

## **Implication des paramètres physico-chimiques sur la qualité des eaux de la rivière Lubumbashi (Pont Tshondo jusqu'en aval de l'affluent de Kamalondo) Lubumbashi, Haut-Katanga / RD Congo**

### **[ Involvement of physico-chemical parameters of the water quality of the river Lubumbashi (Tshondo Bridge to downstream tributary of the Kamalondo) Lubumbashi, Haut Katanga / DR Congo ]**

*Serge Kashimbo Kalala<sup>1</sup>, Mukanya Senga Serge Christian<sup>2</sup>, and Meli Kimpinde Adelin<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Chef des travaux à l'Unité de Gestion des ressources naturelles, Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

<sup>2</sup>Chef des travaux au Département de Métallurgie, Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, B.P:1825, RD Congo

<sup>3</sup>Chef des travaux à la Faculté des sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P: 1825, RD Congo

---

Copyright © 2016 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 study concerns the analysis of physical-chemical parameters (T °, pH, C.E, Turbidity, DO) along the river Lubumbashi to diagnose its current state. Thus, in situ measurements were carried out on the river Lubumbashi divided into two bays. The results obtained show that station B where the discharge liquid effluent from the Slag Processing Society Lubumbashi (STL), an increase of the temperature, conductivity, and a decrease in dissolved oxygen content accompanied by a acid pH. Turbidity has very high values in all stations and above 50 NTU, which indicate very cloudy water condition. This could be justified by the study period, the rains and rivers receive various wastes. These contribute to increased turbidity of river water Lubumbashi. The conductivity values are also very high especially at the station B, and are positively correlated significantly with the pH as well as the concentration of ETM (Cu, Co, Pb, Fe) analyzed in the previous study. What justifies the low oxygen levels in the stations B, C, and D impacted by the hot liquid effluents discharged by the STL, this is confirmed by Hebert and Légaré who have shown that cold water contains a greater amount dissolved oxygen than warm water. The presence of small fish, frogs in the stations A and E at the level of dissolved oxygen of 4.2 and respectively 4.5 mg / L indicates the existence of an aquatic life. Demonstrating a self-purification of the river Lubumbashi.

**KEYWORDS:** STL, liquid waste, physicochemical parameters, surface water, River Lubumbashi.

**RESUME:** L'étude concerne l'analyse des paramètres physico-chimiques (T°, pH, C.E, Turbidité, DO) le long de la rivière Lubumbashi afin d'établir un diagnostic de son état actuel. Ainsi, des mesures in situ ont été effectuées sur la rivière Lubumbashi réparties en deux biefs. Les résultats obtenus montrent que la station B où se déversent les effluents liquides de la Société de Traitement de Terril de Lubumbashi (STL), une augmentation de la température, de la conductivité, et une diminution de la teneur en oxygène dissous accompagnée d'un pH acide. La turbidité affiche des valeurs très élevées dans toutes les stations et sont supérieures à 50 NTU, qui indiquent l'état très trouble de l'eau. Cette situation pourrait être justifiée par la période de l'étude, la saison des pluies ou les cours d'eau reçoivent des déchets divers. Ceux-ci contribuent à l'augmentation de la turbidite de l'eau de la rivière Lubumbashi. Les valeurs de la conductivité sont aussi très élevées particulièrement à la station B, et sont corrélées positivement de manière significative avec le pH ainsi qu'avec la

concentration en ETM (Cu, Co, Pb, Fe) analysés dans l'étude précédente. Ce qui justifie le faible taux d'oxygène dans les stations B, C, et D impactées par les effluents liquides chauds, rejetés par la STL, ceci est confirmé par Hébert et Légaré qui ont démontré qu'une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude. La présence des petits poissons, grenouilles dans les stations A et E au taux d'oxygène dissous respectivement de 4.2 et 4.5 mg/L indique l'existence d'une vie aquatique. Ce qui démontre une auto-épuration de la rivière Lubumbashi.

**MOTS-CLEFS:** STL, Effluents liquides, Paramètres physico-chimiques, Eaux de surface, Rivière Lubumbashi.

## 1 INTRODUCTION

Les industries minières sont la principale source de pollution des cours d'eau actuellement à travers le monde [1]. Cette pollution déborde largement les sites d'extraction et de traitement des minerais. Les métaux lourds sont les principaux polluants (Cu, Zn, Co, As, Pb, Cd, etc.). A cette pollution s'ajoute celle due aux ordures ménagères et hospitalières répandues sur le sol ou jetées directement dans les cours d'eau [2]. Diverses industries manufacturières et métallurgiques contribuent aussi à polluer localement les cours d'eau et les sols suite au manque de dispositif adéquat de gestion [3] de différents types des déchets générés à chaque étape du processus dans le cycle de production des produits finis [4]. Sous l'effet des composants des effluents, les écosystèmes subissent de nombreux changements chimiques, physiques et biologiques qui entraînent une dégradation de l'environnement [5].

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, vu qu'elle est très altérée et sérieusement menacée par les activités humaines. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels [6], l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs [7], mais aussi altérer les usages de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.) [8]. Le recyclage de l'eau peut contribuer à la sécurité environnementale et à la gestion durable des ressources hydriques au Katanga [9]. De nos jours, le recycle est perçu comme la solution la plus adaptée à la problématique de la gestion durable des ressources hydriques actuellement menacées par la pollution d'origine industrielle due à l'eau d'exhaure des mines souterraines et à l'eau résiduaire des procédés minéralurgiques et métallurgiques [10].

La ville de Lubumbashi est traversée par la rivière qui porte le même nom, laquelle est connectée au Nord à la rivière Kasapa, au Sud à la rivière Kafubu et Kimilolo, dans sa partie orientale la ville est baignée par la rivière Kampemba, le Canal Naviundu et la rivière Naviundu [11]. De nos jours, la plupart des usines de traitement de minerais (en général hydrométallurgiques) installées à Lubumbashi rejettent leurs effluents liquides non traités [12, 13] dans les cours d'eau qui se jettent tous dans les rivières Lubumbashi et Kafubu en passant par le canal Naviundu et la rivière Kampemba pour terminer leurs courses dans le bassin versant de la Kafubu. La rivière Lubumbashi est actuellement exposée aux rejets d'origines d'une part: industrielles générés par la Société de Traitement de Terril (STL) située en amont, celle-ci déverse de grandes quantités d'effluents liquides chauds [14], qui seraient à la base des changements des paramètres physico-chimiques qui définissent la qualité d'une eau favorable au bon développement et à la bonne croissance des êtres aquatiques [15]. D'autre part d'origines domestiques générées par le déversement dans les rivières Lubumbashi et Kafubu des déchets divers (déchets organiques, déchets ménagers, déchets électroniques,...) par les populations des communes Kamalondo, Kenya et Katuba. L'étude avait pour objectif de déterminer l'état actuel de l'eau des rivières Lubumbashi et Kafubu par la mesure in situ des paramètres physico-chimiques. Ceci en vue de mettre en évidence les risques liés à la dégradation de la qualité de l'eau par les activités anthropiques afin de proposer des recommandations bénéfiques aux autorités de la ville pour une meilleure gestion des ressources en eau.

## 2 MILIEU, MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1 MILIEU

#### 2.1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA VILLE D'ETUDE

La ville de Lubumbashi est située dans la province du Katanga entre les parallèles -11°30' et -11°50' et les méridiens 27°17' et 27°40'. Elle est située dans une vaste dépression limitée au Nord-est par l'anticlinal de l'Etoile (1275m d'altitude) et au Sud-ouest par l'anticlinal de Kisanga (1346m d'altitude)[16].

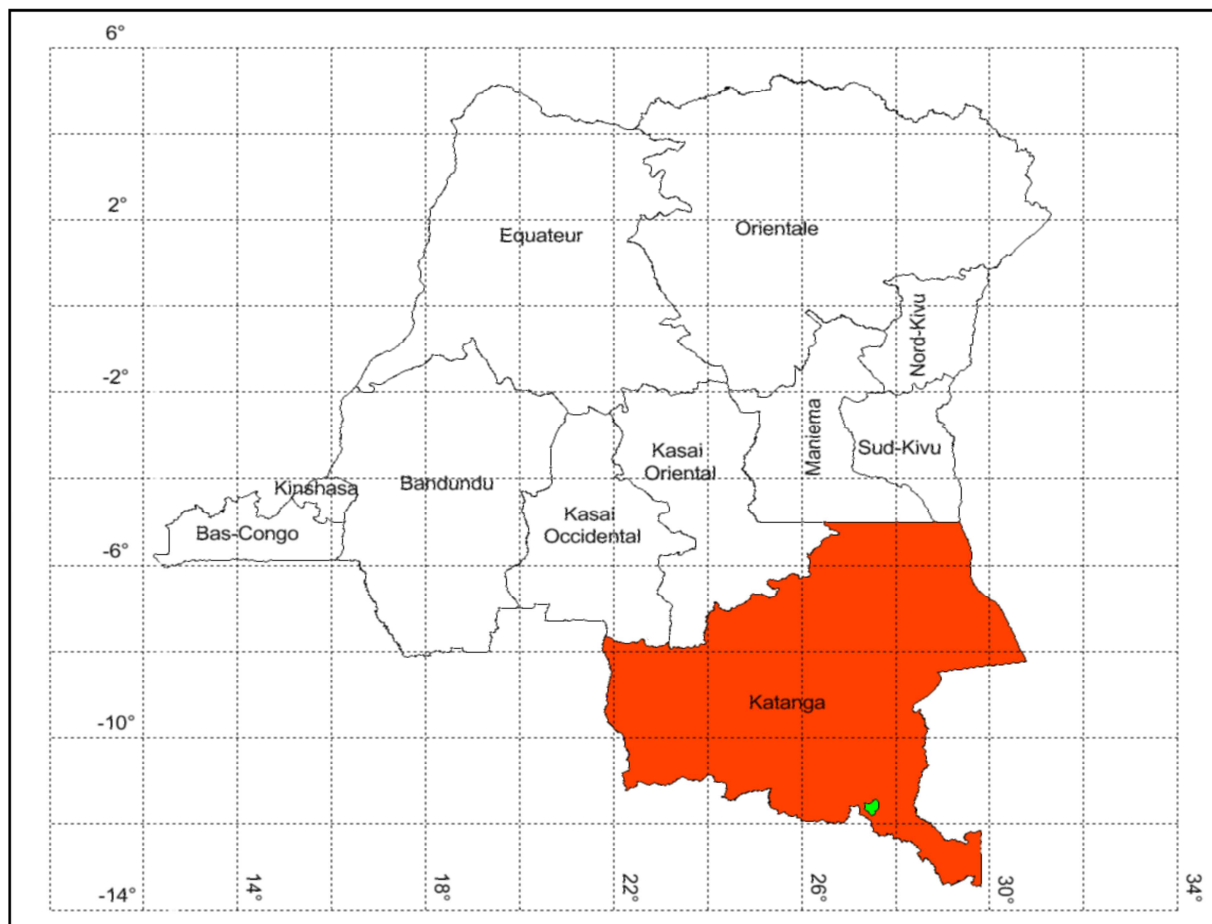


Figure 1 : La carte localisation du secteur d'étude

### 2.1.2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La rivière Lubumbashi ( $1,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) a creusé une petite vallée douce, peu profonde et boisée, constituant certainement un élément positif dans le choix du site. La Kimilolo ( $6,95 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), la Kafubu ( $3 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), la Karavia ( $0,4 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) et la Kapemba ( $0,3 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) sont des rivières proches (débits relevés en saison sèche) [16]. Le sol est constitué, en grande partie, d'une terre ocre rouge qui forme la latérite (hydroxyde de fer + alumine) [17]. Le climat continental est relativement sain et comporte deux grandes saisons dénommées "saison sèche" et "saison des pluies" (36 jours de pluie par an) coupée en deux par un court interlude sec (début 2e quinzaine d'octobre à mi-janvier - février à fin avril). Les vents sont constants mais sans force (sauf en cas d'orage et de tornade). La température moyenne avoisine les  $21^\circ\text{C}$  toute l'année, avec un maximum de  $32^\circ\text{C}$  et un minimum de  $6^\circ\text{C}$  (rarement  $-1^\circ\text{C}$ ) [18].

### 2.2 MÉTHODOLOGIE DE TERRAIN

Tenant compte des diverses activités recensées dans la zone d'étude (eaux usées industrielles, domestiques, et agricoles), cinq stations (S1 à S5) réparties le long de la rivière Lubumbashi (figure 2) ont été retenues pour la mesure des paramètres physico-chimiques (pH, C.E, Turbidité, D.O,  $T^\circ$ ) de telle sorte qu'elles soient accessibles et reflètent les caractéristiques réelles des eaux de surface de la rivière Lubumbashi au niveau du premier bief d'étude.



Figure 2 : Situation géographique des stations des mesures au niveau de la rivière Lubumbashi

## 2.3 MATÉRIELS DE TERRAIN

### 2.3.1 MATÉRIELS

Les matériels qui ont permis le travail sur le terrain sont: Gants en latex sans talc, Formulaires de prise des paramètres de terrain, Eau distillée, Détergent.

### 2.3.2 APPAREILS

Le travail sur le terrain exige pour son bon déroulement, des appareils permettant le prélèvement des paramètres physico-chimiques ainsi que les coordonnées géographiques. Il s'agit d'un multi probe, un GPS, une montre pour préciser l'heure de prélèvement et un appareil photo.

## 2.4 MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

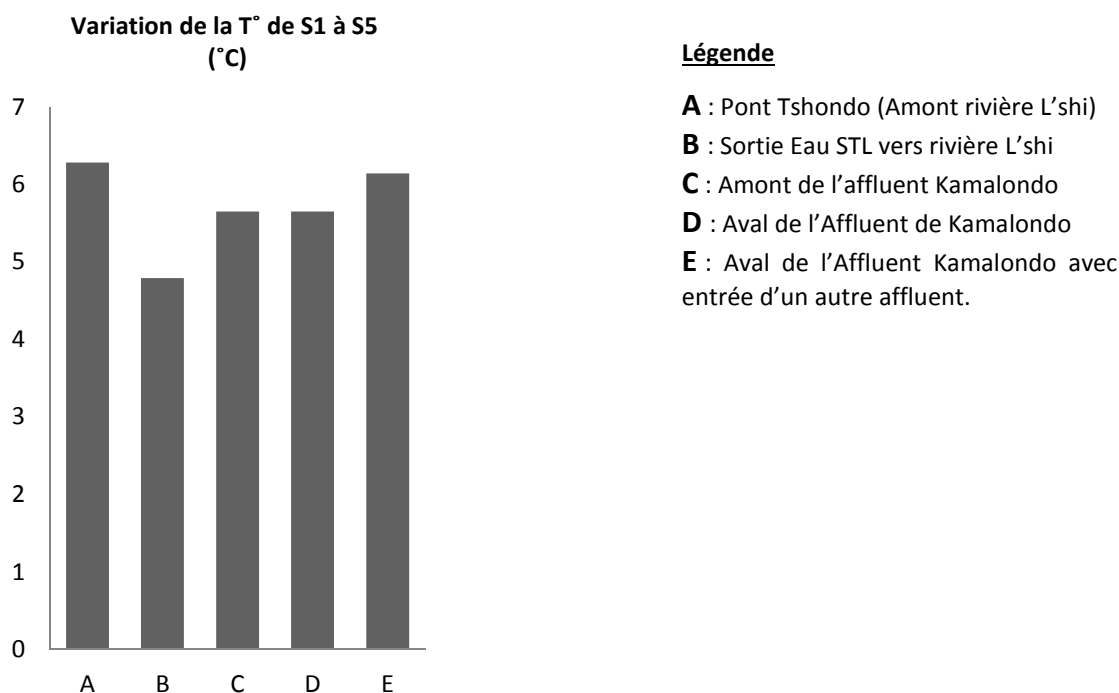
Le long de la rivière Lubumbashi et sur toute la zone étudiée, les échantillons d'eau ont été prélevés en période humide (mois de Février 2011), cette période montre une pluie intense et une crue violente. A chaque prélèvement, la température de l'eau, la turbidité, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ.

### 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau 1 : Résultats sur les mesures des paramètres Physico-chimiques pris sur le terrain

	Paramètres Physico-chimiques					Coordonnées Géographiques	
	pH u.u	C.E mS/Cm	Turbidité NTU	D.O mg/L	Température °C	Latitude (S) DMS	Longitude (Est-Ouest) DMS
Pont Tshondo (Amnt Riv L'shi)	7.83	1580	163	4.2	23.9	11°40'29.5" S	27°28'06.1" E
Sortie Eau STL (Riv L'shi)	5.68	5760	219	2.3	30.3	11°40'49.5" S	27°28'10.0" E
Amont Aff. Kamalondo	6.58	3760	129	2.5	27	11°41'37.9" S	27°28'13.2" E
Aval Aff. Kamalondo	7.65	2090	127	3.5	25	11°41'50.6" S	27°28'21.0" E
Aval Aff. Kamal entrée autre Aff	7.44	1970	160	4.5	23.5	11°41'49.8" S	27°28'20.5" E

Variation de la Température de S1 à S5 le long de la rivière Lubumbashi



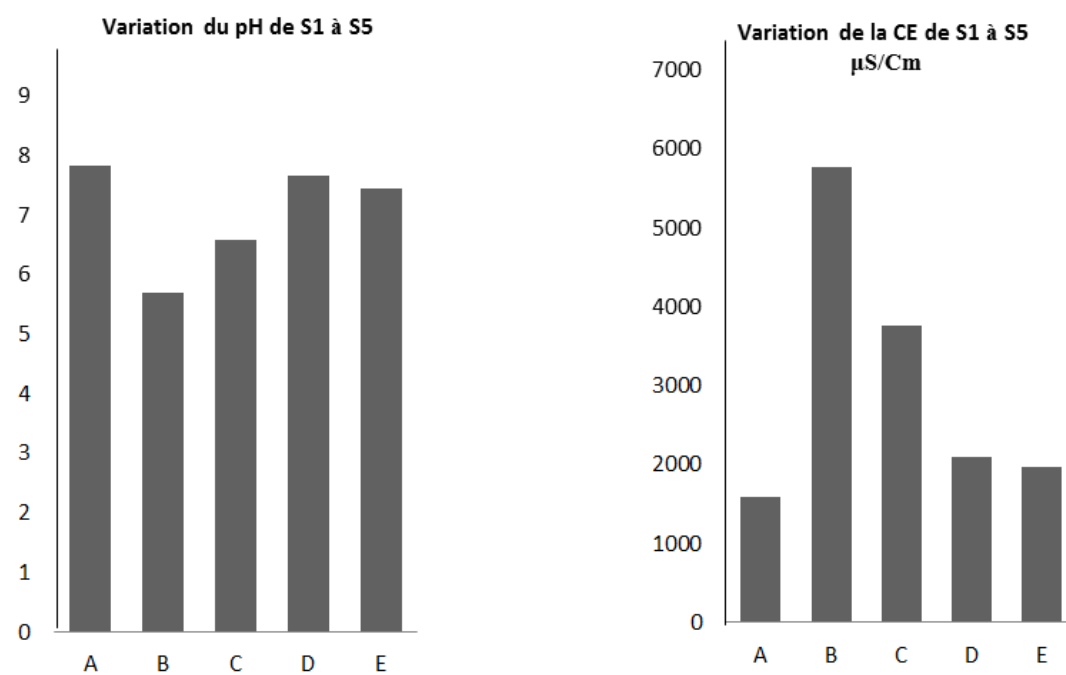
#### TEMPERATURE

La température de l'eau est un facteur physico-chimique qui détermine un grand nombre des processus biologiques et chimiques qui se déroulent dans l'eau. En général, ces processus s'accroissent avec le réchauffement de l'eau [19]. Une température plus élevée de l'eau augmente la production primaire et augmente ainsi le risque d'apparition des crises dystrophiques [20]. La température qui permet le développement d'une vie équilibrée dans un cours d'eau se situe entre 10 et 20°C [21]. Dans la zone d'étude, la température oscille entre 23.5 et 30.3°C. La valeur élevée est observée au niveau de la station B, 30.3°C qui indique la sortie des eaux chaudes, issues des procédés d'extraction du Cu, Zn par la Société de traitement de Terril de Lubumbashi (STL). D'une manière générale, les valeurs sont élevées dans toutes les autres stations. Ceci est justifié par le fait que les mesures ont été effectuées les après-midis, pendant que le soleil était au Zénith. Donc l'eau a été influencée par les activités métallurgiques de la STL juste dans la station C, après la B. Ces températures de l'eau au dessus de 20°C, influencent les autres propriétés de l'eau et exercent une pression sur la vie aquatique. Dans ce cas, Un



certain nombre d'espèces aquatiques, notamment les poissons, ne supportent pas les extrêmes et ont tendance à quitter le milieu quand les températures s'approchent des limites [22].

**Variation de la conductivité électrique et de la turbidité de S1 à S5 le long de la rivière Lubumbashi**



## **pH**

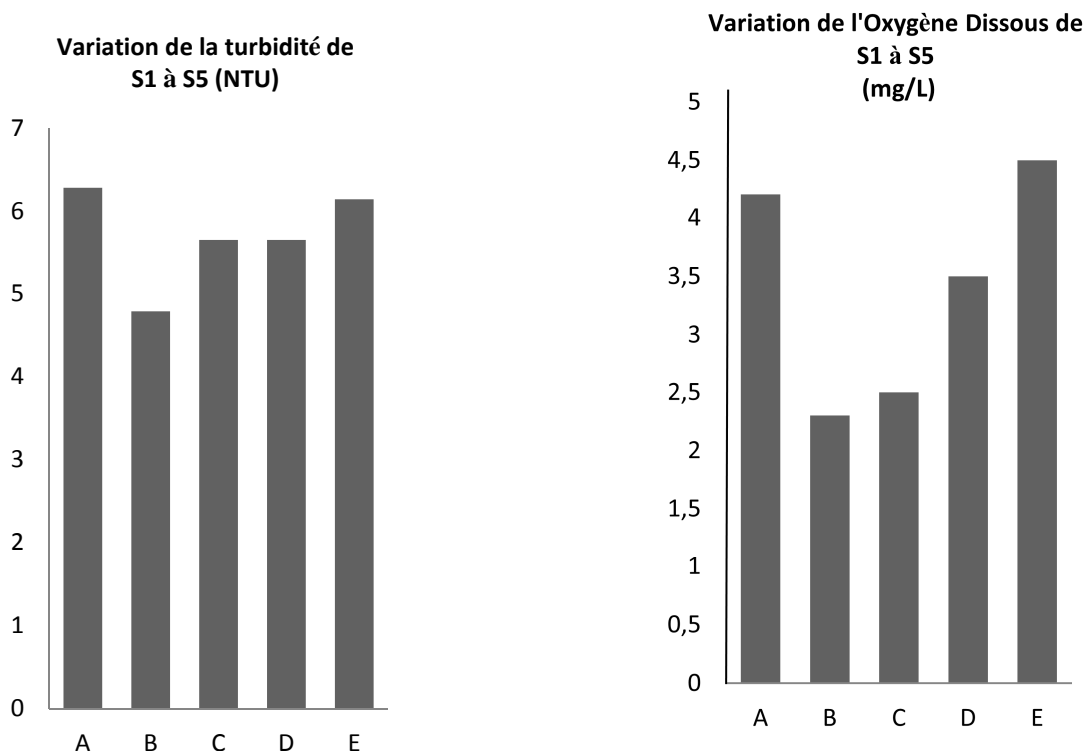
Le pH est très fortement influencé par la photosynthèse, et influence lui-même un grand nombre de processus biologiques et chimiques [19]. Le pH influence ainsi la forme de certains composés chimiques (gaz carbonique, acide sulfurique, ammonium/ammoniaque etc.) [23]. Une partie de ces formes chimiques peuvent devenir toxiques quand le pH dépasse certaines limites [21]. Outre cette toxicité indirecte, le pH peut avoir des effets néfastes directs pour les poissons et d'autres espèces de la faune et de la flore [24]. Le pH du bief étudié (S1 à S5) varie de 5.68 à 7.83. La station B présente le pH acide 5.68, à ce point on constate une conductivité électrique très élevée 5760 µS/cm. Ce qui traduit aussi une forte concentration des éléments traces étudiés (Cu, Co, Pb, Cd) dans les échantillons d'eau analysés précédemment. La valeur du pH, de la conductivité électrique ainsi que la concentration en ETM traduisent le non traitement des effluents liquides avant leurs relâchements dans la rivière Lubumbashi. Ceci rencontre les résultats des études menées par *Kashimbo* sur l'eau du canal Naviundu rejetée par Chemical Of Africa (CHEMAF) ainsi que par *Atibu et al* sur les rivières Luilu et Musonoi. Les variations de pH sont dues à des facteurs environnementaux défavorables, à l'intervention humaine ou aux effets de la civilisation industrielle sur le milieu aquatique [25].

## **CONDUCTIVITE ELECTRIQUE**

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. L'eau douce, tout comme l'eau d'une rivière, devrait avoir une conductivité comprise entre 300 et 1 200 µS/cm [19]. Si une eau présente une conductivité inférieure à 300, on peut en déduire qu'elle est pauvre en ions et que, la moindre modification du milieu ambiant entraînera une variation brutale de la valeur du pH [23]. Une eau dont la conductivité est supérieure à 1.200 µS/cm ne peut plus être considérée comme une eau douce [26]. La conductivité mesurée sur la rivière Lubumbashi présente des valeurs élevées, supérieures à la norme de l'OMS [27] retenue pour l'eau potable ainsi que celle des rivières. Elle varie de 1580 µS/cm de la première station à 5760 µS/cm à la deuxième station. Au regard des valeurs de la conductivité mesurées dans les cinq stations, il ressort que la qualité de l'eau de la rivière Lubumbashi a été impactée par les effluents liquides riches en particules métalliques. Cette situation est attribuée à la Société de traitement de Terril de Lubumbashi (STL) qui devrait recycler ses effluents ou les traiter avant leurs relâchements dans la rivière Lubumbashi. Prenant en compte aussi la concentration des ETM (Cu, Co, Pb, Cd) analysés dans les échantillons d'eau au niveau de ces cinq stations, il ressort que la

vie aquatique (flore, faune) ainsi que la qualité de l'eau se trouvent actuellement menacées. La diminution de la conductivité s'observe au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la STL, l'explication de cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales [28].

*Variation du pH et de l'Oxygène Dissous de S1 à S5 le long de la rivière Lubumbashi*



#### **TURBIDITE**

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopique) [19]. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension [29], ingérer une eau de cette qualité induirait des conséquences majeures sur la santé du consommateur à l'instar des maladies diarrhéiques et dermatologiques [30].

Deux effets différents influencent les mesures de la turbidité sur le terrain, il s'agit des processus biologiques, mais aussi des processus mécaniques [19]. Généralement, on est plutôt intéressé par les effets de l'activité biologique, mais malheureusement, on trouve de fortes turbidités également après des pluies importantes et des vents violents. Ces deux hypothèses correspondent à la situation rencontrée sur le site d'étude.

La turbidité varie entre 127 NTU (station D) et 219 NTU (station B). Les valeurs élevées sont justifiées premièrement par la période de l'étude, la saison des pluies, deuxièmement par l'entrée des cours d'eau charriant de déchets divers dans la rivière Lubumbashi. Ce qui démontre à suffisance que l'eau de la rivière Lubumbashi est trouble car supérieure à la valeur de 50 NTU (NTU>50 : Eau trouble) fixée par l'OMS [27].

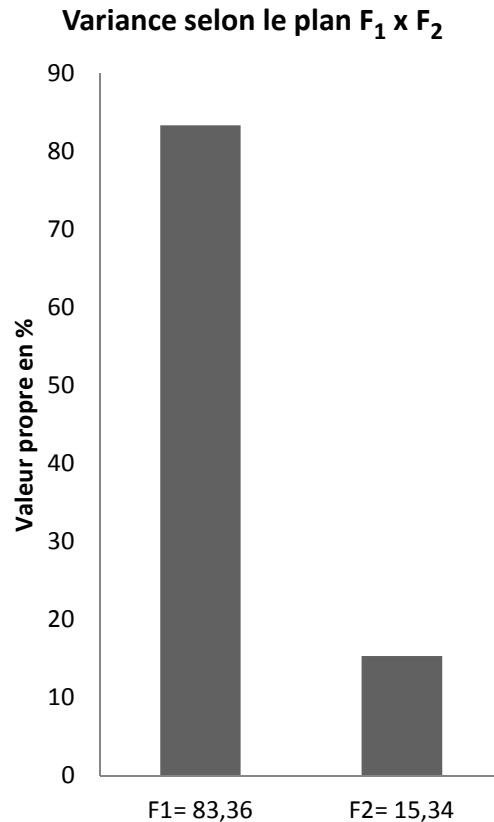
#### **OXYGENE DISSOUS (D.O)**

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse [19]. C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface et constitue un excellent indicateur de leurs qualités [31]. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration d'un cours d'eau [32]. La saturation en O<sub>2</sub> diminue lorsque la température et l'altitude augmentent [33] [34]. Une valeur inférieure à 1 mg d'O<sub>2</sub> par litre indique un état proche de l'anaérobiose; une valeur de 1 à 2 mg d'O<sub>2</sub> par litre indique une rivière fortement polluée mais

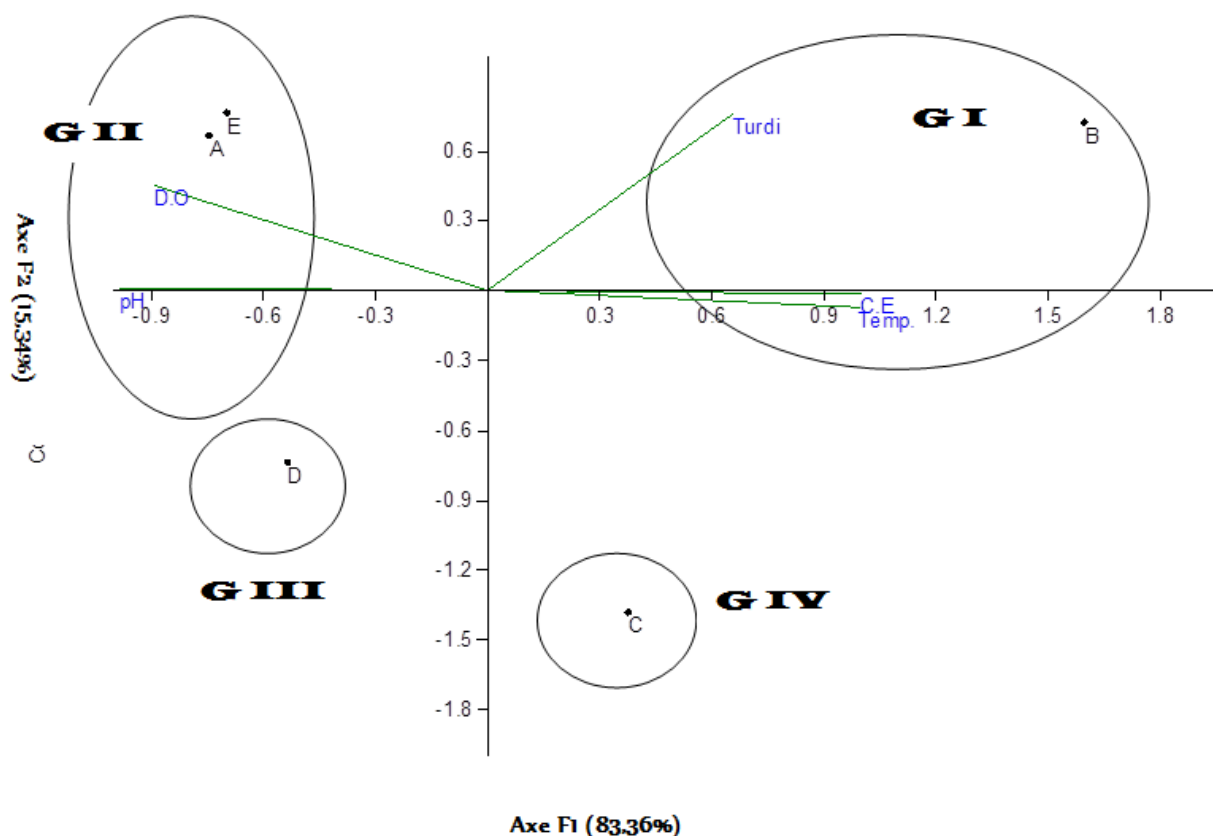
de manière réversible ; une teneur de 4 à 6 mg d'O<sub>2</sub> par litre caractérise une eau de bonne qualité [35]. Dans notre étude, le taux de l'oxygène est faible et varie entre 2.3 à 4.2 mg/L. Les stations A et E ont des taux de l'Oxygène Dissous se situant dans la fourchette de 4 à 6 mg/L, on note également des températures relativement faibles dans ces mêmes stations. Hébert et Légaré, 2000 ont démontré qu'une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude. Ce qui justifie la présence de petits poissons, des grenouilles et des crustacés due à l'échange de l'oxygène avec l'atmosphère, la facilité et la circulation de l'air dans l'eau. Par contre, les valeurs inférieures à 4 mg/L sont enregistrées dans les autres stations, ou les températures sont supérieures ou égales à 25°C. Le réchauffement de l'eau a provoqué une diminution de la dissolution de l'oxygène dissous, aggravée par une augmentation de la consommation de l'oxygène par les organismes vivants. Les faibles teneurs en oxygène dissous observées aux stations S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> et S<sub>4</sub> sont dues à la charge organique des rejets industriels et urbains émanant des quartiers périphériques de la rivière Lubumbashi sans aucun traitement préalable.

#### TYPOLOGIE SPATIALE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES EN FONCTION DES STATIONS

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physico-chimiques étudiés et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité des eaux de la rivière Lubumbashi, une Analyse en Composante Principale (ACP) a été effectuée sur une matrice de données constituée de cinq mesures (pH, C.E, Turbidité, D.O, Température) sur cinq stations lors de la campagne de 2011 en saison des pluies.







Il ressort de cette ACP, le pourcentage de variance initiale expliquée par chaque paramètre pris en compte dans cette étude. La première composante F1 (83,36%) donne la majorité d'informations liées à l'état actuel des eaux de la rivière Lubumbashi sur les paramètres physico-chimiques. Ceci permet donc de détecter les changements ainsi que leurs causes (naturelles ou anthropiques) pouvant survenir à un instant  $t$  sur cette rivière. La seconde composante donne aussi un peu d'information F2 (15,24%) sur les relations entre ces paramètres étudiés. Les eaux de la rivière Lubumbashi suivant le graphique 3 ci-dessus sont influencées par les paramètres Turbidité, Conductivité électrique et température (Groupe 1). Les fortes températures de l'eau seraient dues à l'entrée des effluents chauds déversés par la société de Traitement de Terril de Lubumbashi (STL), celles-ci s'accompagnent des valeurs élevées de la conductivité électrique suite au traitement métallurgique du Terril. Les mesures ayant été effectuées pendant la saison des pluies justifie les valeurs élevées de la turbidité. Cette situation s'observe à la deuxième station (B), indiquant la sortie des eaux de la STL. Ce qui permet de déterminer l'origine des variations des paramètres dans l'eau mais aussi et surtout de mettre en évidence les conséquences liées à ces variations sur les êtres aquatiques ainsi que sur l'homme.

Le groupe 2, représenté par les stations A et E présentent un pH favorable à la bonne croissance des êtres aquatiques. Les taux d'oxygène dissous dans ces stations sont aussi à un niveau acceptable pour le maintien de la vie aquatique. C'est ainsi que l'on observe au niveau de la station A et E, la présence des grenouilles, petits poissons ainsi que des crustacés. Par contre, les stations C et D présentent des paramètres physico-chimiques à cheval entre les deux groupes précédemment évoqués.

#### 4 CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus sur les paramètres physico-chimiques mesurés au niveau des eaux de la rivière Lubumbashi, on constate une dégradation de la qualité de l'eau particulièrement au niveau de la zone soumise aux rejets d'effluents liquides provenant de la Société de Traitement de Terril de Lubumbashi respectivement au niveau de la station S2. On note au niveau des stations C, D l'entrée des rejets urbains ayant influencés les propriétés de l'eau de la rivière Lubumbashi. Cependant cette contamination a tendance à diminuer aux stations situées loin de ces rejets d'effluents liquides par la STL, il s'agit des stations A et E. Cette diminution pourrait être liée au phénomène d'autoépuration de la rivière.

L'analyse en Composantes Principales des données physico-chimiques a permis de faire ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres et de différencier une zonalité de la qualité de l'eau dans la zone d'étude. Les différents paramètres physico-chimiques étudiés présentent des valeurs particulièrement dans la station B, élevées de la température, de la turbidité, de la Conductivité électrique. Ces trois paramètres sont corrélés au faible taux d'oxygène dissous et à un pH acide. Cette situation serait imputée à la Société de Traitement de Terril de Lubumbashi (STL) qui rejette ses effluents liquides chauds au lieu de les recycler ou de les traiter avant leurs relâchements dans le milieu naturel. Les modifications de certains de ces paramètres physico-chimiques induisent des changements importants sur la qualité de l'eau ainsi la vie des êtres aquatiques. Au regard de ce qui précède, la préservation des ressources hydriques devient donc impérative devant la dégradation de ces écosystèmes aquatiques et exige la mise en place des stations d'épuration et des décharges contrôlées pour la ville de Lubumbashi ou on enregistre de nos jours, une croissance démographique rapide et une intensification des activités anthropiques sans aucunes normes, ni restrictions.

## REFERENCES

- [1] Couason T.H., Laura Lander, L.A., Rouet-Leduc B.E., Niklas von Wolff N.K., 2013. La Mine de Grasberg - Bénédiction ou Juron? Atelier sur les valeurs de l'environnement : entre éthique et économie 2ème semestre – Année 2012-2013, 15p.
- [2] Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. et Savelli, H. (eds.), 2010. Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development, A Rapid Response Assessment, United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. www.grida.no, Printed by Birkeland Trykkeri AS, Norway, pp. 5-82.
- [3] MOULAERT, N., Emissions de l'industrie métallurgique à Lubumbashi (Shaba - Zaïre) et conséquences sur l'environnement, Travail de fin d'études inédit, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 1992.
- [4] ASSANI A.A. et MUTEBA M. (1994) - Aspect de la pollution de la rivière Lubumbashi par la Fonderie Minière de la Gécamines, Bulletin de la Société Belge d'Etudes Géographiques, 2, Pp. 211-223
- [5] Metcalf & Eddy 2003. Wastewater Engineering :Treatment and Reuse, 4 ed., McGraw Hill, Toronto, Ontario, 225p.
- [6] Mc KINNEY M.L. (2002). Urbanization, biodiversity and conservation. Biosci., 52, 883-890.
- [7] MULLISS R.M, REVITT D.M., SHUTES R.B.E. (1997). The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. Water Sci. Technol., 36, 195-199.
- [8] BURTON G.A.JR., PITT R.E. (2001). Stormwater effects handbook, a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers. CRC/ Lewis Publishers, 875p.
- [9] Van der Bruggen, B., 2010. The global water recycling situation, Sustainability Science and Engineering, Vol. 2, 41-61.
- [10] Kalenga, K.K.J., 2012. Contribution à l'optimisation de la sulfuration dans la valorisation par la flottation du minerai de cuprocobaltifère de Ruashi I au Katanga (R.D. Congo), Thèse de doctorat, Faculté Polytechnique de Mons, Service de Génie Minier, Université de Mons, p.38-47,146.
- [11] Akwerali Sombo J., et al 2013. Plan d'aménagement et de gestion des ressources en eau dans la ville de Lubumbashi. UNILU/Facultés des sciences. Rapport, 56p.
- [12] Atibu, K.E., Devarajan, N., Thevenon, F., Mwanamoki, P.M., Tshibanda, J.B., Mpiana, T.P., Prabakar, K., Mubedi, I.J., Wildi, W., Poté, J., 2013. Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonoie Rivers, Kolwezi-Katanga, Democratic Republic of Congo. Art. 26, 1-7.
- [13] Kashimbo Kalala S., Mongoli Mwanga B., Kazadi Kanyama P., Mpundu Mubemba M., "Influence of a hydrometallurgical plant in active on the water quality of the Naviundu channel: Case of the Chemical Plant of Africa (CHEMAF) Lubumbashi / Katanga, DR. Congo," International Journal of Innovation and Scientific Research, vol. 16, no. 2, pp. 433-447, July 2015.
- [14] Kashimbo Kalala S., Mukanya Senga S.C., Mukoj Kavund A., Mwenge Twakale L., Kesonga Nsele M., Meli Kimpinde A., and Kiyukeno Kitwanyoka Y., "Impacts study of Liquid discharges from Terril Company Plant (STL) on Lubumbashi River : Lubumbashi, Haut-Katanga/DR Congo," International Journal of Innovation and Scientific Research, vol. 21, no. 2, pp. 285-292, April 2016.
- [15] DE VILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C., 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 16p.
- [16] Akwerali Sombo J., et al 2013. Plan d'aménagement et de gestion des ressources en eau dans la ville de Lubumbashi. UNILU/Facultés des sciences. Rapport, 56p.
- [17] Ngongo M.L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M., 2009. Guide des Sols en R.D.Congo, Tome I. Etude et Gestion. UGent, HoGent, UNILU. Lubumbashi, 262 p.
- [18] BERNARD, E., 1950. Aperçus fondamentaux sur la climatologie du Katanga. C.S.K., Comptes Rendus, Congrès Scientifique, Elisabethville, 13-19/08/1950. IV, 1:56-96.
- [19] SELLR (1996-2000). Le protocole de surveillance FOGEM. La surveillance FOGEM des zones humides côtières du Languedoc-Roussillon Annexe 2000-2005. 7p.

- [20] HOWARTH R. W., MARINO R., GARRITT R. et D. SHERMAN, 1992. Ecosystem respiration and organic carbon processing in a large, tidally influenced river: the Hudson River. *Biogeochem.*, 16, 83-102.
- [21] BREMOND R., PERRODON C. (1979). Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. Prévention des pollutions. 2eme éd: 259 p.
- [22] LEYNAUD G. (1968). Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- [23] DE VILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C., 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 16p.
- [24] Miller, J.R., Hudson-Edwards, K.A., Lechler, P.J., Preston, D., Macklin, M.G., 2004. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of Rio Pilcomayo basin, Bolivia. *Sci. Total Environ.* 320, 189-209.
- [25] CHESTERIKOFF A., GARBAN B. et D. OLLIVON, 1991. Daily rhythms in the River Seine: relative impacts of natural and anthropogenic factors. *Water Res.*, 25, 1523-1528.
- [26] DALMAS P., 2000. Mesures de conductivité sur une eau pure ou comment appliquer la norme USP24-NF19. Article paru dans la Gazette du Laboratoire, 4p.
- [27] W.H.O. 1998. Guideline for drinking water quality, 2nd ed., vol. 2, health criteria and other supporting information. World Health Organisation, Geneva.
- [28] Yu J.Y. et Heo B. Dilution and removal of dissolved metals from acid mine drainage along Imgok Creek, Korea. *Appl. Geochem.* 16, 1041-1053 (2001).
- [29] GULLIVER J.S. et H.G. STEFAN, 1984b. Stream productivity analysis with DORM-II, parameter estimation and sensitivity. *Water Res.*, 18, 1577-1588.
- [30] FLEISCHER. M., 1974. Iodine. *Geochemistry and the Environment*. Vol. 1. The relationship of Selected Trace Elements to Health and disease. NAS. Washington. USA, 26 pp.
- [31] HEBERT S., LEGRE S. (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
- [32] BILLEN G., GARNIER J., SERVAIS P., BRION N., FICHT A., EVEN S., BERTHE T. et M. POULIN, 1999. L'oxygène : un témoin du fonctionnement microbiologique. Programme scientifique Seine-Aval, vol. 5. Université de Rouen. Rouen.
- [33] SABATER S., ARMENGOL J., COMAS E., SABATER F., URRIZALQUI I. et I. URRUTIA, 2000. Algal biomass in a disturbed Atlantic river: water quality relationships and environmental implications. *Sci. Total Environ.*, 263, 185-195.
- [34] BUTCHER J.B. et S. COVINGTON, 1995. Dissolved oxygen analysis with temperature dependence. *J. Environ. Eng.*, 121, 756-759.
- [35] MÜLLER J. et G. WEISE, 1987. Oxygen budget of a river rich in submerged macrophytes (River Zschopau in the south of the GDR). *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, 72, 653-667.