

Effet des flux d'eau sur la capacité de rétention des marais Ciranga et Kabamba, Lac Kivu, République Démocratique du Congo

Dieudonné Niganda ZIRIRANE^{1*}, Gilbert-Jackson Mwanjalolo MAJALIWA², Jean Berckmans Bahananga MUJIGWA³, Katcho KARUME^{1,4} et Jean Jacques Mashimango BAGALWA^{1,2,5}

¹ *Université Evangélique en Afrique, Faculté d'agronomie, BP 3323 Bukavu, République Démocratique du Congo*

² *Makerere University, College of Agricultural and Environmental Sciences, PO Box 7062, Kampala, Uganda*

³ *Université Officielle de Bukavu, Faculté des Sciences, Département de Biologie Bukavu, République Démocratique du Congo*

⁴ *Observatoire volcanique de Goma, Département de Géochimie et Environnement, Goma, République Démocratique du Congo*

⁵ *Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, Bukavu, République Démocratique du Congo*

* Correspondance, courriel : didozirane@yahoo.fr

Résumé

Cette étude a été conduite en vue d'examiner l'effet des flux d'eau sur l'apport des nutriments charriés par les rivières Lwiro et Cirhanyobwa et déterminer ainsi son impact sur l'efficacité de rétention des polluants par les marais Ciranga et Kabamba. Les échantillons d'eaux récoltés dans les rivières et dans les marais ont été analysés pour l'ammonium, les nitrates, les phosphates, l'azote total et le phosphore total suivant les méthodes spectroscopiques standard. Il est ressorti que les variations de l'efficacité de rétention étaient fonction des rivières, des types de nutriments et de la période d'échantillonnage. Dans la rivière Lwiro traversant le marais Ciranga, il a été ainsi observé une variation de la concentration en phosphore total entre 0.45 - 1.1 $\mu\text{mol/L}$ et de 9.36 - 10.58 $\mu\text{mol/L}$ de l'azote total. Par ailleurs, dans la rivière Cirhanyobwa traversant le marais Kabamba, la concentration en phosphore total a varié entre 0.46 - 0.5 $\mu\text{mol/L}$ contre 10.17 - 23.72 $\mu\text{mol/L}$ d'azote total. Une variation du potentiel de rétention des nutriments (phosphore et azote) en fonction du flux d'eau dans les marais de Ciranga et de Kabamba a été observée. Lors du flux élevé (débit élevé), une réduction significative en concentration des nutriments a été observée dans le marais de Ciranga non anthropogénisé que dans le marais de Kabamba (-66.82 $\mu\text{mol/L}$ en phosphore total et -40.97 $\mu\text{mol/L}$ en azote total contre -44.321 $\mu\text{mol/L}$ en Phosphore et un gain de 21.885 $\mu\text{mol/L}$ d'azote total). Des mesures de restauration des marais seraient d'une grande importance pour la stabilité du Lac Kivu et d'autres écosystèmes importants de la région.

Mots-clés : *flux, rétention, nutriment, marais, lac Kivu.*

Abstract

Effect of water discharge on pollutant retention efficiency in Ciranga and Kabamba wetlands, Lake Kivu, Democratic Republic of Congo

This study was conducted to examine the effect of water discharge on nutrients transported by Lwiro and Cirhanyobwa rivers and to determine its impact of the retention efficiency of pollutants by the Ciranga and Kabamba wetlands.

Ammonium, nitrate, total nitrogen, phosphate and total phosphorus were analyzed using standards spectroscopic method. Results show that variations of the pollutant retention efficiency were function of rivers, nutrients types and the sampling period. In the river Lwiro crossing Ciranga wetland, total phosphorus concentration ranged between 0.45 and 1.1 $\mu\text{mol/L}$ and between 9.36 and 10.58 $\mu\text{mole/L}$ of total nitrogen. Moreover, in the river Cirhanyobwa crossing the Kabamba wetland, the total phosphorus concentration varied between 0.46 to 0.5 $\mu\text{mol/L}$ against 10.17 to 23.72 $\mu\text{mol/L}$ of total nitrogen. Pollutant retention efficiency varied with water discharge. During the high flux (high discharge flux), significant reduction of nutrients concentration was observed in Ciranga, a no intensively used for anthropogenic activities than in Kabamba wetland which is intensively used for anthropogenic activities (-66.82 $\mu\text{mol/L}$ for total phosphorus and -40.97 $\mu\text{mol/L}$ for total nitrogen for Ciranga against -44.321 $\mu\text{mol/L}$ of total phosphorus and a increased of 21.885 $\mu\text{mole/L}$ of total nitrogen for Kabamba). In order to stabilize Lake Kivu and other important ecosystems of the region, there is need some restoration measures of wetlands.

Keywords : *fluxes, retention, nutrient, wetlands, lake Kivu.*

1. Introduction

Les processus des échanges entre les écosystèmes terrestres et aquatiques des bassins versant influencent la concentration des nutriments dans les rivières [1]. Les apports directs des activités anthropogéniques affectent largement les concentrations des solutés provenant des sources ponctuelles ou diffuses. Les sources anthropogéniques des nutriments sont les majeures causes d'une large augmentation de la concentration des nutriments dans les rivières du monde [2,3]. La dégradation de la qualité des eaux est un issu universel car elle affecte directement la santé humaine et l'intégrité écologique d'écosystème des eaux douces [4,5]. Le bien être humain et le développement économique sont hautement dépendant de la qualité et de la quantité des eaux douces. Durant les dernières décennies des efforts ont été directement entrepris dans le développement des méthodes de traitement des eaux usées pour réduire les apports directs des polluants dans les rivières [6,7]. C'est dans ce sens que certaines espèces végétales sont utilisées dans le traitement des eaux usées pour améliorer la qualité des eaux. Ces espèces végétales ont un pouvoir de retenir certains polluants mais l'efficacité de suppression des apports des nutriments est limitée à cause de la technologie et l'accroissement démographique associé aux activités anthropogéniques.

L'urbanisation, l'utilisation excessive des terres et les activités anthropogéniques des populations mondiales croissantes contribuent à l'augmentation des pollutions des eaux de surface [8]. Cette augmentation des polluants due aux ruissellements a un impact sur l'état écologique des eaux de surface et du lac [8]. Les marais sont parmi les écosystèmes les plus importants sur la terre de part leur rôle dans la conservation de la biodiversité et le contrôle de la pollution d'eau. Ils servent aussi à maintenir la qualité de l'eau en rejetant et en retenant des nutriments provenant des pollutions urbaines, agricoles de nature chimique et des déchets organiques [9-11]. Les marais contiennent des espèces végétales qui ont le potentiel de retenir les nutriments et autres polluants provenant des bassins versants [12]. La réduction des nutriments est le principal objectif qui concerne les eaux usées à cause de leur rôle dans l'eutrophisation, la demande d'oxygène et leur toxicité sur les organismes aquatiques dans les affluents où ils sont déversés [12]. C'est ainsi que selon Hsieh and Coultas, [13], Hammer and Knight, [14] la suppression de l'azote dans les eaux usées utilisant les marais est considérée être une alternative possible du point de vue économique et écologique. Plusieurs études reportent l'efficacité élevée du 1^o et 3^o ordre dans la rétention des nutriments des rivières [15-21].

Les propriétés intrinsèques de la capacité de purification des eaux par les marais peuvent facilement améliorer le problème de la qualité des eaux en réduisant les apports des nutriments dans un court délai si cette capacité n'est pas entravée par un excès d'apport en nutriments [22]. Toutes les données existant sur l'efficacité de rétention des nutriments ont été obtenues à partir des rivières moins polluées et il existe des études très limitées de rétention dans des rivières polluées [23]. L'évaluation de performance de rétention des nutriments de certaines plantes ont montré que la concentration de l'azote au cours de 2 saisons varie considérablement par rapport à d'autres nutriments. Ces fluctuations ont une importance écologique significative dans la capacité de tamponnage des eaux des marais [9]. Les marais sont généralement des éponges par le fait que les ruissellements peuvent être temporairement gardés dans les marais. Ce qui leur offre une propriété d'agent de contrôle d'inondation [7]. Les plantes, les arbres et le sol aident à absorber ces eaux. Les restes d'eau sont lentement rejetés ce qui permet de réduire la sédimentation dans les rivières ou les lacs récepteurs [12,24].

Les paramètres physico-chimiques mesurés par nos prédécesseurs sur la capacité de rétention de certaines plantes [25] montrent des fluctuations suivant les quantités des pluies. Des informations regardant l'influence de saisons sur la performance de rétention des polluants par certaines plantes permettra d'augmenter nos connaissances sur la capacité de certaines plantes pour la filtration des eaux polluées. En effet, beaucoup des facteurs influent sur l'efficacité de rétention des marais notamment les flux d'eau. Des études sur les variations des flux d'eau dans les marais de Ciranga et Kabamba n'ont jamais été réalisées mais des études sur la qualité des eaux des rivières Lwiro et Cirhanyombwa montrent que les marais ont un impact sur la réduction des nutriments [26,-29]. La question principale qui se pose est celle de savoir quelle est la relation entre la variation des flux d'eau et la capacité de rétention des polluants par les marais de Ciranga et Kabamba ? Ainsi, l'hypothèse de cette étude est que les marais Ciranga et Kabamba ont une capacité différente de rétention des flux des nutriments selon les activités anthropogéniques qui s'y déroulent. Pour combler cette lacune, cette étude vise à examiner l'effet des flux d'eau sur l'apport des nutriments charriés par les rivières Lwiro et Cirhanyobwa ainsi que l'impact de l'efficacité de rétention des polluants par les marais de Ciranga et Kabamba.

2. Matériel et Méthodes

2-1. Description du milieu

L'étude a été menée dans les marais de Ciranga et de Kabamba dans le bassin de Kalehe (République Démocratique du Congo) (*Figure 1*). Les deux marais de Ciranga et de Kabamba sont situés dans le Groupement d'Irhambi-Katana. Le Groupement d'Irhambi-Katana se trouve compris entre 2° et 2° 30' de latitude Sud et 28° 30' de longitude Est et entre 1470 m et 2200 m d'altitude dans le territoire de Kabare (Province du Sud-Kivu, République Démocratique du Congo), à 45 Km au Nord de la ville de Bukavu. Il bénéficie d'un climat tropical humide comprenant une longue saison de pluies de 9 mois (de Septembre à Mai) et une courte saison sèche de 3 mois (de Juin à Août). La température annuelle moyenne de l'air est de 19,5 °C, l'humidité relative varie entre 68 et 75 % (Service climatologique du CRSN-Lwiro, 1973 – 2008) et la pluviosité annuelle est de 1500 mm [28]. Ces marais sont traversés par deux grandes rivières Lwiro et Ciranyobwa qui se jettent dans le lac Kivu.

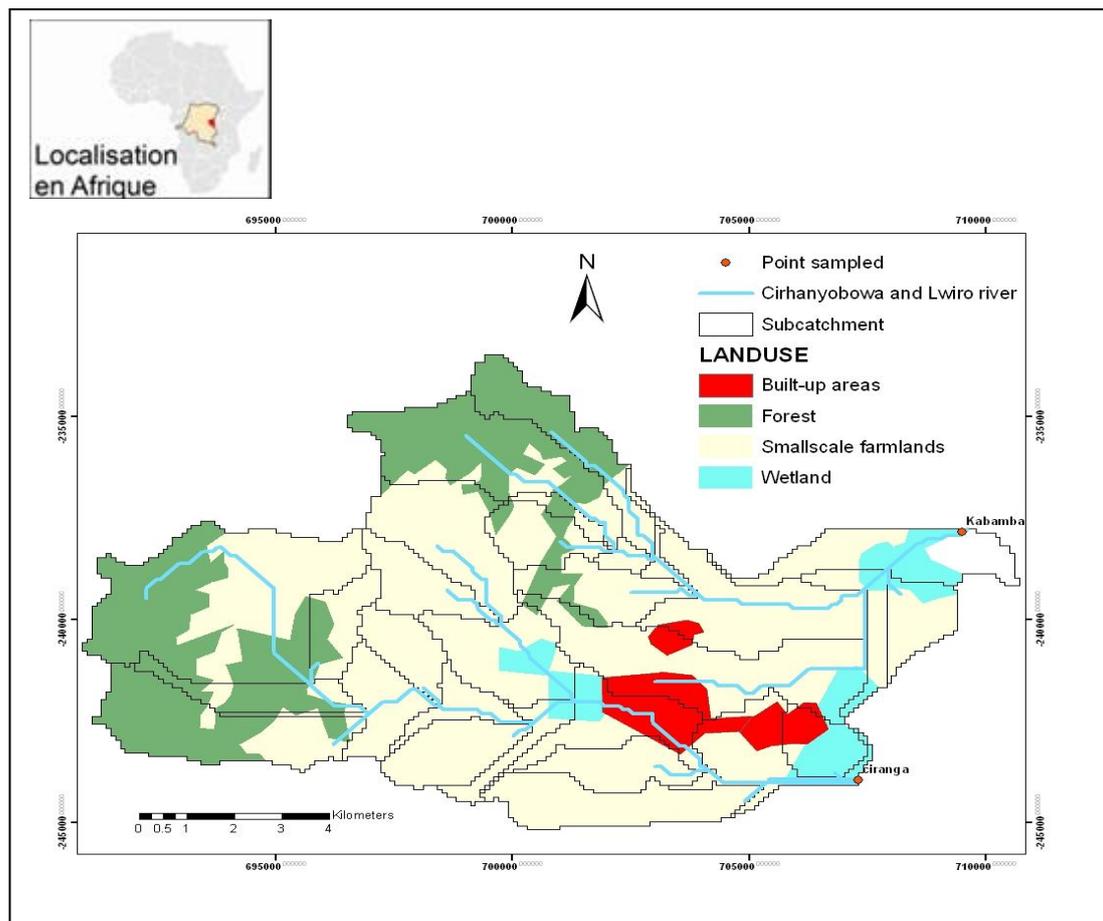


Figure 1 : Carte localisant les marais de Ciranga et Kabamba dans les sous bassins Lwiro et Kabamba

La stratégie qui a guidé l'échantillonnage a été basée sur des mesures répétées selon une fréquence mensuelle étendue sur une année (Août 2011 à Juillet 2012). Ainsi neuf stations d'échantillonnage ont été choisies par marais. Pour le marais de Ciranga, ces stations ont été choisies à base de leur emplacement le long de la rivière Lwiro et des activités culturelles dans le marais de manière aléatoire raisonné. Trois stations ont été choisies dans la rivière. La première station à l'entrée de la rivière dans le marais, la 2^e station dans la rivière au milieu du marais et la 3^e station à 500 m de l'embouchure de la rivière au lac Kivu. Dans le marais, 6 stations étaient choisies dont 3 d'une part et 3 de l'autre de la rivière. Le **Tableau 1** présente les caractéristiques des stations de prélèvement dans le marais de Ciranga.

Tableau 1 : Caractéristiques des stations des prélèvements dans le marais Ciranga

Identification station	Coordonnées géographiques		Caractéristiques
	Lat.	Long.	
Ciranga 1	2° 14.382 S	28°51.954 E	Entrée de la rivière Lwiro dans le marais
Ciranga 2	2° 14.04 S	28°52.004 E	Milieu de la rivière à ± 800 m de l'entrée de la rivière dans le marais
Ciranga 3	2° 14.502 S	28°52.11 E	Embouchure à ± 500 m du Lac Kivu, bords occupés par les espèces de plantes appartenant aux familles de Typhacées, Poacées et Polygonacées
Ciranga 4	2° 14.358 S	28°52.056 E	Milieu non anthropogénisé colonisé par des <i>Cyperus</i> et <i>Typha</i> , proche de la rivière
Ciranga 5	2° 14.454 S	28°52.092 E	Champ de culture : haricot, taro, bananeraie
Ciranga 6	2° 14.316 S	28°52.194 E	Champ de cultures abandonnés mais actuellement colonisées par les espèces de plantes appartenant à la famille des Fabacées
Ciranga 7	2° 14.52 S	28°52.092 E	Milieu non anthropogénisé colonisé par des <i>Fragmites</i>
Ciranga 8	2° 14.526 S	28°52.11 E	Milieu non anthropogénisé avec des eaux en décomposition et colonisé par des <i>Cyperus</i>
Ciranga 9	2° 14.214 S	28°52.068 E	Ancien champ de culture abandonné: patate douce, haricot, mais dont les activités culturelles ont repris au mois d'avril 2012

Dans le marais de Kabamba, neuf sites ont aussi été choisis suivant le même critère que précédemment. Leurs caractéristiques sont présentées dans le **Tableau 2** ci-dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques des stations des prélèvements dans le marais Kabamba

Identification station	Coordonnées géographiques		Caractéristiques
	Lat.	Long.	
Kabamba 1	2° 10.824 S	28°51.846 E	Entrée de la rivière Ciranyombwa dans le marais de Kabamba
Kabamba 2	2° 10.728 S	28°52.224 E	Station située au milieu de la rivière à ± 1000 m de l'entrée de la rivière dans le marais
Kabamba 3	2° 10.728 S	28°52.302 E	Embouchure dont les bords sont occupés par les <i>Cyperus</i>
Kabamba 4	2° 10.638 S	28°52.134 E	Milieu occupé par la culture de la canne à sucre
Kabamba 5	2° 10.74 S	28°52.23 E	Station située dans un drain dont les bords sont cultivés par des Taro
Kabamba 6	2° 10.746 S	28°52.212 E	Milieu non anthropogénisé colonisé par les <i>Cyperus</i> , les <i>Typha</i>
Kabamba 7	2° 10.77 S	28°52.2 E	Milieu de culture abandonné
Kabamba 8	2° 10.548 S	28°52.146 E	Milieu non anthropogénisé colonisé par les <i>Cyperus</i> et les <i>Phragmites</i>
Kabamba 9	2° 10.956 S	28°52.068 E	Milieu de culture de Taros et Manioc

2-2. Analyse chimique des nutriments et calcul du taux d'efficacité

Les échantillons d'eau ont été prélevés le même jour sur les mêmes stations identifiées dans les deux marais et rivières entre 7 h et 12 h et cela avec une fréquence mensuelle entre Août 2011 et Juillet 2012. Les échantillons d'eau pour les analyses d'autres paramètres chimiques ont été transportés au laboratoire du Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro dans des flacons en plastiques fermés et déposés dans un bac frigorifique contenant des glaces. Au laboratoire, ces échantillons ont été gardés au frigo à une température de -4°C avant les analyses. Dans les échantillons d'eaux récoltés dans les rivières et dans les marais, nous avons analysé l'ammonium, les nitrates, les phosphates, l'azote total et le phosphore total suivant les méthodes spectroscopiques standard [30,31]. Les nutriments ont été analysés par la technique spectroscopique standard en utilisant un spectrophotomètre UV Unico, 1200. Les échantillons étaient filtrés sur papier filtre (Whatman 589, $185\ \mu\text{m}$ taille pore). Le phosphore total et l'azote total ont été mesurés dans les échantillons non filtrés après digestion avec le persulfate dans l'autoclave après une heure à 120°C . Le phosphore soluble réactif a été déterminé en utilisant la méthode de bleu du molybdate. L'ammonium (NH_4^+) a été analysé par la méthode colorimétrique au bleu de phénol tandis que le nitrate (NO_3^-) par la méthode colorimétrique après réduction au Zinc [31].

2-3. Analyse statistique

Les concentrations des polluants à l'entrée et à la sortie des eaux ont été comparées en effectuant des analyses statistiques à l'aide de logiciel Statistica 8.0. Le test T de Student a été utilisé pour comparer les concentrations entre les nutriments au niveau des différents descripteurs dans les marais et dans les rivières. Les rapports entre les concentrations des différents nutriments ont été examinés en utilisant l'analyse de corrélation de Pearson. La relation entre les polluants retenus dans les marais par rapport aux polluants entrant a été calculée en utilisant la méthode d'analyse de régression linéaire [32]. La tendance de rétention des polluants dans les marais a été comparée au polluant des rivières dans leur bassin versant en utilisant l'analyse de variance.

3. Résultats et discussion

3-1. Effet de variation de flux sur l'efficacité de rétention

Le taux mensuel d'efficacité de rétention des marais des ces deux marais est présenté dans le **Tableau 3** ci-dessous. En catégorisant le débit en 3 classes : Faible, Fort, Moyen, on observe une différence entre l'efficacité de marais de Ciranga pour la rétention des nutriments suivant les mois et le débit d'eau. En général pendant la période de débit moyen, l'efficacité de rétention du marais Ciranga pour le Phosphore, l'azote total et les matières en suspension est grande même en période de débit fort. Cette rétention pendant toute la période est probablement due à la quantité des polluants apportées par la rivière Lwiro qui n'est pas assez importante mais aussi à la végétation des espèces potentielles pour la rétention des nutriments se trouvant dans le marais [5, 19]. Le marais Ciranga étant couvert par les espèces des plantes de la famille de Cypéracée, Typhacée, Fabacée, Poacée et autres, à une végétation non encore anthropogénisée garde son potentiel de filtration des nutriments.

Tableau 3 : Taux mensuel d'efficacité de rétention de marais Ciranga en fonction de la variation du débit de la rivière Lwiro

Période	P Total µmole/L	P soluble µmole/L	N Total µmole/L	Nitrate µmole/L	Ammonium µmole/L	Ratio N total/P total	MES g/L	Débit
Janvier	-45,324	-40,128	-0,631	7,282	184,204	27,067	-91,078	Débit faible
Février	105,775	83,540	493,275	28,784	70,342	245,396	-91,611	Débit faible
Mars	197,515	-22,905	51,327	271,150	-84,202	-9,030	-98,271	Débit moyen
Avril	-3,643	19,190	-13,836	74,399	-85,891	-9,006	-96,595	Débit moyen
Mai	-56,546	-62,725	-51,642	-52,965	186,573	9,070	-92,442	Débit moyen
Juin	5,297	40,611	110,136	368,900	906,984	20,792	-98,171	Débit moyen
Juillet	-66,825	268,925	-40,978	-0,979	685,148	-49,562	-98,274	Débit fort
Août	-21,852	-67,913	278,525	1501,388	85,812	681,219	-95,243	Débit faible
Septembre	-56,568	-49,777	-65,068	-39,388	-40,042	79,634	-94,615	Débit moyen
Octobre	104,281	95,336	8,473	-40,181	-26,798	-20,568	-92,612	Débit faible
Novembre	162,914	66,043	-43,542	63,711	52,157	-76,494	-92,562	Débit faible
Décembre	14,474	-55,697	-21,813	33,461	-73,579	-20,781	-97,346	Débit faible

Pour le marais de Kabamba, le taux de rétention mensuelle selon le débit se trouve présenté dans le **Tableau 5** ci-dessous.

Tableau 5 : Taux d'efficacité de rétention en fonction de la variation du débit de la rivière Cirhanyobwa

Période	P Total µmole/L	P soluble µmole/L	N Total µmole/L	Nitrate µmole/L	Ammonium µmole/L	Ratio TN/TP	MES g/L	Débit
Janvier	45.609	17.331	-48.051	-65.246	89.530	-64.073	146.512	Débit faible
Février	45.287	22.151	245.046	178.580	123.304	279.239	240.000	Débit faible
Mars	-62.143	-85.510	-22.662	-69.892	-74.071	117.130	-48.095	Débit moyen
Avril	-39.346	-21.410	50.594	-91.119	-98.221	13.381	-44.762	Débit fort
Mai	-49.296	-51.558	-6.823	-11.683	284.484	197.432	-45.769	Débit fort
Juin	-10.769	28.229	151.195	377.729	449.205	257.524	5.660	Débit moyen
Juillet	-39.126	41.807	-27.163	20.234	907.009	-15.387	55.556	Débit moyen
Aout	45.315	-80.921	-29.937	22.571	34.972	-42.115	43.878	Débit faible
Septembre	-28.915	-52.787	-60.006	-41.466	69.687	58.119	17.901	Débit moyen
Octobre	133.030	20.449	-16.345	-24.392	-15.830	-63.600	33.333	Débit faible
Novembre	67.907	-3.251	23.816	88.683	50.685	-6.211	-34.167	Débit moyen
Décembre	21.005	-42.149	8.214	-65.954	-69.121	-3.169	-61.086	Débit faible

Il ressort de ce **Tableau** que le potentiel de rétention des nutriments dans le marais de Kabamba est fonction du débit d'eau de la rivière Cirhanyobwa qui le traverse. La concentration en phosphore diminue de manière linéaire avec le débit contrairement alors que pour l'azote total s'observe une réduction non significative. Le marais de Kabamba ne retient du phosphore et de sédiments que pour des flux faibles. Le marais de Kabamba étant fortement anthropogénisé. Les plantes aquatiques caractéristiques des marais ont été remplacées par les cultures entraînant une diminution de la capacité de rétention des nutriments.

3-2. Potentiel de rétention des nutriments dans les deux marais Ciranga et Kabamba, lac Kivu

Le potentiel de rétention des nutriments et matières en suspension selon le débit (fort, moyen et faible) pour le marais Ciranga est donné par la **Figure 2**.

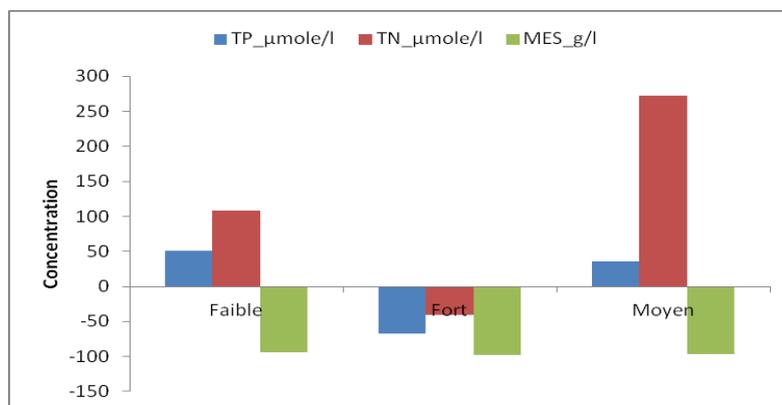


Figure 2 : Potentiel de rétention en fonction de la variation du débit de la rivière Lwiro dans le marais Ciranga

Cette **Figure 2** montre que le taux d'efficacité de rétention varie en fonction des flux de débit de la rivière Lwiro traversant le marais Ciranga. Mais lors des flux fort les nutriments aussi sont plus retenus et cela par la végétation du marais de Ciranga. Quant aux matières en suspension, elles sont retenues à tous les flux. En effet, durant toute l'année plus de 50 % de la quantité des matières en suspension provenant de la rivière est retenu par le marais Ciranga à cause des raisons évoquées plus haut. Quand au marais Kabamba, son potentiel de rétention des nutriments et des matières en suspension en fonction du débit est présenté dans la **Figure 3**.

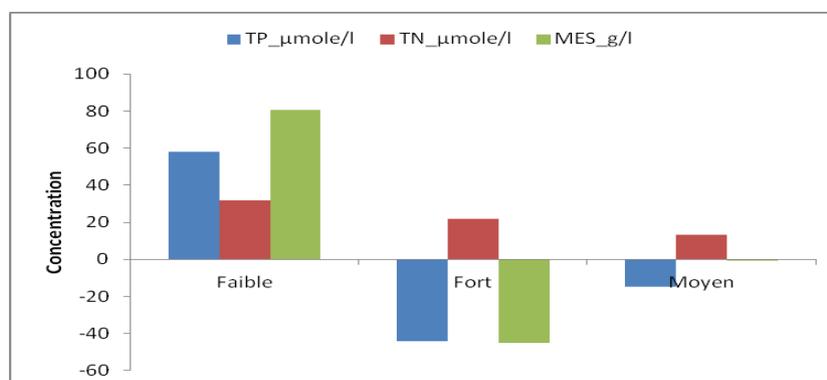


Figure 3 : Potentiel de rétention en fonction de la variation du débit de la rivière Cirhanyobwa dans le marais Kabamba

Cette **Figure 3** montre que durant le débit faible le marais n'a pas de potentialité de rétention de tous les nutriments et même pour les matières en suspension. Mais pendant le débit fort, le marais retient le TP et les matières en suspension. L'azote total n'est pas retenu dans ce marais à n'importe quel débit. En effet, la concentration en phosphore total dans la rivière Lwiro traversant le marais Ciranga a varié entre 0.45 - 1.1 $\mu\text{mol/L}$ alors que dans la rivière Cirhanyombwa traversant le marais Kabamba entre 0.46 - 0.5 $\mu\text{mol/L}$. Quant à l'azote, la concentration a varié de 9.36 - 10.58 $\mu\text{mol/L}$ dans Lwiro et de 10.17 - 23.72 $\mu\text{mol/L}$ dans Cirhanyombwa. Pour les 2 marais comme le montrent les différentes **Figures 2 et 3**, la concentration en phosphore diminue de manière linéaire avec le débit alors que pour l'azote total, deux tendances semblent ressortir.

Une réduction du phosphore total de -44.32 $\mu\text{mol/L}$ a été observée lors du flux élevé (débit élevé) dans le marais de Kabamba et de -66.82 $\mu\text{mol/L}$ dans le marais de Ciranga. Quant à l'azote total, une réduction de -40.97 $\mu\text{mol/L}$ a été observée uniquement dans le marais de Ciranga. Ceci a été observé dans la **Figure 3** où la corrélation est positive pour l'azote total dans le marais de Kabamba. Cependant le changement de débit n'explique que 33,5% et 42,4% des variations de l'efficacité du marais de Kabamba et de Ciranga ; respectivement. Les mêmes observations ont été signalées par Zak *et al.*, [8,9], les variations de l'efficacité de rétention étaient fonction des rivières, des types de nutriments et de la période d'échantillonnage. En effet, la présence des plantes aquatiques dans le marais a été démontrée ayant la capacité de rétention des nutriments [10]. Certaines espèces de la famille des Cypéracées et de Typhacées ont cette capacité de retenir le nutriment mais seulement pour des courants faibles. Dans le marais Kabamba où ces plantes ont été remplacées par les cultures, la capacité de rétention a diminué.

4. Conclusion

Le pouvoir de rétention des sédiments et des nutriments par les marais de Ciranga et de Kabamba varie et est fonction du débit / flux d'eau et du paramètre cible. Pour des flux élevés, les deux marais rejettent des quantités de phosphore et de sédiments qu'ils retenaient en certaines périodes de l'année. Le marais de Kabamba ne retient du phosphore et de sédiments que pour des flux faibles à cause des activités anthropogéniques qui s'y déroulent tandis que celui de Ciranga les retient même pour des flux modérés parce que étant intact. Au cours de notre étude, la concentration en phosphore total dans la rivière Lwiro traversant le marais Ciranga a varié entre 0.45 - 1.1 $\mu\text{mol/L}$ alors que dans la rivière Cirhanyombwa traversant le marais Kabamba entre 0.46 - 0.5 $\mu\text{mol/L}$. Quant à l'azote, la concentration a varié de 9.36 - 10.58 $\mu\text{mol/L}$ dans Lwiro et de 10.17 - 23.72 $\mu\text{mol/L}$ dans Cirhanyombwa. Une réduction du phosphore total de -44.32 $\mu\text{mol/L}$ a été observée lors du flux élevé (débit élevé) dans le marais de Kabamba et de -66.82 $\mu\text{mol/L}$ dans le marais de Ciranga (**Tableau 2 et 3**). Quant à l'azote total, une réduction de -40.97 $\mu\text{mol/L}$ a été observée uniquement dans le marais de Ciranga. Des efforts doivent être fournis pour restaurer les marais de grande importance pour la stabilité du Lac Kivu et d'autres écosystèmes importants de la région.

Remerciements

Nos sincères remerciements à l'équipe des chercheurs du laboratoire de malacologie du Centre de Recherche Scientifique en Sciences Naturelles du Congo Démocratique, aux assistants du College of Agricultural and Environmental Sciences de l'Université de Makerere en Uganda ainsi qu'à l'Université Evangélique en Afrique du Congo Démocratique pour leur encadrement scientifique.

Références

- [1] - G.E. LIKENS, F.H. BORMANN. Biogeochemistry of a forested ecosystem. 2nd ed. Springer-Verlag. New York. (1995).
- [2] - R.W. HOWARTH, G. BILLEN, D. SWANEY, A. TOWNSEND, N. JAWORSKI, K. LAJTHA, J.A. DOWNING, R. ELMGREN, N. CARACO, T. JORDAN, F. BERENDSE, J. FRENEY, V. KUDEYAROV, P. MURDOCH, ZHU ZHAO-LIANG. Regional nitrogen budgets and riverine N&P fluxes for the drainage to North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* (1996) 35: 75-139 Kluwer Academic Publishers.
- [3] - M. MEYBECK, R. HELMER. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Paleogeography, paleoclimatology, palaeo Ecology* (1989) 75: 283-309.
- [4] - D. J AYALA. Create wetlands in Denmark and Skane : An analysis of impacts on Nutrient retention and Biodiversity. Master Thesis, University of California, (1996) 51p.
- [5] - A. HAUGE. Influence of small constructed wetland on surface water quality. In *Prediction and Reduction of Diffuse Pollution, Solid Emission and Extreme Flows from Rural Areas – case study of small agricultural catchment* (ed. by K. Banasik, L. Øygarden & L. Hejduk), 203–217. Wydawnictwo SGGW, Warszawa – PL (2011).
- [6] - A. O'NEILL, R.H. FOY, D.H. PHILLIPS. Phosphorus retention in a constructed wetland system used to treat dairy wastewater. *Bioresource Technology* 102 5024–5031 (2011).
- [7] - G. TCHOBANOGLIOUS, F.L. BURTON. Wastewater engineering : Treatment, disposal and reuse. Mc Graw-Hill, New York. (1991).
- [8] - B.E HATT, T.D FLETCHER, A. DELETIC. The effect of drying and wetting on pollutant removal by stormwater filters, *Novatech* (2007) 1057 – 1064.
- [9] - W. J. MITSCH. WETLANDS. WILEY & SONS, Incorporated, John, (1993) 722p.
- [10] - O. YI, W. LU, J. YU, Y. KIM. Characteristics of nutrient retention in a stormwater wetland during dry and wet days. *Water Sci. Technol.*(2010), 61, 6, 1535 – 1545.
- [11] - D. ZAK, R. MCINNES, J. GELBRECHT. Preface: restoration, biogeochemistry and ecological services of wetlands. *Hydrobiologia* (2011), 1-4.
- [12] - F. KANSIIME, M. NALUBEGA. Wastewater Treatment by a Natural Wetland : the Nakivubo Swamp, Uganda Processes and Implications, AABalkema, Netherlands. (1999).
- [13] - Y.P. HSIEH., C.L. COULTAS. Nitrogen removal from freshwater wetlands : nitrification, denitrification, coupling potential. In Hammer. D.A. (ed). *Constructed wetland for wastewater treatment*. Lewis Publishers. Inc. Michigan, (1989,) 493 – 500.
- [14] - D.A. HAMMER, R.L KNIGHT. Designing constructed wetland for nitrogen removal. *Water sciences.* (1994) *Techn.*, 29, 15 – 27.
- [15] - P.J. MULHOLLAND, J.D. NEWBOLD, J.W. ELWOOD, L.A. FERREN, AND WEBSTER,. Phosphorus spiralling in wood-land streams : Seasonal variations. *Ecology* (1985) 66 : 1012 - 1023.
- [16] - F.J. TRISKA, V.C. KENNEDY, R.J. AVANZINO, G.W. ZELLWEGER and K.E. BENCALA. Retention and transport of nutrients in a third-order stream in northwestern California : Channel processes. *Ecology* (1989) 70 : 1877-1892.
- [17] - N.L. MUNN, J.L. MEYER. Habitat-specific solute retention in two small streams: An intersite comparison. *Ecology* (1990) 71:2069–2082.
- [18] - H.M. VALETT, J.A. MORRICE, C.N. DAHM, M.C. CAMPANA Parent lithology, surface-groundwater exchange, and nitrate retention in headwater streams. *Limnol. Oceanogr.*(1996) 41: 333-345.
- [19] - E. MARTI, N.B. GRIMM, S.G. FISHER. Pre-and post-flood retention efficiency of nitrogen in a Sonoran desert stream. *J. North Am. Benthol. Soc.* (1997) 16:805-819.

- [20] - P.J. MULHOLLAND, J.L. TANK, D.M. SANZONE, W.M. WOLHEIM, B.J. PETERSON, J.R. WEBSTER, J.L. MEYER. Nitrogen cycling in a forested stream determined by a N tracer addition. *Ecol. Monogr.* (2000) 70 : 471-493.
- [21] - B.J. PETERSON, W.M. WOLLHEIM, P.J. MULHOLLAND, J.R. WEBSTER, J.L. MEYER, J.L. TANK, E. MARTI, W.B. BOWDEN, H.M. VALETT, A.E. HERSHEY, W.H. MCDOWELL, W.K. DODDS, S.K. HAMILTON, S. GREGORY, D.D. MORRALL. Controls of nitrogen export from watersheds by headwaterstreams. *Science(Washington D.C.)* (2001) 292:86-90.
- [22] - K. JOHANNESSON, J. ANDERSSON, K. S. TONDESKI. Efficiency of a constructed wetland for retention of sediment associated phosphorus. *Hydrobiologia*, (674), 1, (2011) 179-190.
- [23] - B.E. HAGGARD, D.E.STORM, AND E.H. STANLEY. Effects of a point source input on streamnutrient retention. *J. Am. Water Resour. .*(2001) Assoc. 37 : 1291-1299.
- [24] - R. LOWRANCE, G. VELLIDIS, R.K., HUBBARD. Denitrification in a restored riparian forest wetland. *Journal of environmental quality*, 24, 5, (1995) pp 808 – 815.
- [25] - V. GIROUD, D. ESSER, L. FOURNET, F. DAVOLI. Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales : Notion d'efficacité, Novatec (2007) pp 869-876.
- [26] - M. BAGALWA. The Impact of land use on water quality of the Lwiro River, Democratic Republic of Congo, Central Africa. *African Journal of Aquatic science*, 31 (1): (2006) pp 137 - 143.
- [27] - M. BAGALWA, B. KUBUYA. Study of water quality of a mountain Cirhanyobowa River, Eastern of Democratic Republic of Congo . *Cahier du CERUKI, Numéro Special, CRSN-LWIRO*, (2009) pp 34–44.
- [28] - M. BAGALWA, J.G.M. MAJALIWA., N. MUSHAGALUSA, K. KARUME. Estimation of transported pollutant load from small urban Kahuwa river micro-catchment in Lake Kivu, Democratic Republic of Congo. *Journal of Environment Science and Engineering B* 2, 460 – 472.(2013)
- [29] - P. KYNKÄÄNNIEMI, B. ULÉN, G. TORSTENSSON, K.S. TONDESKI. Phosphorus Retention in a Newly Constructed Wetland Receiving Agricultural Tile Drainage Water. *J. Environ. Qual.* 42:596–605. (2013)
- [30] - APHA. *Standard Methods for Examination of Water and wastewater*, 18th Edition. American Public Health and Association, Washington D.C. (1992)
- [31] - R.G. WETZEL, G.E. LIKENS. *Limnological analysis*. Springer, (2000) 429p.
- [32] - J. OKOT-OKUMU,. Interaction between a littoral wetland and open lake (Lake Nabugabo) with spatial reference to phosphorus dynamics. PhD thesis, Makerere University (1999).