

EFFET DU BARRAGE HYDROELECTRIQUE RUZIZI I SUR LA TURBIDITE DES EAUX, L'ENVAISEMENT DU RESERVOIR ET LE TRANSPORT DES MATIERES EN SUSPENSION

Ndiwamungu Baderhage Augustin*

*Assistant à l'Institut Supérieur Pédagogique d'Idjwi (ISP/Idjwi) Département de Biologie – Chimie, Tél. : +243 9 98 95 52 71, Adresse e-mail: ndiwamungubaderhageaugustin@gmail.com

*Corresponding Author:

ndiwamungubaderhageaugustin@gmail.com

Resume

La présente étude a été réalisée sur une période allant du janvier 2018 à juin 2018 et a porté sur l'effet du barrage hydroélectrique Ruzizi I sur la turbidité des eaux, l'envasement du réservoir et le transport des Matières en Suspension. L'objectif principal était d'évaluer par turbidimétrie l'effet du barrage sur les écoulements des matières en suspension et le taux d'envasement du réservoir de la Centrale hydroélectrique Ruzizi I dans un contexte de forte anthropisation prévalant dans le bassin versant de cet écosystème. Les résultats obtenus ont montré que les eaux de la rivière Ruzizi en amont comme en aval sont troublées en saison de pluie et beaucoup plus en amont suite aux eaux boueuses en provenance du bassin versant constamment soumis aux érosions. Les eaux de ces sites sont fortement oxygénées et aérées, les faibles niveaux en oxygène sont associés à l'augmentation du taux d'envasement et de la turbidité. L'hydrologie a montré que le réservoir de la centrale est quasi-dépendant du lac Kivu, la relation entre le niveau d'eau du réservoir de la Ruzizi I et celui du lac Kivu étant une fonction linéaire où les précipitations n'arrivent pas à montrer immédiatement des conséquences sur le niveau d'eau et les débits turbinés. Les concentrations en MES du réservoir et de l'exutoire du barrage valent respectivement 9.1 et 5.9 mg/l soit une différence de 3,2 mg/l. Il s'avère donc que 64,8% du flux des matières en suspension est transporté à travers la turbine et 35,2% de la quantité reçue au niveau du réservoir est retenue par le barrage. En considérant un débit moyen de 97,2 m³/s, on établit un flux de 573,48 g/s soit 49,5 tonnes par jour de particules en suspension à travers le barrage, soit un équivalent de 18,080 kilotonnes par an. Ainsi donc la charge de 35,2% des particules retenues correspond à un dépôt sédimentaire de 26,9 tonnes par jour soit un équivalent de 9,8 kilotonnes par an d'envasement. La concentration résiduelle de 3,2 mg/l des Matières en Suspension, MES dans un réservoir de 146.10⁴ m³ d'eau représente une charge résiduelle en particules de 4,672 tonnes. Un nombre significatif d'activités anthropiques accélère l'envasement et augmente la turbidité des cours d'eau et un effet négatif sur le barrage Ruzizi I.

Mots-Clés : Hydrologie, Turbidité, physico-chimie, amont et aval

Abstract

This study was carried out over a period from January 2018 to June 2018 and focused on the effect of the Ruzizi I hydroelectric dam on water turbidity, reservoir siltation and transport of suspended matter. The main objective was to evaluate by turbidimetry the effect of the dam on the flow of suspended solids and the rate of siltation of the reservoir of the Ruzizi I hydroelectric power plant in a context of strong anthropization prevailing in the watershed of this ecosystem. The results showed that the waters of the Ruzizi River both upstream and downstream are disturbed in the rainy season and much more upstream due to muddy waters from the watershed constantly subject to erosion. The waters at these sites are highly oxygenated and aerated, low oxygen levels are associated with increased siltation rates and turbidity. Hydrology showed that the reservoir of the plant is almost dependent on Lake Kivu, the relationship between the water level of the Ruzizi I reservoir and that of Lake Kivu being a linear function where precipitation does not immediately show consequences on the water level and turbine flows. The suspended solids concentrations of the reservoir and the outlet of the dam are respectively 9.1 and 5.9 mg/l, i.e. a difference of 3.2 mg/l. It therefore turns out that 64.8% of the flow of suspended solids is transported through the turbine and 35.2% of the quantity received at the level of the reservoir is retained by the dam. Considering an average flow of 97.2 m³/s, a flow of 573.48 g/s or 49.5 tons per day of suspended particles is established through the dam, or an equivalent of 18.080 kilotons per year. Thus, the load of 35.2% of the particles retained corresponds to a sedimentary deposit of 26.9 tons per day, i.e. an equivalent of 9.8 kilotons per year of siltation. The residual concentration of 3.2 mg/l of Suspended Solids, MES in a tank of 146,104 m³ of water represents a residual particle load of 4,672 tons. A significant number of anthropogenic activities accelerate siltation and increase the turbidity of watercourses and a negative effect on the Ruzizi I dam.

Keywords: Hydrological, Turbidity, physico-chemistry, upstream and downstream

I. INTRODUCTION

Une perte en eau de 10% et 20% entraîne chez l'être humain des troubles graves voire même la mort (GISELE, 2007). La plus importante ressource en eau conduit à une bonne croissance démographique. Ceci n'est toujours pas possible suite à la surveillance de la qualité de l'eau non efficace sur le plan biologique, physique et chimique des milieux aquatiques en général (GAGNON et GANGBAZO, 2007). Sur le continent africain particulièrement, les réserves en eau des pays présentent environ 23% des ressources hydriques renouvelables (PNUE, 2011). La République Démocratique du Congo est un pays potentiellement riche en ressources hydriques avec environ 52% des réserves en eau et jouit d'une autonomie considérable en eau au voisinage de 70% (900 m³/an) des ressources actuelles en eau renouvelables provenant des précipitations sur le territoire national (NTAKOBANJIRA, 2016). Les précipitations sont d'une moyenne annuelle d'environ 6000 milliards de m³ régulières et abondantes mais varient géographiquement et en fonction des saisons (800mm à 18000mm) (PNUE (2011). Toute variation brusque des paramètres physico-chimiques entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème (DERWICH et al. 2010). La végétation naturelle aquatique permet à cet écosystème de jouer également plusieurs rôles primordiaux dont la rétention des polluants, la protection contre l'érosion et la régulation de la température (GAGNON et al. 2007). L'eau via une centrale hydroélectrique qui se compose d'une retenue d'eau et d'une installation de production d'énergie et des stations de transfert d'énergie par pompage (ou STEP) en général donne l'énergie hydroélectrique qui exploite l'énergie potentielle des flux d'eau (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins, etc.). Les avantages économiques liés à la capacité de modulation de la production d'électricité permettent de rentabiliser les investissements. L'énergie hydraulique permet de répondre aux besoins d'ajustement de la production électrique, notamment en stockant de l'eau dans de grands réservoirs au moyen de barrages ou de digues. Les fluctuations annuelles de la production hydraulique sont cependant importantes. Elles sont essentiellement liées aux précipitations. La production peut croître de 15% les années où la ressource hydraulique est forte et diminuer de 30% les années de grande sécheresse. (STEP 2011). En raison d'une régulation modifiée de l'eau, les écosystèmes en amont et en aval des barrages peuvent être perturbés (notamment la migration des espèces aquatiques) bien que des dispositifs comme les passes à poissons soient installés (Bilan électrique RTE, 2012). De même, le fonctionnement normal, la qualité de l'eau en amont d'un barrage se détériore suite à la perturbation du fonctionnement normal du cours d'eau ainsi qu'au dépôt solide provenant du bassin versant dû à la retenue des eaux. Ce qui entraîne un transfert des sédiments et de l'érosion, phénomène ayant un effet direct sur l'envasement pouvant impacter le fonctionnement normal de la rivière (rétrécissement de la largeur et diminution de sa profondeur) si des mesures préventives ne sont pas prises à temps (HADIDI, 2008). Au regard de ceci, il nous a été impérieux de mener cette recherche sur :

« l'effet du barrage hydroélectrique Ruzizi I sur la turbidité des eaux, l'envasement du réservoir et le transport des Matières en Suspension (MES) ». Les résultats de cette étude devraient aider les décideurs à la prise ou au renforcement des mesures de protection de la partie littorale de cet écosystème en particulier, lieu de fraie et de développement d'alevins et des juvéniles des principales espèces de poissons sur lesquelles repose la pêche, et du pélagique en général, source d'eau pour la production hydroélectrique dans la région des pays de grands lacs Africains. L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'étude du monitoring des eaux dans les écosystèmes lenticulaires via la rivière Rusizi. Spécifiquement cette étude cherche à : 1. Déterminer l'influence du barrage hydroélectrique sur la turbidité des eaux du réservoir (en amont du barrage) et de l'exutoire (en aval du barrage) 2. Estimer le taux d'envasement du réservoir à la centrale Ruzizi I. Pour atteindre notre objectif, les interrogatoires formulés sont les suivants: Quel est l'effet du barrage sur la turbidité, l'envasement du réservoir et le transport des matières en suspension et des nutriments bio-disponibles? Pour atteindre notre objectif, nous avons reformulé les hypothèses suivantes : i. Quel serait l'effet du barrage sur la turbidité, l'envasement du réservoir et le transport des matières en suspension et même des nutriments bio-disponibles ii. Quel serait le taux d'envasement du réservoir à la centrale Ruzizi I et son impact à l'impact sur cet écosystème.

II. MILIEU D'ETUDE ET METHODOLOGIE A. MILIEU D'ETUDE

La rivière Ruzizi est une rivière de la partie occidentale du bassin des fosses d'effondrement Africain (Rift Albertin) situé entre la chaîne de montagnes de Mitumba (à l'Ouest) et la dorsale Rwandaise (à l'Est). Elle s'étend sur une distance d'environ 120 km, de Bukavu à Uvira dans la province du Sud-Kivu en République Démocratique du Congo. La rivière Ruzizi (86 m³/s) (MUVUNDJA et al. 2014) déverse les eaux du lac Kivu situé à 1463 m d'altitude au lac Tanganyika situé à 773 m d'altitude dont elle est le principal affluent (30 % d'apports en eau) (HECKY et al, 1991). Cette rivière prend sa source dans la partie méridionale du lac Kivu et forme la frontière entre la République Démocratique du Congo (Bukavu, Chef-lieu de la provinciale du Sud-Kivu), la République du Rwanda et la République du Burundi. La rivière Ruzizi se trouve dans une région où règne un climat à saison humide plus longue mais ponctuée par une sécheresse de courte durée allant jusqu'à 3 mois. Le cours supérieur est caractérisé par une pluviométrie d'environ 1300 mm/y (MUVUNDJA et al. 2014). Les températures moyennes mensuelles y sont voisines de 20°C ; c'est donc un climat tropical chaud et humide mais tempéré par l'altitude. Sur cette rivière se trouve construit le barrage Ruzizi I, œuvre des Italiens et des Belges de 1954 jusqu'en 1958. Il alimente en courant électrique les habitants de Bukavu, Goma, Uvira, Rwanda et Burundi. Cette centrale a une puissance installée de 29,8 MW, mais la puissance disponible dépend du niveau actuel du Lac-Kivu. Il est du type poids, construite sur une pierre volcanique (Mapendo, 2016). La centrale Ruzizi I est une propriété 100% Congolaise gérée par la SNEL (Société Nationale d'Electricité) contrairement à celle de la Ruzizi II qui est communautaire de 3 pays de la CEPGL (Rwanda, le Burundi et RDC), mais les deux sont maintenant interconnectés. Il y a 3 traversées à Ruzizi II dont Rubanza au Burundi, Reco

au Rwanda et SNEL en RD. Congo. Chacun de ces pays prend le 1/3 de la production du courant électrique. Deux barrages supplémentaires, Ruzizi III et IV situé en aval de la Centrale Ruzizi II à environ 25 km (au niveau des escarpements de Ngomo) et à moins de 5 km (au niveau de Sisi, limite Mumosho et Nyangezi) sont prévus. La centrale hydroélectrique Ruzizi I est composée de trois parties : La retenue ou le barrage (figure a), l'usine (figure b) et la restitution (figure c). Lors de notre recherche les lacs de barrage (a) et de restitution (b) ont plus attiré notre attention parce qu'ils sont deux lieux où l'envasement minimum ou maximum peut s'observer en fonction de la turbidité des eaux et des précipitations. Ainsi, notre étude a porté sur deux sites dont : -le premier se trouve au niveau du Réservoir de la Ruzizi I à une altitude de 1471 m et à une longitude de 02°30,52' S ; 028°52,529' E (Fig. a)-le deuxième se trouve en aval de la centrale Ruzizi I à une altitude de 1450 m et à une longitude de 02°31' S ; 028°52' E (Fig. b).

Figure1: Images des parties amont (a), avale (b) et usine (c) de la centrale Ruzizi I



(a)

(b)

(c)

Le lac Kivu constitue le réservoir naturel de la centrale hydroélectrique Rusizi I avec une superficie de 2370 Km². La tranche exploitable est entre 1462 et 1463 m au-dessus de la mer La rivière Ruzizi qui prend sa source dans le lac constitue le bassin même de retenue de la centrale Ruzizi I à 4 Km de distance qui sépare le lieu appelé ulcère jusqu'au barrage (MUVUNDJA et al. 2011, 2014). Salongueur moyenne est de 124,5m avec un volume de la tranche utile de 1 460 000 m³. Son débit maximal est de 172 m³/s, son débit minimum de 32,8 m³/s et la moyenne vaut 62,3 m³/s. En plus, la partie en amont de cette centrale a une profondeur moyenne d'environ 14 m et sa longueur 180 m dont le fonctionnement conditionne celui de l'autre centrale construite en aval de celle-ci. La hauteur de chute brute est de 24 m. Entre le lac et le réservoir de Ruzizi I, il n'y a que la petite rivière Mukukwe qui se jette dans cette partie de la Ruzizi au niveau de la Cellule Keredi à Bukavu. Par contre, entre les deux barrages, quelques petits torrents dont les débits ne dépasseraient pas le m³/s chacun drainent le bassin versant et se déversent dans la Ruzizi (MUMBERE, 2016).

B. METHODOLOGIE

Cette étude s'est réalisée sur une période de six mois allant du 09 Janvier 2018 à la première quinzaine du mois de juillet au cours de la même année. Des prélèvements d'eau ont été effectués en amont et en aval du barrage Ruzizi I entre 06 :00 et 8 :00 du matin trois fois par semaine pour suivre temporairement la fluctuation de la précipitation sur turbidité et voir l'impact de celle-ci sur le barrage et beaucoup sur son envasement .Nos sites de prélèvement ont été choisis en raison de l'accessibilité, de la facilité de collection des données physico-chimiques. Les prélèvements des échantillons d'eau ont été faits à l'aide de la bouteille de Van Dorn de capacité de 6 litres et de marque Kahlsico, USA. Les échantillons d'eau étaient collectés dans des bouteilles en polyéthylène de 500 ml aux différents sites d'échantillonnage. Les échantillons collectés étaient directement acheminés au laboratoire où ils étaient filtrés sur papier filtre de marque Whatman GF/5 (47 mm) à l'aide d'une pompe à vide. Les échantillons d'eau filtrée étaient alors gardés au congélateur à - 20°C jusqu'au jour prévu pour les analyses chimiques. Comme l'indique la figure 2 ci-dessous, La température ; le pH ; la pression de l'eau, la conductivité, l'oxygène dissous et de saturation étaient mesurés sur site à l'aide d'une sonde multiparamétrique (YSI 550A, USA ; Fig.e). La turbidité était mesurée sur le terrain aussi à l'aide d'un turbidimètre (HACH 2100Q, Germany ; Fig.a). Les coordonnées géographiques étaient mesurées à l'aide d'un GPS (Garmin Olatthe, USA ; Fig. d).

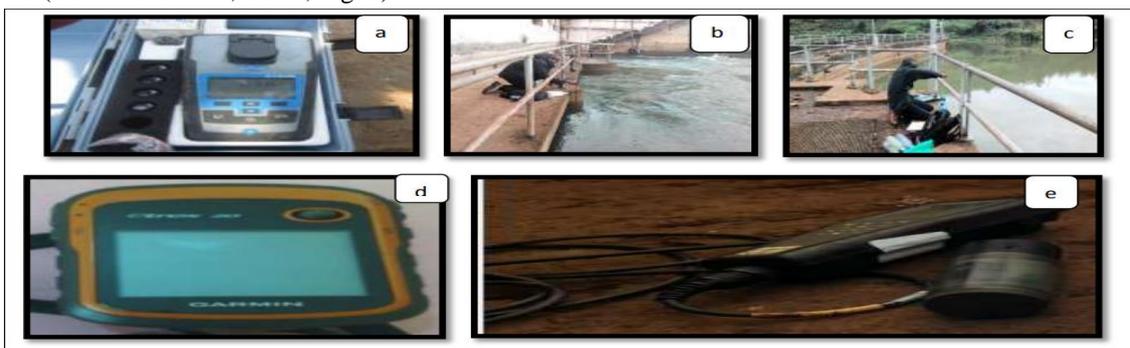


Figure2. Appareils de mesure de paramètres physico-chimiques dont les noms suivent de gauche à droite (turbidimètre (a); YSI 550A (e); GPS garmin etrex 20 (d) ; b et c : En pleine mesure in situ des paramètres physico-chimiques.

B.1. Détermination de l'envasement de la centrale Ruzizi I

La turbidimétrie est une méthode d'analyse spectroscopique qui trouve son application dans la détermination de la turbidité dans les eaux souterraines, les eaux usées, les eaux de surface et l'eau potable. Le domaine d'application se situe entre 0,1 et 1000 Unités de Turbidité Néphélométrique (UTN) mais peut être prolongé jusqu'à 7 500 UTN en modifiant l'étalonnage (CEAEQ, 2016). En effet des solutions étalons de 10, 20, 100, 200 et 800 NTU étaient chaque fois utilisées pour l'étalonnage du turbidimètre. Ensuite l'échantillon était mesuré si la turbidité de l'étalon 10 NTU était situé 9 et 11. L'envasement de la centrale Ruzizi I a été estimé par la différence entre la turbidité des eaux en amont et celle des eaux en aval du barrage. Pour convertir la turbidité en concentration des matières en suspension une courbe de calibration a été élaborée en préparant des solutions de concentration connue des sols latéritiques du bassin versant (prélevés dans le champ de l'ISP Bukavu) et dont les valeurs de turbidité ont été déterminées. En effet des échantillons des sols préalablement séchés à l'étuve à 105°C et ensuite finement broyés ont été pesés à 0.1 mg près et ont servi pour la préparation des échantillons. La masse pesée rapportée au volume de la solution donne la concentration de MES en mg/l. La matrice des solutions ainsi préparées était l'eau de la pluie prélevée à Bukavu.

B. 2. Collecte des données et Techniques d'analyse chimique utilisées

Les caractéristiques hydrologiques (débits turbinés et niveaux d'eau) de la rivière Ruzizi mesurées à la centrale Ruzizi I ont été obtenues auprès des ingénieurs de la Société Nationale d'Electricité (SNEL) et opérateurs à la Société Internationale d'Electricité des pays de Grands lacs (SINELAC) qui gèrent les stations limnimétriques installées en amont et en aval de la centrale. Le débit d'eau entrant dans le réservoir de cette centrale était calculé sur base de la courbe de tarage disponible auprès de la SNEL (Muvundja et al., 2011; 2014) à savoir:

$Q_{Ruz} = aH_{Buk} - b$ ($r^2 = 0,996$; $n = 11$). Avec H_{buk} , le niveau d'eau du lac mesuré à l'exutoire (en m au-dessus de la mer); Q_{Ruz} est le débit de la Ruzizi à l'exutoire (en m^3/s); a et b étant des constantes qui valent respectivement 75,63 (en m^2/s) et 11051 (en m^3/s). Les données pluviométriques de la ville de Bukavu et ses environs ont été acquises auprès de la Station météorologique de Kamembe au Rwanda, station installée à côté de la Ruzizi dans la région de Rusizi au Rwanda.

B.3. Techniques d'analyse chimique Utilisées

Au laboratoire, un volume de 2 litres était prélevé dans les deux sites. De ce volume, environ 1ml d'eau était filtré et un autre non-filtré et tous les deux étaient conservés dans un congélateur jusqu'au jour d'analyse. L'eau filtrée était destinée aux analyses des sels nutritifs alors que l'eau non filtrée aux analyses de l'alcalinité totale et d'autres ions nécessaires dans l'évaluation de la qualité des eaux de surface. La figure 3 ci-après présente le système de filtration des eaux avant les analyses proprement dites.



Figure 1 : Unité de filtration couplée à une pompe à vide permettant la filtration des échantillons d'eau.

B.4. Détermination des concentrations en nutriments

Les dosages des nutriments (Phosphate, Ammonium, Nitrites et Silice) ont été réalisés par des techniques standardisées d'analyses spectrophotométriques UV-Visible des échantillons d'eau filtrée sur membranes en fibres de verre Macherey-Nagel GF/5 selon les méthodes normalisées d'APHA (HANGE, S. et al. 2016). 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 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 des réactifs appropriés : l'acide ascorbique, heptamolybdate d'ammonium, tartrate antimonyl de potassium, salicylate de sodium, citrate trisodique et nitroprussiate de sodium (Muvundja et al., 2009 ; Wimba, 2009). Les procédures détaillées de ces différents dosages se trouvent en annexe de ce travail et les photos illustratives de ces dosages sont reprises sur la figure 4 ci-dessous.

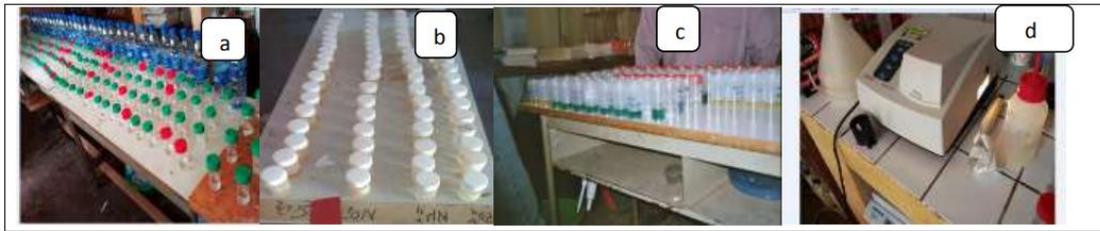


Figure 4 : Analyse des sels nutritifs (phosphate, ammonium, nitrite et silice) par les méthodes normalisées d’A.P.H.A. (2005), (a) et : préparation des échantillons au dosage ; (c) : préparation et ajout des réactifs standards et (d) : lecture des absorbances auspectrophotomètre.

L’alcalinité totale a été déterminée par le dosage volumétrique qui est une méthode de titrage basée sur la diminution du pH existant entre les réactifs et les produits au cours de la réaction envisagée entre les ions dissous dans l’échantillon d’eau et la solution acide utilisée (MUHINDO, 2016). L’alcalinité des échantillons d’eau collectés a été déterminée par un titrage acidimétrique avec une solution d’acide chlorhydrique 0,1 N selon les réactions suivantes :

$$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \longrightarrow \text{HCO}_3^- \text{ (1)} \quad \text{et} \quad \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \text{ (2)}$$

Au cours du titrage, le pH diminue légèrement. Lorsque l’échantillon contient des carbonates, le premier point d’équivalence peut être observé aux environs de pH égal 8,3. Ce point d’équivalence se trouve aux environs de pH égal 4,3 (CEAEQ, 2011). La procédure détaillée et les limites de cette méthode se trouvent en annexe de notre document d’édition 2018. La concentration de l’alcalinité totale est déterminée au point d’équivalence grâce à l’équation générale du titrage volumétrique acido- basique :

En effet, $T = \frac{100,00 \times B \times M}{V}$ (mg/L) avec B : volume de la solution acide titrant en mL, M : concentration

de l’acide en mol/L et V : volume de l’échantillon en ml. Et $R = \frac{10^5 \cdot A \cdot M}{V}$ Où R : alcalinité en mg.l⁻¹

de CaCO₃ A : volume de l’acide M : molarité de HCl en mol.l⁻¹ et V : volume de l’échantillon en ; La constante 10⁵ est le facteur de conservation du nombre de moles en masse et représente la masse molaire du CaCO₃ en mg. mol⁻¹.

B. 5. CORRELATION DE MES/NTU

La turbidité, telle qu’elle est définie dans la méthode néphélométrique correspond à une mesure non spécifique de la concentration des solides en suspension. Des particules, en concentrations très différentes, peuvent avoir les mêmes valeurs de turbidité si elles sont de types très différents. Car la mesure néphélométrique de turbidité est fonction de la concentration, de la taille, de la forme et des coefficients de réfraction des particules présentes. La corrélation entre le coefficient de diffusion et la masse totale de MES (Matières en Suspension) dépend donc de : La répartition en taille des particules et la relation entre le volume total et la masse totale.

B.6. Analyse et traitement statistiques des données

Les tableaux-synthèses des données, la statistique descriptive (moyennes, écart-types, min. et max. etc.) et la construction des graphiques ont été réalisés à l’aide du tableur Microsoft Excel (version 2011) sous Microsoft Windows XP. Pour les analyses statistiques et figures, le logiciel STATISTICA, version 6 sous Microsoft Windows XP a été utilisé. Ainsi le test t de student et ANOVA one way (test à N différent de Tukey) ont été utilisés pour la comparaison des moyennes de différents paramètres physico-chimiques entre les sites échantillonnés et des différentes valeurs de précipitations mesurées. La comparaison des données a été faite entre l’amont et l’aval de la centrale hydroélectrique Ruzizi I. Quant au test de Mann-Whitney (1947), il a été utilisé pour des données non paramétriques et a permis, par la suite, de situer les différences entre les sites, pris deux à deux.

II. PRESENTATION DES RESULTATS

II. 1. Précipitation météorique

Les précipitations journalières utilisées ont été mesurées à la station de l’EDAP-ISP/Muhungu Météo du 01/01/2018 au 30/06/2018. La variation temporelle est donnée sur la figure 9 pour laquelle on observe une extrême Précipitation le 01/02/2018.

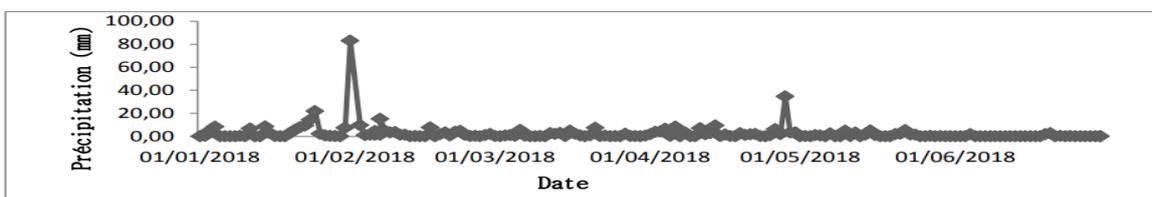


Figure 5 : Valeurs journalières des précipitations mesurées du mois de janvier au mois de juin 2018 à la station de l’EDAP-ISP/Muhungu.

On constate à partir de la figure 5 que le mois le plus pluvieux était le mois de février 2018 et le moins pluvieux est celui de juin de la même année. La valeur de la précipitation la plus importante a été enregistrée le 01/02/2018 et a atteint 83mm des pluies. En plus de cela, trois autres événements extrêmes ont été enregistrés en Janvier, mars et mai de cette année d'étude. Cependant en moyenne la précipitation journalière était de 20mm hormis les valeurs extrêmes susmentionnées

II .2. Evolution de la turbidité en fonction des précipitations

L'évolution de la turbidité mesurée en amont et en aval de la centrale Ruzizi I en fonction de la pluviométrie est donnée par la figure 6.

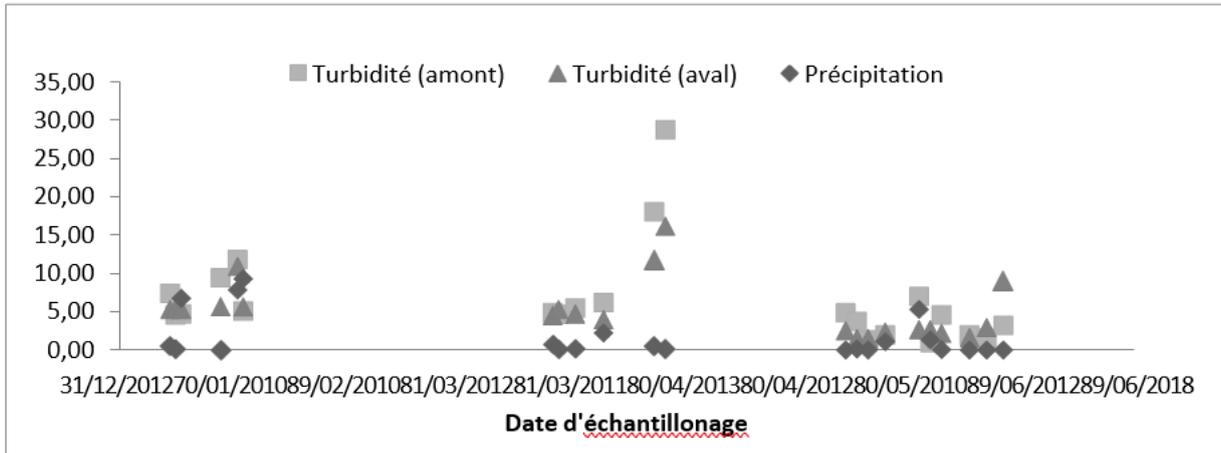


Figure 6 : Effet des précipitations sur la turbidité en amont et aval de la Ruzizi I

De cette figure il ressort que les précipitations ont un effet positif sur la turbidité mesurée en amont et en aval de la centrale Ruzizi I en dépit du manque de continuité des données. De même, le mois d'avril a été le plus turbide que tous les autres mois (hormis février) avec la valeur de la turbidité la plus élevée mesurée en amont de la centrale.

II. 3. Débits moyens annuels de la centrale hydroélectrique RUZIZI I (2013-2017)

La centrale hydroélectrique RUZIZI I présente des débits moyens annuels changeant en fonction de la quantité d'eau qui arrive dans son lac de retenue.

Tableau 1 : Débits moyens annuels de la centrale RUZIZI I

ANNEES	DEBIT MOYEN (m ³ /s)
2013	98,53
2014	94,06
2015	110,44
2016	106,14
2017	77,33
MOYENNE	97,3

Ce tableau donne une moyenne actuelle qui est autour de 97,3 m³ /s. Cependant pour la période d'étude, le débit moyen turbiné était de 62,3 m³/s avec écoulement dans le by-pass

II.4. Niveau d'eau du lac, en amont et en aval de la centrale Ruzizi I

Les débits turbinés ne sont corrélés ni avec le niveau du lac ni avec les précipitations mais probablement avec la capacité des turbines et le besoin de la production hydroélectrique (tableau 1)

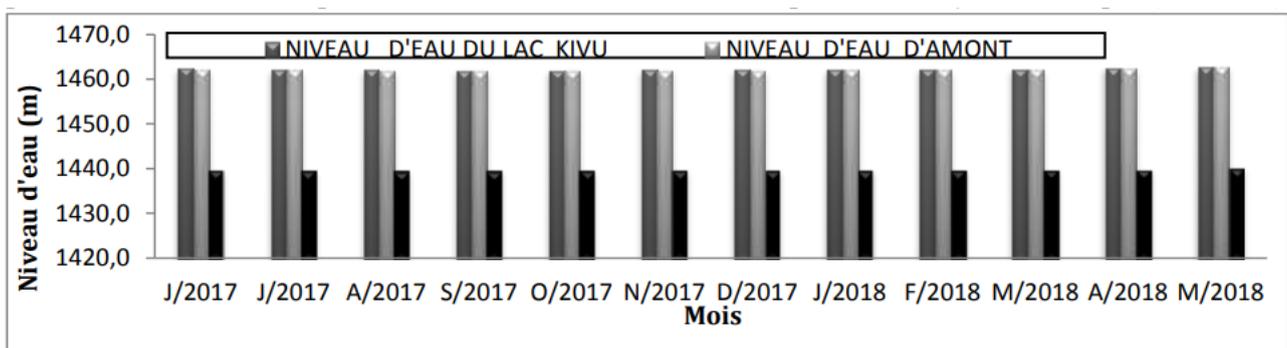


Figure7 : Niveau d'eau en m du lac, de barrage (amont), et d'aval de la Ruzizi I (Juin 2017 –Mai 2018)

II.5. Turbidité (en NTU)

La turbidité est donc fonction de la quantité, de la taille et de la forme des particules en suspension et dissoute et varie en fonction des apports des fleuves, de la remise en suspension du sédiment et de la concentration en plancton. Les résultats obtenus lors de nos vingt-deux campagnes d'échantillonnage, nous ont conduits à tracer le graphique ci-dessous.

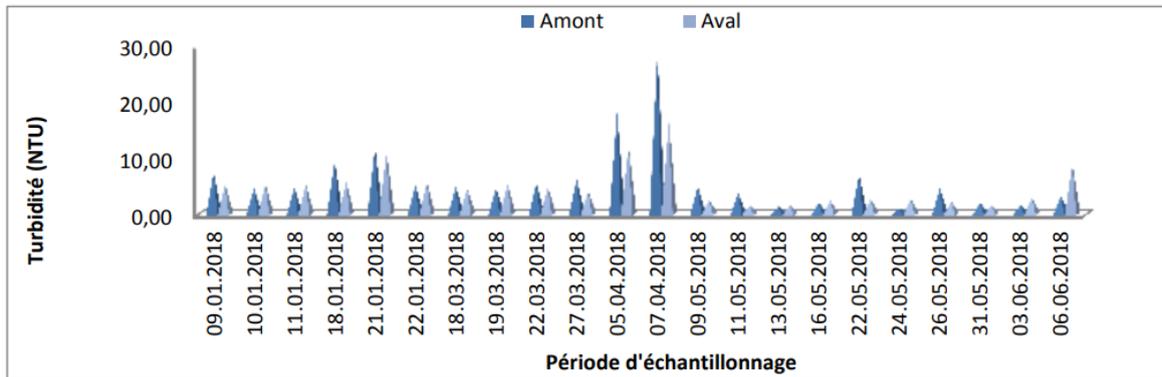


Figure 8 : Evolution temporaire de la turbidité en amont et aval de la centrale hydroélectrique Ruzizi I

De ce tableau, il ressort que la valeur la plus élevée de la turbidité a été de 28,7 NTU, valeur mesurée en date du 07/04/2018 en amont où la plus faible a également été obtenue le 24/05/2018 et dont la valeur est de 0,91 NTU. En aval, la plus importante valeur a été de 16,17 NTU, obtenue le 07/04/2018 avec comme valeur la plus faible 1,47 NTU mesurée les 11 et 13/ 05/2018. En comparant toutes les différentes valeurs mesurées pour les campagnes d'échantillonnage entre les deux sites, on constate que la différence est significative entre l'amont et l'aval (test t de student, $p = 0,046$ au seuil 0,05).

II.7. MATIERES EN SUSPENSION (MES)

Une importante turbidité et/ou son accroissement a de multiples répercussions sur l'environnement et joue un rôle majeur sur le plan sanitaire en influençant les caractéristiques microbiologiques et chimiques de l'eau. En effet, sous certaines conditions physico-chimiques, les micro-organismes ou les particules chimiques peuvent s'adsorber sur les MES (ÉLODIE R. ; 2014). Au cours de cette étude, nous avons évalué la matière en suspension en fonction de la turbidité voir la figure 9 ci-dessus.

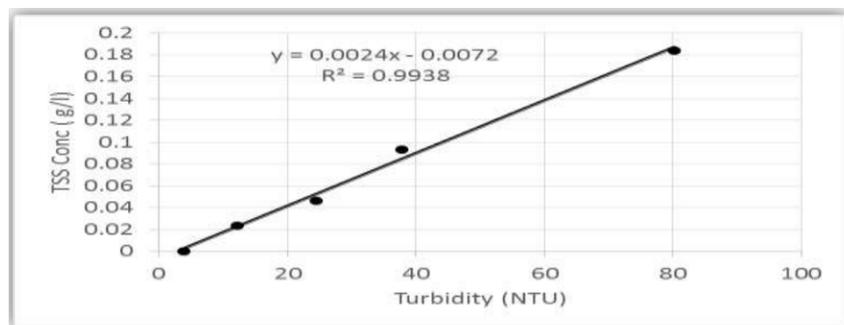


Figure 9 : Courbe d'étalonnage des matières en suspension en fonction de la turbidité

La courbe d'étalonnage $MES = f(NTU)$ montre une forte relation linéaire dont l'équation est donnée par : $MES = 0,0024 * Turbidité - 0,0072$ Avec MES en g/l et turbidité en NTU. L'application de cette relation donne les résultats présentés dans le tableau n°2.

Tableau 2 : Concentrations en Matières en suspension (en mg/l) en amont et en aval du réservoir d du barrage Ruzizi I

	Amont	Aval
Moyenne	9.1	5.9
Ecart-type	14.5	8.3
Min.	0.0	0.0
Max.	61.8	31.6

Les concentrations en MES du réservoir et de l'exutoire du barrage valent respectivement 9.1 et 5.9 mg/l soit une différence de 3,2 mg/l. Il s'avère donc que 64,8% du flux des matières en suspension est transporté à travers la turbine et 35,2% de la quantité reçue au niveau du réservoir est retenu par le barrage. En considérant un débit moyen de 97,2 m³/s, on établit un flux de 573,48 g/s soit 49,5 tonnes par jour des particules en suspension à travers le barrage, soit un équivalent de 18,080 kilotonnes par an. Ainsi donc la charge de 35,2% des particules retenues correspond à un dépôt sédimentaire de 26,9 tonnes par jour soit un équivalent de 9,8 kilotonnes par an d'envasement. La concentration

résiduelle de 3,2 mg/l de MES dans un réservoir de $146. 10^4 \text{ m}^3$ d'eau représente une charge résiduelle en particules de 4,672 tonnes.

II.1.8. Alcalinité

Au cours de cette étude, nous avons constaté que l'alcalinité totale des eaux échantillonnées varie de 0,2 à 300,4 méq/L dont la moyenne a été de $85,3 \pm 114,6 \text{ méq/L}$. Par contre, en aval, elle va de 1 à 285,4 méq/L avec une valeur moyenne de $93,4 \pm 104,7 \text{ méq/L}$.

La figure 20 donne en synthèse les valeurs analysées de l'alcalinité totale des eaux en amont et en aval de la centrale Ruzizi I.

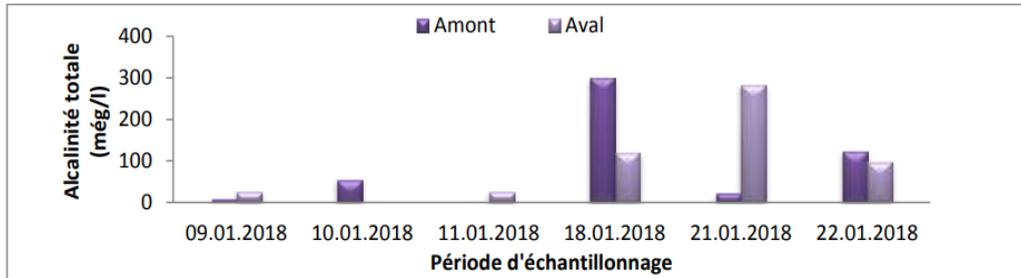


Figure 10 : Valeurs d'alcalinité totale (méq/L) en amont et aval de la centrale Ruzizi I

III. Nutriments

Lors de notre étude, quatre nutriments ont été dosés (phosphate, nitrites, ammonium et silice) dans les eaux des différents sites étudiés. La concentration en phosphate en amont a varié entre -2,18 et 17,58 mg/L en amont et en aval entre 0 et 9,19mg/l. En comparant toutes les différentes valeurs obtenues après analyse pour les campagnes d'échantillonnage entre les deux sites, on constate que la différence n'est pas significative entre l'amont et l'aval (test t de student, $p = 0,108$ au seuil 0,05). Pendant la période des décrues, on note des très faibles concentrations dans les deux sites. Par contre, pendant la saison de pluie, les valeurs importantes de concentration ont été enregistrées (17,58 mg/L) en amont du barrage en date du 11/05/2018. Les résultats y relatifs varient de 0,05 mg/l à 1,79 mg/l en amont et de 0,04 mg/l à 1,78 mg/l en aval. Quant à l'ammonium, Les valeurs les plus élevées ont été observées pendant le mois de janvier correspondant à la saison pluvieuse et les plus basses pendant l'étiage. La période des crues correspond à la période des apports importants des sels nutritifs azotés. La comparaison de moyennes obtenues entre les deux sites n'a montré aucune différence significative entre elles (test t de student, $p = 0,32$ au seuil 0,05). Les résultats relatifs à des concentrations en nitrite varient de 0,00 mg/l à 0,07 mg/l en amont et de 0,00 mg/l à 0,09 mg/l en aval. Les valeurs les plus élevées ont été observées pendant le mois de mars et d'avril correspondant à la saison des pluies et les plus basses pendant l'étiage notamment le mois de juin. La période des crues correspond à la période des apports importants des sels nutritifs azotés (ici ammoniacal mais pas du nitrite) comme le montre la figure ci-après. La comparaison des moyennes obtenues entre les deux sites n'a montré aucune différence significative entre elles concernant le nitrite (test t de student, $p = 0,29562567$ au seuil 0,05). Les résultats relatifs à des concentrations en silice également varient de 1,07 mg/l à 18,17 mg/l en amont avec une moyenne de $6,61 \pm 4,84 \text{ mg/l}$ et de 0 mg/l à 6,44 mg/l en aval dont la moyenne est de $4,92 \pm 1,95 \text{ mg/l}$. Les valeurs les plus élevées ont été observées pendant le mois de mars et de mai correspondant à la saison des pluies et les plus basses pendant la même saison au mois de janvier. La période des crues, malgré cette faible valeur, correspond à la période des apports importants des composés siliciques comme le montre la figure ci-après. La comparaison de moyennes obtenues entre les deux sites une différence significative entre elles concernant la silice (test t de student, $p = 0,007$ au seuil 0,05). Les figures 11 et 12 ci-dessous donnent l'évolution temporaire de ces quatre nutriments dosés pour ces deux sites d'échantillonnage c'est-à-dire en amont (fig.11) et en aval (fig.12).

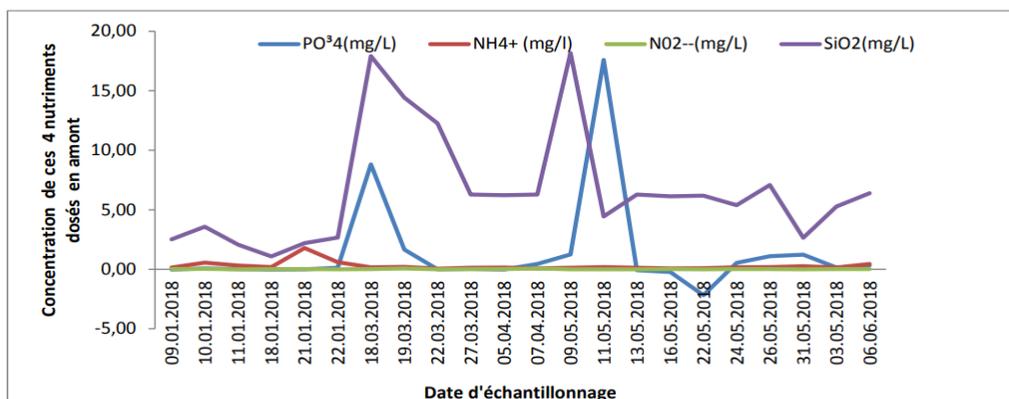


Figure 11 : Evolution temporaire de concentration de ces 4 nutriments dosés en amont

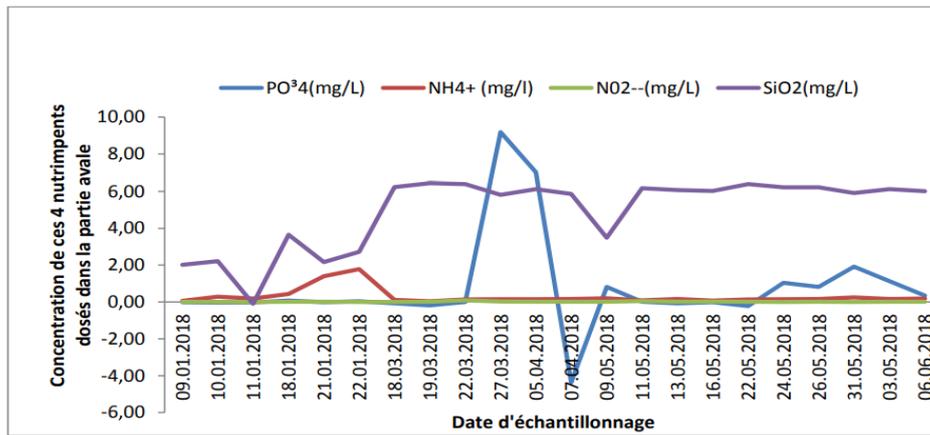


Figure 12 : Evolution temporelle de concentration de ces 4 nutriments dosés en aval

IV.DISCUSSION DES RESULTATS

La différence entre les niveaux d'eau du lac et celui du réservoir de la centrale Ruzizi I n'a varié que très faiblement pendant une période de 2010 et indique un faible balancement du bilan hydrique de la rivière en amont de la centrale Ruzizi I. De même, Les variations du niveau d'eau du lac influencent celui du réservoir à la centrale Ruzizi I pendant la même période. Ainsi, la relation entre le niveau d'eau mesuré en amont de cette centrale et celui mesuré au niveau du lac obéit à une loi de régression linéaire (Muvundja et al. 2011). De même, les débits turbinés ainsi que les niveaux d'eau enregistrés aux centrales montrent une saisonnalité, l'influence des précipitations sur les variations de ces débits et le niveau d'eau de la rivière étant faible. Des résultats semblables ont été obtenus sur l'influence des précipitations sur la réserve d'eau facilement utilisable pour l'agriculture par Debieche (2002) et sur la rivière Ruzizi par Riziki (2016). Les résultats similaires ont été obtenus dans la région sur la saisonnalité des débits des eaux du réservoir du barrage Ruzizi I (Muvundja et al. 2014 ; Riziki, 2016) et sur l'influence des précipitations sur le niveau d'eau du lac (Akonkwa et al. 2015, Riziki, 2016).

Les variations du niveau d'eau du lac Kivu n'influencent pas significativement les débits turbinés. Ce phénomène s'expliquerait par le fait que les eaux de la Ruzizi émanent du lac Kivu et sont stockées au niveau du réservoir pour être utilisées en fonction de la capacité des turbines mises en marche pour la production hydroélectrique. Le débit enregistré à la centrale est bien dans la gamme des données publiées (92 m³/s) par Muvundja et al. (2014). Et bien en dessous du débit maximal (120 m³/s) rapporté par l'opérateur de la centrale. Les valeurs de températures mesurées varient entre 22,9 et 25°C en amont et 23,10 et 24,2 en aval du barrage, valeurs ne s'éloignant pas trop de celles mesurées par les autres auteurs dans la même rivière aux mêmes ou différents sites (ISUMBISHO et al. 2006, MUSHAMUKA, 2008 ; BISIMWA, 2009 ; MUVUNDJA et al. 2011 ; KUBABURANZI, 2015 et RIZIKI, 2016). En effet, la température influe sur la solubilité des gaz et des sels minéraux. De manière générale, l'augmentation de la température entraîne la diminution de la concentration en gaz tels que l'oxygène, le gaz carbonique et le soufre sont solubles dans l'eau (BLANC, 2000). La température de l'eau contrôle indirectement la photosynthèse algale et la respiration dans le milieu aquatique à travers les enzymes en entraînant le changement causé par l'activité métabolique (QI et al, 2008). Les valeurs de la conductivité sont situées entre 1022 et 1175 µS/cm en amont et entre 1018,00 et 1175,00 µS/cm en aval de la centrale Ruzizi I. Pendant cette prospection, les valeurs les plus élevées ont été obtenues en aval qu'en amont. En effet, l'eau qui arrive dans le réservoir du barrage charrie des particules solides qui, du fait d'un temps de séjour plus ou moins long dans le barrage, se décomposent en particules plus ou moins fines et/ou se minéralisent (LAMIZANA-DIALLA, M., et al. 2008). Ces résultats affermissent ceux d'ISUMBISHO et al. 2006, KUBABURANZI, 2015 et RIZIKI 2016 qui ont trouvé respectivement une conductivité de 1160 µS/cm, 1125 µS/cm et 1136 µS/cm pour la même rivière. Les concentrations moyennes obtenues pendant la période de cette étude ne s'écartent pas de celles obtenues par ISUMBISHO et al. (2006), KUBABURANZI (2015) et RIZIKI (2016) et confirment ceux obtenus par KANINGINI et al. (1999). Selon BARTRAM et BALLANCE (1996), l'alcalinité de certaines eaux est surtout due aux carbonates de calcium et de magnésium ; pareilles eaux possèdent un pH ne dépassant jamais 8,3. Ainsi donc, l'alcalinité permet de définir la dureté de l'eau (BANTON et BONGOU, 1997). Les valeurs moyennes de la turbidité ont été de 5,1 NTU en aval et de 6,4 NTU en amont. La valeur la plus élevée de la turbidité a été de 28,7 NTU mesurée le 07/04/2018 en amont quand il avait abondamment plu à la veille du terrain et la plus faible valeur a été de 0,91 NTU, valeur mesurée en amont de la centrale le 24/05/2018 avec une moyenne de 6,38± 6,22 NTU. La plus importante valeur mesurée en aval a été de 16,17 NTU obtenue le 05/04/2018, la plus faible étant de 1,47 NTU, mesurée le 13/05/2018. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par KALONDANA (2017) en amont, RIZIKI (2016) lui avait enregistré les valeurs moyennes de la turbidité comprises entre 3,0 NTU et 15 NTU et a montré que la variation de la transparence est inverse à celle de la turbidité et que les eaux les plus transparentes sont les moins turbides. Ce phénomène s'est observé beaucoup plus dans la partie amont de la centrale Ruzizi I qu'en aval. Nos résultats montrent une variabilité spatiale de la turbidité dans nos sites échantillonnés et démontent une tendance d'envasement progressif dans cet écosystème. Elle varie aussi en fonction des saisons, des matières en suspension (MES), telles que l'argile, le limon, les particules organiques, le plancton et les autres organismes microscopiques (Kouakou, S., et al., 2008). Une turbidité trop élevée empêche donc la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau en finissant par déposer les

sédiments et peut diminuer la croissance des algues et des plantes aquatiques. La charge en particules transportées par la Ruzizi à la centrale hydroélectrique de Ruzizi I est légèrement supérieure à celle transportée par la rivière Lwiro (15,5 kt/an) mais inférieure à celle de Murhundu (27,4 kt/an) se trouvant dans la même région que le milieu d'étude de ce travail. Cependant les mesures de turbidité faites au barrage de Ruzizi II à Mumosho (23 NTU en moyenne ; Muvundja, Comm. pers.) montrent un plus grand flux des matières en suspension que pour la Ruzizi I. Ceci se justifie par l'augmentation de la superficie du bassin caractérisé par une forte activité agricole sur les flancs. Le taux d'envasement observé dans cette étude montre la vulnérabilité du lac de retenue de la Ruzizi I et interpelle quant à la protection des ouvrages de la centrale. Un effort doit être fait pour protéger la rivière par l'intensification de la lutte antiérosive (reboisement des versants, lutte contre les constructions anarchiques sur les versants), la plantation des macrophytes sur les rives de la rivière, etc. Les activités anthropologiques ont contribué à accélérer les processus d'érosion et d'envasement, créant ainsi un déséquilibre se traduisant par la perte de terres agricoles, une diminution de la capacité de rétention de l'eau dans les forêts, une fréquence plus élevée des inondations, un remplissage plus rapide des réservoirs et l'accumulation de sédiments fins dans les cours d'eau (HEEDE et RINNE, 1990 ; MURPHY et al. 1981 ; WATERS, 1995). Un nombre significatif d'activités anthropiques accélèrent l'envasement et augmentent la turbidité des cours d'eau.

V. CONCLUSION

La présente étude que nous avons menée avait comme objectif général d'évaluer l'effet du barrage hydroélectrique de Ruzizi I sur la turbidité des eaux, l'envasement du réservoir et le transport des Matières en Suspension, MES plus particulièrement la turbidité sur le taux d'envasement du réservoir de la centrale Ruzizi I par turbidimétrie en vue de son utilisation adéquate et rentable. Cet effet a été déterminé en se basant sur la teneur en nutriments disponibles, l'hydrologie avec une attention sur : la pluviométrie, le niveau d'eau du lac, du barrage et de la zone de restitution (aval) du barrage. Les paramètres physico-chimiques ont été prélevés in situ en amont et en aval du barrage entre le 09 janvier et le 06 juin 2018. Les échantillons d'eau étaient aussi prélevés dans des bouteilles de 1 litre et transférés au laboratoire pour les analyses appropriées. Les résultats montrent que la valeur la plus élevée de la turbidité (28,7 NTU en date du 07/04/2018) a été mesurée en amont pendant la saison des pluies. Ces résultats montrent qu'une élévation en turbidité entraîne la diminution de la transparence des eaux de la Ruzizi et conduit à un envasement progressif, phénomène plus observé en amont qu'en aval de la Ruzizi I et la production hydroélectrique s'avère faible. De même, nos résultats montrent une variabilité spatiale et temporaire de la turbidité dans nos sites échantillonnés sur cet écosystème. Cependant ils en sont pour la turbidité surcroît avec l'augmentation des matières en suspension. Un pourcentage considérable, estimé à 35,2% des particules érodées du bassin versant charriées dans la rivière est retenu dans le réservoir constituant une estimation de l'envasement du lac de retenue. Pour une gestion durable et pérenne du barrage MURURU, les recommandations suivantes ont été formulées et adressées :

- ❖ Aux autorités politiques d'appliquer la loi sur la protection des bassins versants des cours d'eau ainsi que de la gestion des déchets solides et liquides en milieu urbain avant leurs déversements dans les rivières.
- ❖ Aux Responsables de la SNEL d'encourager les études traitant des thèmes de lutte contre l'envasement de barrage pour appuyer leurs techniques de curage et chasse d'eau.
- ❖ Eviter des séjours longs de rejets (matières flottantes et autres) en amont pour dire dans le barrage pour protéger non seulement l'usine mais aussi la vie dans le lac de retenue tels que les poissons qui constituent la principale source de protéines d'origine animale disponible pour la population riveraine.
- ❖ Aux ONG et cadres de base de vulgariser la loi sur la protection environnementale en matière de gestion des zones humides et de sensibiliser la population aux bonnes pratiques agricoles non polluantes et ne dégradant pas la qualité des sols.

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. ABID, M. (2003) - Gestion de l'envasement dans les retenues des grands barrages tunisiens. Direction Générale des barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), ministère de l'Agriculture, Tunisie, 22 p. Methods, 2001.
- [2]. Muvundja, F.A., Munini, P., Kisekelwa, T., Masilya, M. P., Isumbisho, M.P. et Kaningini, M. (2011) - Hydrologie et qualité physico-chimique des eaux des réservoirs des barrages hydroélectriques de la Rivière Ruzizi, Sud-Kivu, RDC. Cahiers du CERUKI/Nouvelle Série, Numéro spécial Prof. Alphonse Byamungu.
- [3]. ÉLODIE, R. (2014) – « Turbidité et risques dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) », *Bulletin de l'association de géographes français*, <https://doi.org/10.4000/bagf.1673> KUBABURHANZI, C. (2015) - Caractérisation du gradient spatial de la salinité des eaux de la rivière Ruzizi et ses impacts au sujet de l'hydrologie de son bassin versant, Mémoire, inédit, Dpt de Chimie physique, ISP/Bukavu, RDC.
- [4]. BÉCHIR, B. ; RIAHI H. ET BOUDHROA, H. (2007) - Elimination de la turbidité par oxygénation et filtration successives des eaux de la station de la Sfax (sud de la Tunisie), revue de la science de l'eau, 20(4), 355-365.,doi:10.7202/016910 Ar.
- [5]. HADIDI, A. (2008) - Une nouvelle approche de la détermination des taux d'envasement des barrages, Université Abou Bakr, Québec. Ministère de l'Agriculture, Tunisie, 22-... p.
- [6]. HADIDI, A. (2008) - Une approche de la détermination de la des taux d'envasement des barrages, Université Abou Bar.
- [7]. HANGE, M. (2016) - Hydrologie et qualité physico chimique des eaux de rivières MUGERA et

- MAHYU/Nyangezi , Mémoire, inédit, Dpt de Chimie physique, ISP/Bukavu, RDC.
- [8]. BEN HASSINE H. et REJEB M. (2003) - Crues et inondations dans le bassin versant de la moyenne Mejerda, janvier, février 2003. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), Direction Générale des Ressources en Eau, Direction des Eaux de Surface, Tunisie, 74 p.
- [9]. ABID, A. (1980) - Apports solides et soutirages aux barrages Nebeur sur l'oued Mellegue (1954- 1980). Séminaire International d'Experts sur le Dévasement des retenues. Tunis, 1-4 juillet, 13 p.
- [10]. ABID, M. (1998) - Envasement des barrages en Tunisie. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), ministère de l'Agriculture, Tunisie, 69 p.
- [11]. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006 Les prélèvements d'échantillons en rivières-Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimie prelevement.pdf.
- [12]. GARETTA P. et OUERGHEMMI A. (1998) - Notes sur l'envasement du barrage El Haouareb. Résultats des nivellements de 1998 et mise à jour de la bathymétrie de la retenue d'El Haouareb ; Évaluation des apports en Envasement des retenues en Tunisie 210 sédiments. Direction des Études et Travaux Hydrauliques et Institut de Recherche pour le Développement, Tunisie, 18 p.
- [13]. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC (CEAEQ).
- [14]. Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique. MA. 10 - Tur. 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, 2016, 11 p.
- [15]. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION
- [16]. ANDWATER ENVIRONMENT FEDERATION, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2130 Turbidity, 2130 B. Nephelometric
- [17]. BOUZAIANE S. et LAFFORGUE A. (1986) - Monographie hydrologique des oueds Zeroud et Merguellil. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH),
- [18]. Direction Générale des Ressources en Eau, ministère de l'Agriculture, Tunisie, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement.
- [19]. CEAEQ, 2016 - Détermination de la turbidité dans l'eau : Méthode néphélométrie, Ministère de l'environnement durable et Paris du Québec.
- [20]. CEAEQ, 2012 - Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux de surface, DR-09-10, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012, 7 p.
- [21]. DESCY, J. (1989) - Manuel pratique des techniques d'analyse de l'eau. Analyses physico chimiques, Drevet J.1971. Les plantes Européennes au Kivu, Thèse doctorale.
- [22]. GHORBEL A. et CLAUDE J. (1977) - Mesure de l'envasement de sept barrages en Tunisie.
- [23]. Campagne de 1975. Cah. ORSTOM Ser. Hydrol., XIV, 3-35.
- [24]. MAMMOU, A. (1998) - Barrages Nebeur, Sidi Salem, Sidi Saad et Sidi Boubaker. Quantification, étude sédimentologie et géotechnique des sédiments piégés. Apports des images satellitaires. Thèse de Doctorat ès-Sciences Géologique, Université de Tunis II, Faculté des Sciences de Tunis, 345 p.
- [25]. MAPENDO, D. (2016) - Rapport de stage effectué à la Société Nationale d'Electricité, Hydroélectrique de MURURU, ITFM- BUKAVU pg 9.
- [26]. MARIE-CLAIRE H. (2005) - L'évolution des systèmes analytiques, impact sur les formations, Laboratoire Environnement et chimie Analytique, ESPCI, Paris, JOURNEES MIEC-JIREC.
- [27]. MUMBERE, Y. (2016) - Rapport de stage effectué à la Société Nationale d'Electricité de BUKAVU, SNL en sigle, du 04 Mai au 29 juin 2016, ISTA/ GOMA, page 6 – 9.