

## Diversité des macroinvertébrés benthiques et paramètres physicochimiques de la rivière Tshula, dans le bassin du Lac Kivu, RD Congo

### [ Diversity of benthic macroinvertebrates and physicochemistry of the Tshula river, in Lake Kivu basin, DR Congo ]

Jean-Marie Mucheso<sup>1</sup>, B. Muhigwa<sup>2</sup>, M. Isumbisho<sup>3</sup>, K. Kalakuko<sup>4</sup>, J. Bagalwa<sup>5</sup>, and B. Irengé<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Institut supérieur des Arts et Métiers (I.S.A.M) de Bukavu, RD Congo

<sup>2</sup>Université Officielle de Bukavu (U.O.B), RD Congo

<sup>3</sup>Unité d'Enseignement et de Recherches en Hydrobiologie Appliquée (U.E.R.H.A), Dpt. De Biologie-Chimie, ISP/Bukavu, RD Congo

<sup>4</sup>Institut supérieur des Techniques Médicales (I.S.T.M) de Bukavu, RD Congo

<sup>5</sup>Département de biologie, Centre de recherche en sciences naturelles, Lwiro, Bukavu, RD Congo

<sup>6</sup>Université Officielle de Bukavu (U.O.B), RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The diversity of benthic macroinvertebrates of Tshula River in Bukavu basin of Lake Kivu and physico-chemical and bacteriological parameters influencing their populations were studied during 8 months at four sampling stations. Two phyla were identified: Arthropods dominated (88.5%, 23 taxa out of 26) and Annelids (11.5%, 3 taxa). According to the number of individuals per species, *Chironomus tentans* dominates (52.7% of the total), followed by *Simulium venustum* (24.1%) and *Baetis sp* (11.9%).

The Shannon diversity indices seasonally averaged  $H' = 1.174$  for the rainy season and  $H' = 0.64$  for the dry season. The abundance of the pollution sensitive Chironomids confirmed the high pollution levels of this river alike previous studies. Physico-chemical parameters vary between the sites and influence 78% the variation of benthic macroinvertebrates numbers. Conductivity, dissolved oxygen, total phosphorus and suspended matters influence most significantly the diversity of benthic macroinvertebrates.

**KEYWORDS:** Macroinvertebrates, Physicochemistry, Lake Kivu basin, DR Congo.

**RÉSUMÉ:** La diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Tshula dans le bassin du lac Kivu et des paramètres physicochimiques et bactériologiques influençant leur peuplement ont été étudiés durant une période de 8 mois (Février à Septembre 2012) dans quatre stations d'échantillonnage. Deux embranchements ont été identifiés durant l'échantillonnage dont les arthropodes largement dominants (88,5%, 23 taxa sur 26) et les annélides (11,5%, 3 taxa). Selon le nombre d'individus par espèce, le *Chironomus tentans* domine (52,7% du total de taxa) suivie de *Simulium venustum* (24,1%) et de *Baetis sp* (11,9%). Les indices de diversité de Shannon ( $H'$ ) varient saisonnièrement avec des moyennes de  $H' = 1,174$  pour la saison de pluie et  $H' = 0,64$  pour la saison sèche. L'abondance des espèces polluosensibles comme les Chironomides a confirmé la pollution de cette rivière mise en évidence dans les études précédentes. Les paramètres physicochimiques varient d'un site à l'autre et influencent à 78% la variation des macroinvertébrés benthiques identifiés. La conductivité,

l'oxygène dissous, le phosphore total et les matières en suspension sont ceux qui influencent significativement la diversité des macroinvertébrés durant la période d'étude dans ces stations.

**MOTS-CLEFS:** Macroinvertébrés, physicochimie, Tshula, Lac Kivu, RD Congo

## **1 INTRODUCTION**

La Tshula est une des cinq rivières que compte le sous-bassin hydrographique du lac Kivu située dans la ville de Bukavu, en République Démocratique du Congo, en Afrique centrale. Sur ses 6,21 Km de parcours, cette rivière se jette dans le lac Kivu après avoir traversé des zones de cultures, une carrière d'extraction des pierres, un des quartiers les plus denses de la ville caractérisé par des déversements sauvages des déchets et où est localisée une usine pharmaceutique.

Les études existantes sur la rivière Tshula portent sur la qualité de ses eaux [1,], [2], [3] sur les inondations et la sédimentation dans ses basses terres [4]. Ces études ont révélé la pollution organique de cette rivière du fait de l'anthropisation. Cette pollution organique influence les organismes qui peuplent cet écosystème aquatique. En effet, les activités anthropogéniques sont responsables souvent de la perte de la biodiversité dans les écosystèmes [5]. Dans les études de la surveillance de la qualité de l'eau, les paramètres physico-chimiques, ne suffisant pas pour qualifier la qualité des eaux [6], l'association avec les paramètres biologiques aident à compléter et à confirmer cette qualité. La surveillance du niveau de pollution d'un milieu aquatique réalisée à l'aide des bioindicateurs comme les macroinvertébrés a été largement étudié dans d'autres pays [7], [8] mais très peu d'études sont réalisées en Afrique et spécialement en RD Congo.

C'est ainsi que la présente étude dans le bassin du Lac Kivu est orientée vers la contribution à la connaissance de l'impact des facteurs anthropiques sur la diversité des macroinvertébrés et les paramètres physicochimiques de la rivière Tshula dans l'optique d'une surveillance de la pollution des eaux du bassin du Lac Kivu.

## **2 MATERIEL ET METHODES**

### **2.1 MILIEU D'ETUDE**

La Tshula tire sa source dans les montagnes qui surplombent le lac Kivu, à 2181m d'altitude, d'où elle descend jusque dans le lac Kivu à 1460 m d'altitude. Le climat y est de type tropical humide avec une saison sèche qui s'étend du mois de Mai à fin Août début Septembre. La pluviométrie annuelle y varie autour de 1.300 mm d'eau et le débit moyen est de 0,076 m<sup>3</sup>/sec [4].

Cette étude a été menée sur quatre stations d'échantillonnage dont la localisation est présentée dans la figure 1 ci-dessous.

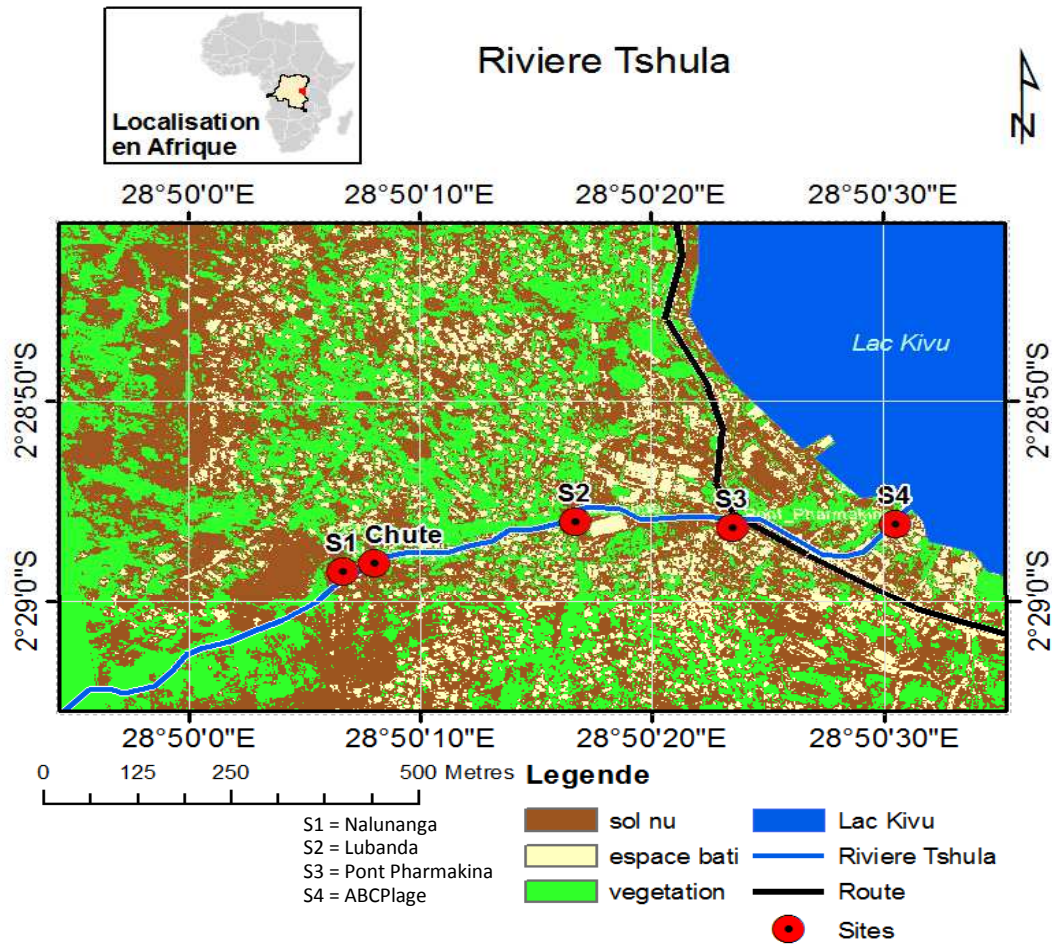


Figure 1 : Localisation de la rivière Tshula et des stations d'étude dans le bassin du lac Kivu

Cette carte a été produite sur base des coordonnées géographiques prélevées à l'aide d'un GPS de marque GARMIN GPS 60 et qui ont été digitalisées à l'aide du logiciel Arc GIS 9.

Les caractéristiques des 4 stations d'échantillonnage sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Cartographie et principales caractéristiques des stations d'étude

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Type de courant	Substrat minéral	Activités anthropiques
S1 : Nyalunanga	02°28'58,1''S	28°50'06,4''E	1511	Lent	Rocheux	Carrière de pierres
S2 : Lubanda	02°28'55,6''S	28°50'16,5''E	1489	Rapide	Rocheux, vaseux	Point de lessive et baignade en plein quartier ; Canalisation des eaux usées et rejets des ordures dans la rivière.
S3: Pont Pharmakina	02°28'55,9''S	28°50'23,3''E	1466	Rapide	Rocheux, gravier	Route nationale et canalisation dans la rivière des rejets liquides provenant de l'usine pharmaceutique
S4 : ABC Plage	02°28'55,7''S	28°50'30,3''E	1461	Lent	Vaseux	Cultures maraichères et habitations

## **2.2 RECOLTE ET MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX**

Les échantillons d'eau pour les analyses chimiques ont été recueillis à chacune des 4 stations de prélèvement de l'amont (S1) à l'aval (S4) durant huit mois, de février à septembre 2012 entre 12 heures et 15 heures. Le pH, la conductivité et la température ont été mesurés in situ respectivement à l'aide d'un pH-mètre de marque JENWAY 3060, un conductimètre de marque GREISINGER 020 (de spécification 0 – 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), et un thermomètre de marque DIGITAL (de spécification -50 à +300°C).

L'oxygène dissous était fixé sur le terrain et analysé suivant la méthode de Winkler [9], [10]. La  $\text{DBO}_5$  était analysée le 5<sup>ème</sup> jour après incubation à 20°C. Les nutriments (phosphore total, azote total, nitrates et ammonium) étaient analysés au Laboratoire de Malacologie du Centre de Recherche en Sciences Naturelles (CRSN/Lwiro, RD Congo) par la méthode spectroscopique utilisant un spectrophotomètre UV de marque Unico 1200. Le phosphore total et l'azote total étaient dosés dans les échantillons non filtrés après digestion dans un autoclave à 120°C (une heure) par le persulfate. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) était analysé par la méthode colorimétrique après filtration sur du papier Whatman GF/F. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), après leur filtration, étaient réduits sur la colonne de zinc suivant les méthodes proposées par Wetzel et Likens [11].

Les matières en suspension (MES) étaient mesurées au Laboratoire galénique de la Faculté de médecine et pharmacie de l'Université Officielle de Bukavu par la méthode proposée par Golterman et al. [9]. Ainsi, 1 litre d'eau était filtrée sur papier filtre Whatman n°1 préalablement séché à l'étuve à 100°C. Le papier était pesé avant la filtration et ensuite après filtration et séchage.

## **2.3 RECOLTE ET IDENTIFICATION DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES**

La récolte des macroinvertébrés benthiques était faite dans les quatre stations à l'aide d'un filet troubleau conique de dimension 30 x 30 cm et de 400 $\mu\text{m}$  de maille les mêmes jours de collecte des échantillons des paramètres physicochimiques. Ainsi, 20 coups de filet étaient effectués durant 30 secondes chacun sur une distance de 100 mètres sur des macrohabitats différents par la nature de leur substrat, la vitesse de courant d'eau, la végétation riveraine et par les activités anthropiques, etc [7], [8], [12], [13]. Les organismes récoltés étaient triés à l'aide des pinces et fixés à l'alcool éthylique 70% puis transportés au laboratoire de Malacologie du CRSN/Lwiro, où ils étaient identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire de marque WILD M5 (40 x 40) et identifiés à l'aide des clés appropriées [14], [15], [16].

## **2.4 ANALYSE DES DONNEES**

L'analyse des données a été faite à l'aide du logiciel STATISTICA en vue de comparer les concentrations des polluants des eaux dans les stations et mettre en évidence les niveaux des significations entre ces paramètres. Les analyses de la variance à un critère de classification (ANOVA 1) ont servi pour comparer les moyennes des différentes données abiotiques (physico-chimiques) et biotiques (macroinvertébrés benthiques) récoltées. A l'aide du logiciel CANOCO 4.5., une analyse canonique de correspondances a été faite pour mettre en correspondance les données abiotiques et biotiques récoltées.

## **3 RESULTATS**

### **3.1 PHYSICO-CHIMIE DE L'EAU DE LA TSHULA**

Les résultats des analyses physicochimiques sont présentés dans le tableau 2 ci-après par les valeurs moyennes mesurés durant la période d'étude (Février à Septembre 2012).

Tableau 2 : Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la rivière Tshula aux stations d'échantillonnage

Paramètres	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Moyennes des 4stations
Température (°C)	22,6	23,7	24,7	24,2	23,8
pH	7,2	6,9	7,4	7,6	7,3
Conductivité (µS/cm)	13,4	150,9	163,1	174,9	154,8
Oxygène dissous (mg/l)	6,8	5,3	5,01	4,7	5,4
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	4,6	3,9	2,9	3,3	3,7
Phosphore total (µmole/l)	0,4	0,6	0,7	0,8	0,6
Azote total (µmole/l)	9,3	17,1	14,6	11,7	13,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µmole/l)	3,9	3,4	3,3	5,4	4,05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µmole/l)	0,9	1,02	1,2	1,4	1,1
MES (g/L)	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
Coliformes fécaux (cfu/100 mL)	290,5	2.973,7	1.041,2	Innombrable*	
Streptocoques fécaux(cfu/100 mL)	1.078,0	978,7	1.120,0	Innombrable*	

\* = supérieur à 20.000 cfu/100 mL

Le taux d'oxygène dissous y diminue de la station 1 (amont) à la dernière (aval), preuve d'un appauvrissement progressif de l'eau en oxygène de l'amont en aval. La DBO<sub>5</sub> et les taux des nitrates diminuent de S1 à S3 avant d'augmenter à la dernière station (S4). La DBO<sub>5</sub> est faible (de 4,7 à 6,8 mg/l) comme trouvée dans d'autres rivières de la région [17], [5] et elle est, à toute les stations, inférieure à la valeur de 6 mg/l recommandée par les normes établies par l'APHA [18]. L'augmentation de la DBO<sub>5</sub> et des nitrates à la station 4 alors qu'elle évoluait en décroissant de la station 1 à la station 3 s'expliquerait par la canalisation des toilettes dans la rivière et par l'épandage d'engrais dans les champs maraichers autour de cette station. En fait, l'épandage d'engrais est cité avec les eaux usées comme une des principales sources de nitrates dans les pays de l'Union européenne [18] et avec la canalisation des toilettes dans la rivière à cette station y implique une augmentation du taux des matières organiques et une intensification des activités des microorganismes décomposeurs [20]. Ainsi, ces derniers y sont plus actifs qu'à d'autres stations.

La conductivité, le taux de phosphore total, de l'ammonium et des matières en suspension augmentent dans les stations de l'amont à l'aval suite probablement au cumul progressif des apports des activités anthropologiques et le lessivage des terres par l'érosion sur les pentes abruptes des berges le long de la rivière. La conductivité varie entre 13,4 et 174,9, valeurs de loin inférieures à 1000µS/cm qui expriment les eaux douces [21].

Les coliformes et streptocoques fécaux sont présents à toutes les stations. Elles évoluent de manière croissante de la première à la dernière station ce qui témoigne de pollution fécale récente qui rend l'eau de la rivière impropre à la consommation comme eau de boisson.

Les figures 2, 3 et 4 ci-dessous montrent les fluctuations des valeurs des paramètres physico-chimiques aux différentes stations de prélèvement sur la Tshula.

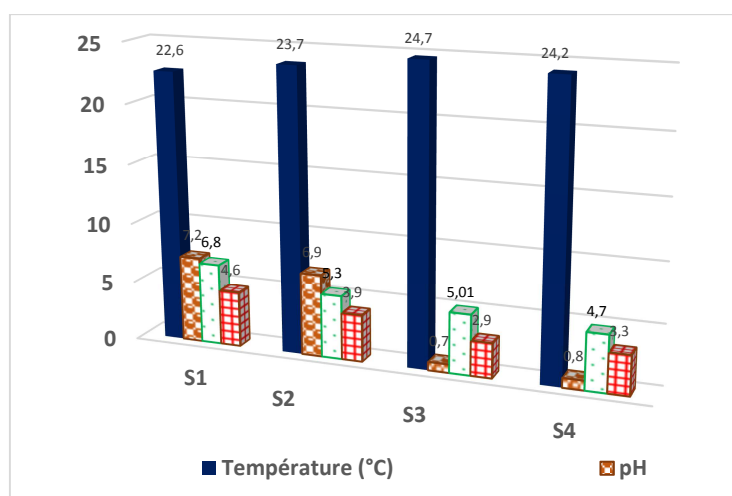


Figure 2 : Histogrammes des valeurs moyennes de température, de pH, d'oxygène dissous et de DBO<sub>5</sub> aux stations d'échantillonnage sur la Tshula

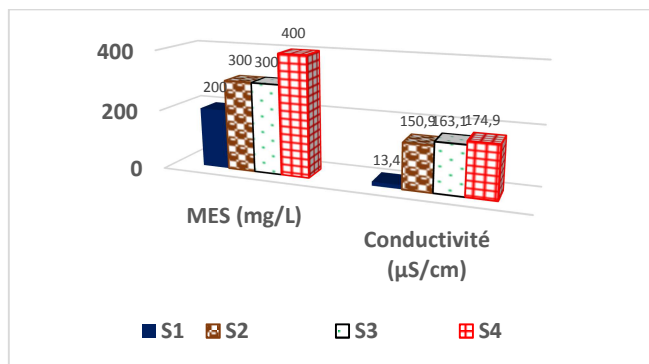


Figure 3 : Histogrammes des valeurs moyennes des MES et de la conductivité

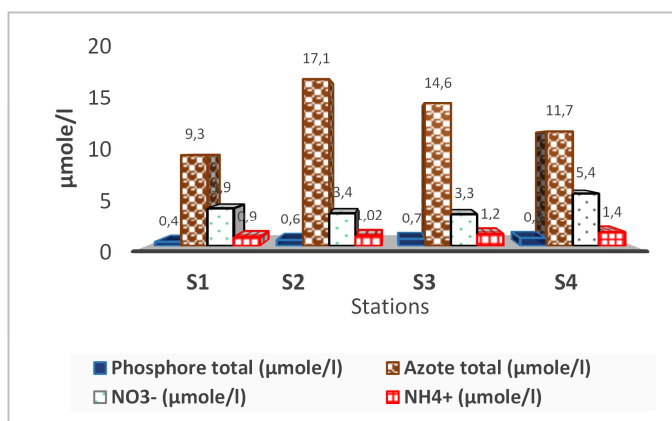


Figure 4 : Histogrammes des valeurs moyennes du phosphore total, de l'azote total, les nitrates et de l'ammonium aux stations d'échantillonnage sur la Tshula

Ces histogrammes des figures 2, 3 et 4 indiquent que la conductivité électrique, les MES (Figure 3) et les taux de phosphore total et d'ammonium (Figure 4) augmentent de la première station à la dernière (d'amont en aval dans la zone d'étude). Les nitrates (Figure 4) générés par les rejets organiques des canalisations des toilettes et l'utilisation des engrais azotés par les cultivateurs maraichers autour de la station, et la DBO<sub>5</sub> (Figure 2), conséquence de l'intensification des activités de dégradation des matières organiques biodégradables contenues dans ces rejets diminuent de la station 1 à la station 3 avant d'augmenter à la station 4 où les pratiques anthropogéniques ci-haut évoquées sont intensifiées. La conductivité électrique est caractéristique des eaux de très faible minéralisation pour la station 1 (entre 0 et 100µS/cm) et de minéralisation faible (entre 100 et 200µS/cm) pour les sites 2,3 et 4 situées en aval. La minéralisation moyenne est dans cette gamme de minéralisation faible [22].

### 3.2 VARIATION SAISONNIERE DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES

Les résultats d'analyse mensuelle des paramètres physico-chimiques sont repris dans le tableau n° 3 ci-dessous.

Tableau n° 3 : Valeurs moyennes mensuelles des paramètres physicochimiques des 4 stations d'échantillonnage

Paramètre physico-chimiques	Saison pluvieuse				Saison sèche			
	F	M	A	M	J	J	A	S
Température (°C)	22,9	27,3	25,4	24,2	21,4	24,1	22,7	22,7
pH	7,4	7,6	7,5	7,2	7,3	7,0	7,5	7,2
Conductivité (µS/cm)	128,1	150,2	147,8	161,7	175,8	166,1	156,9	152,5
DO (mg/l)	6,2	9,0	5,1	4,2	4,7	5,5	4,1	5,1
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	5,1	2,9	2,3	4,7	3,7	3,8	3,6	3,6
Phosphore total (µg/l)	1,3	0,2	1,2	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7
Azote total (µg/l)	6,4	0,2	16,0	9,9	4,6	10,2	29,9	28,6
Nitrate (µg/l)	3,0	1,8	4,2	2,0	1,9	2,5	8,8	8,2
Ammonium (µg/l)	1,3	1,3	0,6	1,3	0,2	1,3	1,5	1,4
MES (mg/l)	264	685	268	263	171	506	245	294

Le pH varie de 7,6 (Mars en saison de pluie) à 6,9 (Juillet en saison sèche). La conductivité, avec une moyenne de 154,9µS/cm, présente des valeurs plus petites en saison pluvieuse, avec une valeur plus élevée en Mai (161,7µS/cm) et la plus petite en Février (128,1µS/cm) de la saison. La plus grande valeur de la période d'échantillonnage est de 175,8µS/cm observée au début de la saison sèche en juin après lequel la conductivité diminue progressivement jusqu'à la fin de la période d'échantillonnage en septembre (152,5 µS/cm).

Les taux d'oxygène dissous les plus élevés sont observés dans la saison de pluie (moyennes de 6,1 mg/l contre 5,5mg/l pour la saison sèche). Le taux le plus élevé des 8 mois d'étude est celui de mars (8,9mg/l) en période des pluies diluviennes contre un maximum de 5,5mg/l du mois de juillet pour la saison sèche. Les taux les plus bas sont de 4,2 mg/l (en mai) pour la saison pluvieuse, et 4,1 mg/l en août pour la saison sèche. La DBO<sub>5</sub> présente son taux maximal (5,2mg/l) en saison pluvieuse, au mois de février. Son taux moyen est de 3,7mg/l et ses valeurs les plus basses sont enregistrées en mars (2,9mg/l) et en avril (2,3mg/l). Celles de la saison sèche sont comprises entre 3,6mg/l (minimale, en août) et 3,8mg/l (maximale, en juillet).

Les matières en suspension (MES) sont d'une valeur moyenne 370mg/l en saison pluvieuse. En cette saison, elles atteignent une valeur maximale de 685g/l en mars, après lequel elle baisse jusqu'à 263mg/l en mai. En saison sèche où la moyenne est de 304mg/l, les MES présentent un maximum de 506mg/l en juillet et un minimum 171gm/l en juin. Les nutriments à base d'azote (l'azote total, les nitrate, et l'ammonium), ont des taux moyens respectifs de 0,18mg/l NT, 0,25mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et 0,019mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; plus élevés durant la saison sèche avec des maxima au mois d'août (0,42mg/l NT, 0,39mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et 0,027mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Leurs valeurs baissent au mois de septembre, début de la saison des pluies (0,4mg/l NT, 0,51mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et 0,025mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Par contre, le phosphore total a des taux plus élevés en saison pluvieuse (moyenne de 0,039mg/l PT contre 0,02 mg/l PT en saison sèche).

### 3.3 MACROINVERTEBRES BENTHIQUES IDENTIFIES

Le dénombrement des individus récoltés sur l'ensemble des stations de prélèvement (tableau 3) a donné un total de 2265 individus repartis en 26 taxons. Ces taxons sont repartis en 2 embranchements (arthropodes et annélides).

Le tableau 3 ci-dessous indique la présence ou l'absence des taxa des macroinvertébrés benthiques récoltés aux différents mois de collecte.

Tableau 3: Liste des macroinvertébrés benthiques inventoriés durant les 8 mois d'échantillonnage

Classe	Ordre	Famille	Taxon	Saison de pluie				Saison sèche				
				F	M	A	M	J	J	A	S	
Insectes	Diptères	Chironomidae	<i>Chironomus tentans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Muscidae	<i>Limnophora torreyae</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		Simuliidae	<i>Simulium venustum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Tabanidae	<i>Tabanus atratus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sciomyzidae	<i>Sepedon fuscipennis</i>	+	-	-	-	-	+	-	-	-
			<i>Dictya pictipes</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	-
		Syrphidae	<i>Tubifera tenax (L)</i>	+	-	-	-	+	-	-	-	-
			<i>Tubifera flavipes</i>	-	-	-	-	-	+	+	+	+
		Ceratopogonidae	<i>Palpomyia tibialis</i>	-	+	-	+	-	-	-	-	-
			<i>Palpomyia sp</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
		Tipulidae	<i>Tipula sp.</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		Tendipedidae	<i>Symbiocladius equitans</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		Stratiomyidae	<i>Odontomyia sp.</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		Psychodidae	Non identifie	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		Thaumaleidae	Non identifié	-	-	+	+	-	-	-	-	-
	Ptychopteridae	<i>Ptychoptera rufocincta</i>	-	-	-	-	+	+	-	+	-	
	Odonates	Gomphidae	<i>Progompus obscurus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	
		Coenagrionidae	<i>Coenagrion resolutum</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	
	Coléoptères	Elmidae	<i>Stenelmis lateralis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	
	Ephéméroptères	Baetidae	<i>Baetis sp.</i>	-	+	-	+	+	+	+	+	
		Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia sp</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	
			<i>Adenophlebiodes sp</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	
	Trichoptères	Hydropsychidae	<i>Psychoda sp</i>	+	-	-	-	+	+	-	-	
<i>Hydropsyche simulans</i>			+	+	+	+	+	+	+	+		
Hirudinés	Arhynchobdellides	Haemopidae	<i>Haemopsis grandis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	
			<i>Haemopsis sanguisuga</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	
Oligochètes	Prosopores	Lumbriculidae	<i>Lumbriculus inconstans</i>	-	+	-	-	-	-	+	-	
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	

Les arthropodes sont quasi dominants grâce à la classe des Insectes (23 taxa, soit 88,5 % des 26 récoltés, répartis dans 5 ordres (Diptères, Odonates, Coléoptères, Ephéméroptères et Trichoptères). Les Annélides récoltés (3 taxa, soit 11,5% du total des taxa) sont constitués de 2 taxa de la classe des Hirudinées avec 2 taxa, *Haemopsis grandis* et *Haemopsis sanguisuga*, et de la classe des Oligochètes avec 1 taxon, *Lumbriculus inconstans*.

### 3.4 STRUCTURE DU PEUPEMENT EN MACROINVERTEBRES

Le tableau 4, ci-après indique la présence ou l'absence de taxa de macroinvertébrés benthiques aux différentes stations d'échantillonnage à chacune des deux saisons.



Tableau 4 : Liste des macroinvertébrés benthiques en fonction des mois sur l'ensemble de stations d'étude sur la Tshula

Classe	Ordre	Famille	Taxon	Saison pluvieuse				Saison sèche			
				S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Insectes	Diptères	Chironomidae	<i>Chironomus tentans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
		Muscidae	<i>Limnophora torreyae</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
		Simuliidae	<i>Simulium venustum</i>	+	+	+	+	+	+	-	-
		Tabanidae	<i>Tabanus atratus</i>	+	-	-	+	-	-	-	-
		Sciomyzidae	<i>Sepedon fuscipennis</i>	+	-	-	-	+	-	-	-
			<i>Dictya pitipes</i>	-	-	-	-	-	+	+	-
		Syrphidae	<i>Tubifera tenax</i> (L)	-	-	-	+	-	-	+	-
			<i>Tubifera flavipes</i>	-	-	-	-	-	+	+	+
		Ceratopogonidae	<i>Palpomyia tibialis</i>	+	+	-	+	-	-	-	-
		Tipulidae	<i>Tipula sp.</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
		Tendipedidae	<i>Symbiocladius equitans</i>	-	+	+	-	-	-	-	-
		Stratiomyidae	<i>Odontomyia sp.</i>	-	+	-	-	-	-	-	-
		Psychomyiidae	Non identifié	-	-	-	+	-	-	-	-
		Thaumaleidae	Non identifié	+	-	-	+	-	-	-	-
		Ptychopteridae	<i>Ptychoptera rufocincta</i>	-	-	-	-	+	-	-	-
	Coenagrionidae	<i>Coenagrion resolutum</i>	-	+	+	-	-	-	-	-	
	Odonates	Gomphidae	<i>Progompus obscurus</i>	-	+	-	+	-	-	-	
	Coléoptères	Elmidae	<i>Stenelmis lateralis</i>	-	-	-	+	-	-	-	
	Ephéméroptères	Baetidae	<i>Baetis sp.</i>	+	+	-	-	+	+	+	+
			Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia sp</i>	+	+	-	-	-	-	-
<i>Adenophlebiodes sp</i>		+	+	-	-	-	-	-	-		
Trichoptères	Hydropsychidae	<i>Psychoda sp</i>	-	+	-	-	+	-	-	-	
		<i>Hydropsyche simulans</i>	+	-	+	+	+	+	+	-	
Hirudinés	Arhynchobdellidés	Haemopidae	<i>Haemopsis grandis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
			<i>Haemopsis sanguisuga</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
Oligochètes	Prosopores	Lumbriculidae	<i>Lumbriculus inconstans</i>	-	+	-	-	+	+	-	-
<b>Nombre de taxa par station</b>				<b>13</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

La richesse taxonomique mensuelle a été plus élevée en saison de pluie (13, 12, 5 et 11 taxa) qu'en saison sèche (8, 7, 5 et 11 taxa). Seuls 3 espèces *Chironomus tentans*, *Simulium venustum* de l'ordre des diptères, et *Hydropsyche simulans* de l'ordre des trichoptères, ont été récoltés tous les 8 mois de campagne. Les espèces qui n'ont été récoltées que durant la saison sèche sont *Dictya pictipes* (Famille de Sciomyzidae), *Tubifera flavipes* (Syrphidae), *Ptychoptera rufocincta* (Ptychopteridae) et *Palpomyia sp* (Ceratopogonidae), toutes de l'ordre de diptères. Les espèces récoltées uniquement durant la saison pluvieuse, l'ont été vers l'amont de la rivière, uniquement à la station 1 pour les ordres des Arrhynchobdelides, des Odonates, des Coléoptères et les diptères des familles des Muscidae et Tabaniidae. Les individus récoltés uniquement en saison pluvieuse sont des diptères appartiennent à 4 familles, les Tipuliidae, Tabanidae, Stratiomyidae et Ptychodidae.

### 3.5 INDICE DE DIVERSITE DE SHANNON-WEIVER

Les valeurs des indices de Shannon calculées pour différentes stations ont respectivement de 1,19 ; 1,07 ; 1,08 et 1,35 pour S1, S2, S3 et S4 durant la saison pluvieuse et de 1,18 ; 0,66 ; 0,65 et 0,006 pour S1, S2, S3 et S4 durant la saison sèche. La figure 5 présente les valeurs et histogrammes de l'indice de Shannon-Weiver calculés pour chaque station à chaque saison.

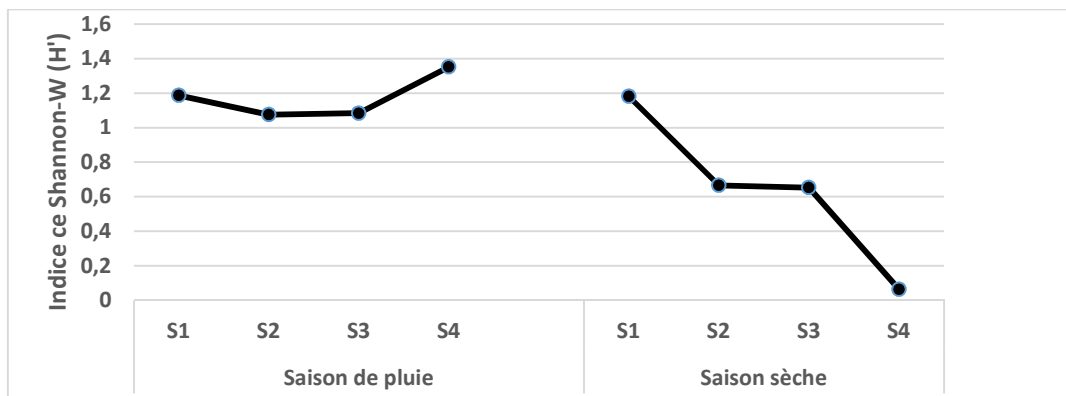


Figure 5 : Evolution de l'indice de Shannon-Weiver aux différentes station avec les saisons.

Les indices de Shannon moyens sont de 1,174 pour la saison pluvieuse correspondant à la gamme de qualité "Eaux modérément polluées", et 0,641 pour la saison sèche, correspondant à la gamme "des Eaux polluées". Les valeurs de l'indice de Shannon diminuent continuellement aux stations d'amont à l'aval durant la saison sèche. Par contre pour la saison pluvieuse, les valeurs de l'indice de Shannon diminuent de S1 à S2 avant de croître en augmentant de S3 à l'aval (S4). Cette particularité s'explique certainement par une autoépuration des eaux qui aurait eu lieu en saison de pluie entre S3 et S4 par le marais, un écosystème reconnu comme filtrant des eaux des [17]. Pareil constat a été fait sur un site marécageux de la Mpungwe [5], une rivière de même bassin hydrographique que la Tshula. En ne considérant que les stations, les histogrammes de la figure 6 ci-après indiquent une baisse progressive des valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weiver de l'amont en aval.

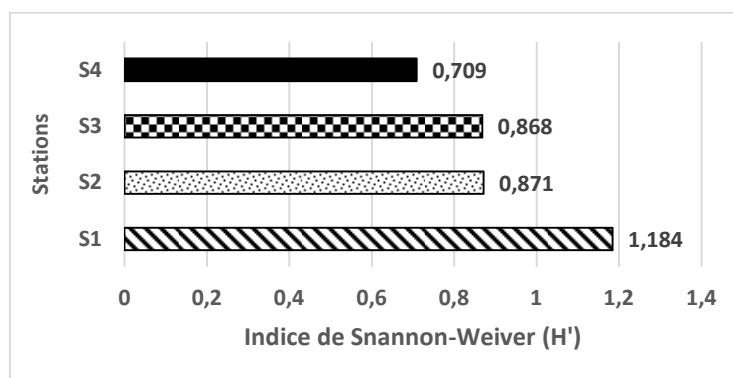


Figure 6: Histogrammes des valeurs moyennes d'indice de Shannon-Weiver des stations d'échantillonnage

### 3.6 VARIATION DU NOMBRE TOTAL DE TAXONS, DES ABONDANCES RELATIVES DES EPT ET DES CHIRONOMIDAE DANS LE TRONÇON ETUDIÉ DE LA TSHULA PENDANT LA PÉRIODE D'ÉTUDE

Les valeurs des rapports de densités des EPT sur celles des chironomidae ont été calculées pour les différentes stations d'échantillonnage et les résultats obtenus sont repris dans le tableau 5. Les valeurs de ces rapports permettent d'évaluer le stress environnemental que subit un tronçon d'une rivière [23]

**Tableau 5 : Variation de la richesse taxonomique, des abondances relatives des EPT et des Chironomidae sur le tronçon étudié de la Tshula durant la période d'étude**

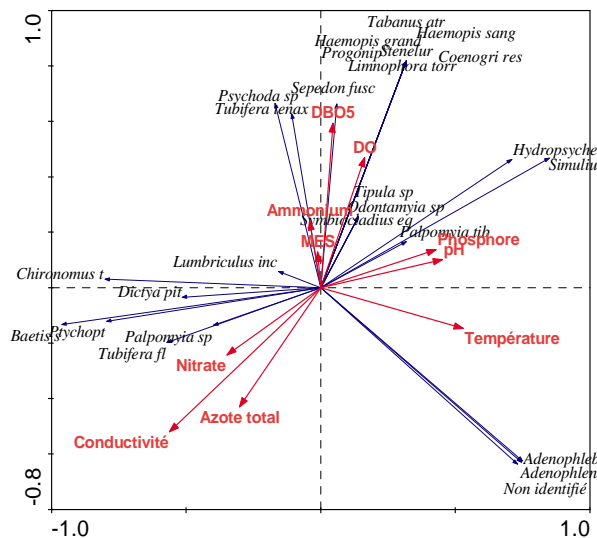
Descripteurs	Stations			
	S1	S2	S3	S4
Richesse taxonomique	818	522	620	305
Abondance EPT*	145	115	135	2
Abondance Chironomidae	153	357	443	241
% EPT	17,7	22	21,8	0,65
% Chironomidae	18,7	68	71,5	79
Densité EPT/densité Chironomidae	0,95	0,32	0,3	0,008

\*EPT : Ephéméroptères, Plécoptères et Tricoptères ; reconnus comme bons bioindicateurs car espèces polluosensibles

Ce tableau montre que les rapports des densités des EPT/Chironomidés qui diminuent d’amont en aval (de 0,95 à 0,008). Un constat qui indique un stress environnemental de plus en plus croissant d’amont à l’aval de la Tshula qui a préjudicié significativement le peuplement de la S4 en EPT. Le rapport des densités EPT/Chironomidae est très faible à cette station située en amont du fait de cette très faible densité des EPT. Ces derniers sont des macroinvertébrés polluosensibles qui persistent difficilement dans des macrohabitats perturbés [7].

### 3.7 INFLUENCES DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX SUR LA DISTRIBUTION DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES

L’analyse canonique réalisée pour les 9 paramètres environnementaux analysés et les 26 taxons de macroinvertébrés identifiés sur les 4 stations de prélèvement a révélé ce que l’axe I renferme 55,8% des renseignements sur la variabilité des espèces sous l’influence des paramètres physicochimiques. L’axe II en explique 22,1%, soit 77,9% de la variabilité totale pour les deux axes.



**Figure 4: Analyse canonique des correspondances (CANOCO 4.0) des 9 paramètres physico-chimiques et des 26 taxons de macroinvertébrés identifiés sur les 4 stations de prélèvement de février à septembre 2013.**

De la figure 4, il ressort que le pH influence *Palpomyia sp* ( $p=-0,50$ ) et *Ptychoptera rufocincta* ( $p=0,50$ ). *Palpomyia sp* n’a été identifiée qu’en saison de pluie, au pH plus élevé et *Ptychoptera rufocincta* uniquement en saison sèche, au pH plus bas. La conductivité influence l’abondance d’*Hydropsyche simulans* ( $p=-0,54$ ), espèce de niveau de tolérance moyen à la pollution, plus abondant en saison de pluie qu’en saison sèche. La température influence l’abondance d’*Adenophlebia sp*, *Adenophleboidea sp*, et des deux espèces non identifiées, toutes ces espèces ont été récoltées uniquement en saison pluvieuse où la température est plus élevée. L’oxygène dissous (OD) et les matières en suspension (MES) influencent l’abondance de *Palpomyia tibialis* ( $p=0,51$  pour l’OD et  $0,59$  pour MES) récoltées uniquement en saison de pluie plus riche en MES. De même pour *Symbiocladius equitans* ( $p=0,55$  pour MES), *Tipula sp* et *Odotomyia sp*. Pour sa part, *Palpomyia tibialis* est significativement ( $p=0,59$ ) influencée par les MES.

Les nitrates et l'azote total influencent l'abondance de *Chironomus tentans*, *Simulium venustum* et *Tubifera flavipes*, tous des diptères et espèces polluoresistantes, et de *Baetis sp.*, par contre un éphéméroptère, espèce polluosensible. Cette influence n'est pas significative ( $p < 0,5$ ). Le phosphore total influence significativement l'abondance de *Haemopsis sangsuga* ( $p = 0,73$ ), *Progonipus obscurus* ( $p = 0,68$ ) et *Steneluris lateralis* ( $p = 0,73$ ); identifiées uniquement en saison de pluie, plus riche en phosphore et à des très faibles densités.

#### 4 DISCUSSION

La composition taxonomique de Tshula diminue de l'amont en aval. Elle est faite à 99,7% d'insectes et moins de 1% (0,22%) d'annélides avec prédominance de l'ordre de Diptères (80%, 16 taxa) suivi des Ephéméroptères (17,1%, 3 taxa), des Tricoptères (2,3%, 2 taxa), des Odonates et Annelides (exæquo 0,2%, 5 taxa) et des Coléoptères (0,1%, 3 taxa). Cette richesse taxonomique est comparable à celles des rivières Agnèby de Côte d'Ivoire [24] et Tongolo [25] du bassin hydrographique de Mfoundi (Cameroun), un milieu anthropisé [23] comme l'est aussi la partie basse de Tshula, objet de cette étude. C'est une des caractéristiques des cours d'eau douces africaines [26, 24].

Par contre, elle présente une situation inverse à celle de la rivière Nga (Cameroun), un cours d'eau de référence pour la qualité des eaux pour le Cameroun [13], pour autant que leurs compositions taxonomiques sont de 80% de diptères dans Tshula contre 5,8% dans Nga, 0,2% d'Odonates contre 0,09% dans Nga, 17% d'Ephéméroptères dans Tshula contre 6,1% dans Nga, 0,13% de coléoptères contre 6% dans Nga. La rivière Tshula est donc plus polluée que ce cours d'eau de référence au Cameroun.

Comparativement à d'autres rivières du même bassin hydrographique, la Tshula a une composition taxonomique semblable à celle de la rivière Mpungwe, qui aussi est constituée uniquement de deux embranchements, à savoir des Arthropodes (96,7%) et des Annelides (3,3%) [5] contre 99,7 et 0,22% dans la Tshula. En outre, ces deux rivières se caractérisent aussi par l'abondance des Ephéméroptères et des Tricoptères (20% d'individus récoltés, 5 taxa sur 20 dans Tshula). Aucun nématode n'a été récolté dans Tshula contrairement à la rivière Kahuwa de composition taxonomique 88,7% d'arthropodes, 7,14% d'Annelides et 7,14% de Nématodes [5].

La rivière Tshula est polluée en saison sèche ( $H' < 1$ ), l'est moins en saison de pluie ( $1 < H' < 2$ ) suite à la dilution des eaux par les abondantes pluies. Une plus grande diversité des Ephéméroptères pendant la saison pluvieuse (3 familles, 3 taxa) que pendant la saison sèche (1 seule famille et un seul taxon (*Baetis*)), d'un côté, et la baisse de densité des Tricoptères dans la saison sèche (13 individus) contre 40 en saison pluvieuse confirment davantage que la qualité des eaux se détériore davantage durant la saison sèche. Comme dans Tshula et Mpungwe, il n'y a pas été récolté de plécoptères sur toute la zone étudiée. Pareille situation a été trouvée par Trihanindingrum et al. [27] dans la rivière Blawi en Indonésie. Les valeurs du rapport des densités des EPT/densité Chironomidae, respectivement de 0,95 pour S1, 0,32 pour S2, 0,3 pour S3 et 0,008 pour S4, traduisent ce stress environnemental de plus en plus croissant de l'amont en aval.

La variation dans le peuplement de certains macroinvertébrés identifiés de la Tshula témoigne de la contribution des activités anthropogéniques à sa pollution. Ainsi, les organismes qui ont été récoltés durant la saison sèche plus polluée sont ceux des niveaux de tolérance à la pollution organique élevés (niveaux 7 à 10) ou moyens (niveaux 5 à 6) [28]. Il s'agit de : niveau 10 (*Hydropsyche simulans* (Hydropsychidae), *Dictya pictipes* (Sciomyzidae), *Tubifera flavipes* (Syrphidae)) ; niveau 9 (*Ptychoptera rufocincta* (Ptychopteridae) et de niveau moyen (*Simulium venustum* et *Palpomyia sp.* (Ceratopogonidae). Par contre, les Odonates (niveau de tolérance moyenne 5), les Elmidae (Coléoptères) et les Leptophlebiidae (Ephéméroptères) de niveau bas de tolérance (4 et 3) ont été récoltés uniquement durant la saison pluvieuse.

La population de *Chironomus tentans* est plus élevée aux stations où les riverains jettent les ordures, exercent diverses activités ménagères dont la lessive à S2 et à S4 où ils canalisent leurs toilettes dans la rivière. Ce phénomène traduit la coïncidence entre l'abondance en *Chironomus tentans* et la pollution par le nitrate et ammonium. Ces matières organiques proviennent des rejets des latrines à fond perdu, des fosses septiques mal construites et des dépôts sauvages d'ordures [29]. De ce fait, la prédominance de ce macroinvertébré est un indicateur de la pollution fécale de Tshula et de la mauvaise qualité de ses eaux [30].

La densité de *Simulium venustum* est plus grande durant la saison pluvieuse que durant la saison sèche. En effet, la perturbation du lit de la rivière suite aux activités anthropiques, plus accrues dans la saison sèche, porte préjudice à la population de *Simulium venustum* dans la rivière Tshula comme constaté aussi pour la rivière Saint-Zéphyrin de Québec [31] et les rivières de Bafoussam au Cameroun [29].

La densité de *Hydropsyche simulans*, aussi affecté négativement par la conductivité et l'ammonium, est moins élevée en saison sèche quand ces paramètres sont moins abondants. En effet, ce macroinvertébré est un trichoptère à fourreau, organismes très sensibles aux polluants organiques car ces derniers font entrer des particules dans le fourreau qui finissent par les empêcher de respirer [32] par colmatage des branchies. Le peuplement en *Baetis sp*, un autre organisme polluosensible, a pu résister aux préjudices lui causés par les dérivés azotés, nitrate et l'ammonium ( $p=0,003$ ), et croître dans la saison sèche, plus riche en nutriments. Une situation analogue a été observée dans la rivière Akagawa par Sasaki et al (2005) [33] et expliquée par les avantages morpho-écologiques des stations de prélèvement. En effet, *Baetis* est une espèce macrofaunique de type agrippeur qui prolifère dans un macrohabitat à substrat rocheux [34], qui aurait bénéficié des avantages de la présence des roches dans le lit aux trois premières stations d'étude.

Pour sa part, *Ptychoptera rufocincta* est identifié uniquement durant la saison sèche, période plus riche en matières organiques azotées. En plus, sa présence a lieu uniquement à S1, station où le courant est plus lent, reconnu comme favorable aux *Ptychoptera* [35].

Excepté *Baetis sp*, les espèces suivantes : *Chironomus tentans*, *Ptychoptera rufocincta* de la famille des Diptères et *Tubifera tenax* et *Tubifera flavipes*, de la famille des Surphidés, sont les seules espèces qui ont connu la prolifération en saison sèche plus polluée, suite à leur niveaux de tolérance élevés à la pollution organique.

La corrélation entre la physico-chimie et les macroinvertébrés benthiques de la Tshula a montré que la température, le pH, la conductivité l'oxygène dissous, la DBO<sub>5</sub>, le phosphore total et les matières en suspension sont les paramètres physicochimiques qui influencent significativement l'abondance des macroinvertébrés benthiques. L'analyse canonique, pour sa part, a montré que ces paramètres physico-chimiques expliquent à 77,9% la variabilité des macroinvertébrés benthiques dans la rivière Tshula. Le 22,1% restant de la variabilité pourrait s'expliquer par l'influence des variables environnementales autres que physicochimiques.

## 5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'inventorier pour la première fois les macroinvertébrés de cette rivière, et d'étudier l'influence des variables environnementales sur la diversité des macroinvertébrés benthiques qui la peuplent. Les paramètres physicochimiques (pH, MES, conductivité, température, OD, DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, AT, NO<sub>3</sub> et PT) analysés ont tous des valeurs comprises dans les normes de l'OMS concernant la qualité de l'eau de surface. Par contre, la présence des coliformes et streptocoques fécaux à toutes les stations et en nombre croissant d'amont en aval témoigne une pollution fécale qui rend l'eau de la Tshula impropre à la consommation dans sur toute la partie anthropisée.

L'identification et dénombrement des macroinvertébrés a montré une composition taxonomique de 2 embranchements : les Arthropodes (88,5%) constituée de 5 ordres (diptères (80%) ; Ephéméroptères (17,1%), Trichoptères (2,33%), Coléoptères (0,13%) et Odonates (0,22%)) et les Annélides (0,22 %) constitués par l'ordre des Prosopores (3,8%) représentée par 1 seule espèce (*Lumbriculus inconstans*) et l'ordre des Arhynchobdellides (7,7%) avec 2 taxa (*Haemopis grandis* et *Haemopis sanguisuga*). Les individus les plus denses dans Tshula sont les *Chironomus tentans* (52,7% du total des taxa, 76,9% des taxa en saison sèche et 14,9% en saison pluvieuse), *Simulium venustum* (24,15% du total, 60,4% de ceux de la saison pluvieuse), *Baetis sp* (11,9% du total des taxa, 19,04% des taxa en saison sèche).

L'espèce dominante est *Chironomus tentans* (52,7%) du groupe des macroinvertébrés polluo-résistants dont l'abondance indique la mauvaise qualité des eaux. En effet, la rivière Tshula est polluée, modérément en saison de pluie ( $1 < H' < 2$ ), et plus polluée en saison sèche ( $H' < 1$ ) suite à la diminution de la dilution des eaux par les abondantes pluies de la saison pluvieuse. Une plus grande diversité des Ephéméroptères avec 3 familles, 3 taxons pendant la saison pluvieuse contre 1 seule famille, un seul taxon (*Baetis*) pendant la saison sèche et la baisse de densité des Trichoptères dans la saison sèche (13 individus en saison sèche contre 40 en saison pluvieuse) confirment davantage que la qualité des eaux se détériore davantage durant la saison sèche.

La variation dans le peuplement de certains macroinvertébrés identifiés de la Tshula préfigure celle de la pollution organique de ses eaux. Ainsi, les organismes qui ont été récoltés durant la saison sèche, plus polluée, ont des niveaux de tolérance à la pollution organique élevés (7 à 10) ou moyen (5 à 6) (Mandaville, 2002). Il s'agit de : *Hydropsyche simulans* (Hydropsychidae), *Dictya pictipes* (Sciomyzidae), *Tubifera flavipes* (Syrphidae) de niveau 10 ; *Ptychoptera rufocincta* (Ptychopteridae) de niveau 9 et *Simulium venustum* (Simuliidae) et *Palpomyia sp* (Ceratopogonidae) de niveau moyen.

Par contre, les Odonates (niveau de tolérance moyenne 5), les Elmidae (Coléoptères) et les Leptophlebiidae (Ephéméroptères) niveaux bas de tolérance 4 et 3) ont été récoltés uniquement durant la saison pluvieuse, moins polluée.

Les activités anthropiques sont pour la plupart génératrices de pollution organique, surtout suite aux nutriments (Phosphore total et azote total) qui polluent les eaux par eutrophisation.

*Chironomus tentans*, *Simulium venustum*, *Ptychoptera rufocincta*, *Hydropsyche simulans* et *Baetis sp.*, macroinvertébrés qui subissent de manière significative l'influence des stations sont les principaux bioindicateurs de la contribution de ces activités à cette pollution.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'équipe de chercheurs du Département de biologie du Centre de Recherche en Sciences Naturelles (CRSN) de Lwiro, l'équipe de Coordination du Programme de Master en Sciences de l'Environnement de l'Université Evangélique en Afrique, l'Assistant Gérard Imani de l'Université Officielle de Bukavu, tous à Bukavu, République Démocratique du Congo, pour leur contribution à la réalisation de cet article.

## REFERENCES

- [1] Bagalwa, M., 2005, Environmental impact of land use change on water quality of inflowing tributaries of Lake Kivu, dans E.Odada, D Olago, W. Ochola, M. Ntiba, S. Wandiga N. Gichuki and H. Oyieke, 11th World Lakes Conference Nairobi, Proceedings, Vol 2, pp. 379-383
- [2] Bisimwa A., 2009. Water quality management in Lake Kivu Basin: A case study of Bukavu sub-basin, D R Congo, University of Dar es Salaam.
- [3] Muvunja, F.A., N. Pasche, W.B.F. Bugenyi, M. Isumbisho, B. Muller, J.N.Namugize, P. Rinta, M. Schmid, R. Stierli et A. Wuest, 2009, Balancing nutrient inputs to Lake Kivu. *Journal of Great Lakes Research* 35 (2009), pp. 406-418
- [4] Birembano R., 2012, Inondations et sédimentation dans les basses terre du littoral du lac Kivu : cas du bassin versant de la Tshula, mémoire de DEA, UPN, Kinshasa-Binza, 100 pp.
- [5] Dieudonné Zirirane, Jean Jacques Bagalwa, M. Isumbisho, M. Mulengezi, I. Mukumba, M. Bora, J.M. Mucheso, A. Lukamba, G. Iragi, B. Irengé, F. Kibangu et R. Kamangala, «Évaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques», *Vertigo*, Volume 14 Numéro 3 | Décembre 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/15365> ; DOI : 10.4000/vertigo.15365
- [6] Kosmala A., 1998, Evaluation étococicologique de l'impact des effluents de stations d'épuration sur les cours d'eau : intérêt d'une approche intégrée. Thèse. Université de Metz.
- [7] Barbour M.T., Gerritsen J., Synder B.D. et Stribling J.B., 1999, Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable Bergers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2<sup>e</sup> éd., U.S. Environmental Protection Agency, office of Water, Washington, C.C., EPA 841-B-99-002
- [8] WFD, 2003, Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential, Water Framework Directive Common Implementation. Strategy Working Group2, An ecological Status (ECOSTAT), 28p. et 2 annexes.
- [9] Golterman, H.L., R.S. Clymo, M.A.M. Ohnstad, 1978, Methods for physical and chemical analysis of fresh waters, Blackel scientific publication, London, 213 p.
- [10] American Public Health Association (APHA), 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th edition, Washington DC, USA, 1587 p.
- [11] Wetzel, R.G. et G.E. Likens, 2001, Limnological analysis, Springer, 429 p.
- [12] Jones, C., K. M. Somers, K. Craig et T. B. Reynoldson, 2005, Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manual, Ontario, Ontario Ministry of Environment.
- [13] Foto, M.S., S.H. ZehazeTogouet, N.L. Nyamsi Tchatcho et T. Nyiné, 2010, Macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Nga : Essai de caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques, EuroJournals Publishing Inc. ISSN 1450-216X vol. 43 No.1, pp 96-106.
- [14] Pennak, R.W., 1953, Fresh water invertebrate of the United State, the Ronald press company, New York, 769 p.
- [15] Tachet, H. et J.L. Noiset, 1980, Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces, Paris, 148p.
- [16] Micha J.C., Moiset J. L., 1982, Evaluation biologique de la pollution de ruisseaux et rivières par les macro-invertébrés aquatiques, *ProbioRevue*, 5.1.142P.
- [17] Bagalwa, M., 2006, 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), pp. 137-143
- [18] APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA, Washington, DC.

- [19] IBGE, 2005. "L'eau à Bruxelles" Novembre 2005, Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Fiche 2, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement 1 / 16.
- [20] Cabane F., 2012. Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral, version 24, Ifremer, [recto-verso]: 342p.
- [21] Vhevha, I., J. Ndamba et S. Mtetwa, 2000, Changes in river water quality with increasing distance from site of wastewater use. WARFSA/WaterNet symposium: Sustainable use of water resources, Maputo, 9 p.
- [22] Diallo M.S., 2004. Contribution à l'étude de la qualité des ressources en eau dans la zone de Dindéfello (région de Tambacounda-Département de Kédougou) Sénégal. *Départ. Géol., Fac. Sci. EtTech., Univ. Cheikh AntaDiop, Dakar, Sénégal.9p*
- [23] Foto, M.S., Zehaze Togouet S.H., Nyamsi Tchatcho N.L., Ajeagah Gideon A., Nyiné T., 2011, Evolution spatiale de la diversité des peuplements de Macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu Tropical (Cameroun), EuroJournals Publishing Inc. ISSN 1450-216X vol. 55 No. 2, pp. 291-300.
- [24] Diomande D., Bony Y. K., Edia O. E., Konan K. F., Gourène G., 2009, Diversité des macroinvertébrés benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire ; Afrique de l'Ouest), European Journal of scientific research, ISSN 1450-216X Vol.35 (2009), pp 368-377.
- [25] Ywoung L.G.P., 2004, Etude biologique du cours d'eau Tongolo, affluent du cours supérieur du Mfoundi en relation avec les caractéristiques physico-chimiques des eaux. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I ; 47p.
- [26] Dejoux C., 1988, La pollution des eaux continentales africaines, Expérience acquise, situation actuelle et perspectives, Editions de l'ORSTOM, Paris.
- [27] Trihandiningrum Y., De Pauw N., Tjondronegoro I., Verheye R. F. , 1996, Use of benthic macroinvertebrates for water quality assessment of the Blawi river (East Java, Indonesia), Tropical Limnology, pp. 199-221, Ed. Schiemer & Boland, Academic Publishing bv, Amsterdam, The Netherlands.
- [28] Mandaville, S.M. 2002, Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters- Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. Project H-1, Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. xviii, 48p., Appendices A-B. 120p total.
- [29] Mpakam H.G., Kouam Kenmogne, T. Tamo Tatiétsé, Eric Maire, Jean-loup Boeglin, G.E. Ekodeck et Bernard Dupré. 2011, Etude des facteurs de pollution des ressources en eau en milieu urbain : cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun).
- [30] Touzin, D., 2008, Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université de Laval.
- [31] MDDEFP, 2012, Indice d'intégrité biotique basé sur les macroinvertébrés benthiques et son application en agriculture- Cours d'eau peu profond à substrat grossier, Quebec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 178-2-550-66053- 4(PDF), 72p.
- [32] Borror, D. J. et White, R.E. 1999, Le guide des insectes du Québec et de l'Amérique du Nord, Les Guides Peterson, Québec, Canada.
- [33] Sasaki A., Ito A., Aizama J. et Unita T., 2005, Influence of water and sediment quality on benthic biota in an acidified river. *Water Res.* 2005 jul; 39(12): 2517-26
- [34] Studemann Dénise, Peter Landoll, Michel sarton, Daniel Helfi, Ivan Tomka, 1992. Ephemeroptera, *Insecta Helvetica Fauna* (N° 9), Ed. Société entomologique Suisse.
- [35] Thomas, A.G.B., 1997, Diptères peu connus des sédiments d'eau courante : I. les Ptychopteridae (nymphe et accouplement) du Sud-Ouest de la France [*Nematocera*]. *Annis Limnol.*13 (2) 1997: 147-156.