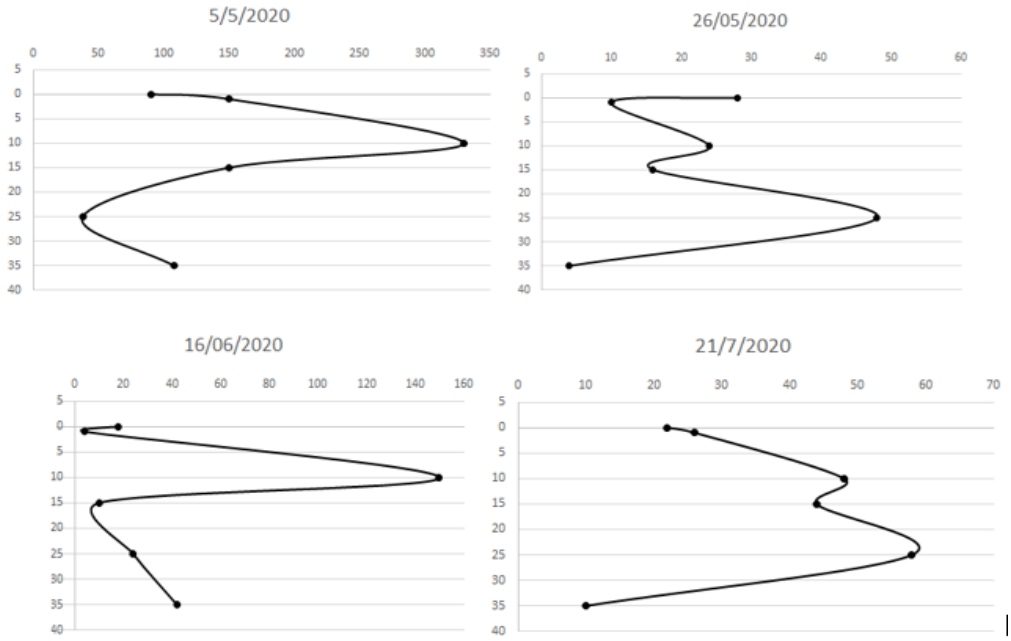
Pas de donnees pour le 26/05/2020 et pour le 16/06/2020

10. DCO (mg O_2/l)

10.1. Site I

Pas de données pour ce site

10.2. Site II



11. DBO5 (mg O_2/l)

11.1. Site I

Pas de données pour ce site

11.2. Site II

