

EVALUATION DU DEGRE DE POLLUTION DES EAUX LITTORALES DU LAC KIVU: CAS DU BASSIN DE BUKAVU

[ASSESSMENT OF THE DEGREE OF POLLUTION OF THE COASTAL WATERS OF THE LAKE KIVU: CASE OF THE BUKAVU BASIN]

Chibikwa Désiré LUTWAMUZIRE, Kajunju Napoléon HERI, Shembe Franklin BEKA, Cishesa Thierry HERI, and Chakirwa Henry MUSHAGALUSA

Section Agro vétérinaire,
Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques et Vétérinaires (ISEAV/ WALUNGU),
Bukavu, Sud Kivu, RD Congo

Copyright © 2015 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: This research consisted to the assessment of the degree of pollution of the waters of the Kivu lake: case of the basin of Bukavu, being given the different affluents that himself pours there with all ways of garbages.

The objective of this last is to achieve a qualitative survey of the waters of the Kivu lake according to the ecological norms in the determination of the temperature, the pH, the alkalinity or the acidity, of the dissolved oxygen and of the biologic and chemical demand in oxygen on one hand; and on the other hand the comparison of the pollution degree in the different mentions retained: SNCC, BRALIMA, PHARMAKINA, BWINDI, KAZINGO and RUZIZI, the waters of large having served like witnesses.

After analysis of results, he/it cleared himself/itself what follows:

- The temperature of the waters of the Kivu lake is variable next one seasons with an average of 23°C;
- The waters of the lake are alkali and variable according to seasons;
- The dissolved oxygen is variable between 2,92 and 4,84mg/l, what is an admissible value for a better life in the aquatic middle because lower to 5mg/l.

He/it is therefore conclusive that the waters of the coastline of the Kivu lake in the basin of Bukavu are polluted in the decreasing order in sites of the following manner: SNCC, PHARMAKINA, KAZINGO, BRALIMA and BWINDI.

KEYWORDS: Pollution, dissolved Oxygen, Alkalinity, biologic and chemical Demand, pH, Basin of Bukavu, Coastal, Temperature.

RESUME: Cette recherche a consisté à l'Evaluation du degré de pollution des eaux du lac Kivu : cas du bassin de Bukavu, étant donné les différents affluents qui s'y déversent avec toutes sortes de déchets.

L'objectif de cette dernière est de réaliser une étude qualitative des eaux du lac Kivu suivant les normes écologiques dans la détermination de la température, du pH, de l'alcalinité ou de l'acidité, de l'oxygène dissous et de la demande biologique et chimique en oxygène d'un côté ; et de l'autre côté la comparaison du degré de pollution dans les différents sites retenus : SNCC, BRALIMA, PHARMAKINA, BWINDI, KAZINGO et RUZIZI, les eaux de large ayant servies comme témoins.

Après analyse des résultats, il s'est dégagé ce qui suit :

- La température des eaux du lac Kivu est variable suivant les saisons avec une moyenne de 23°C ;
- Les eaux du lac sont alcalines et variables suivant les saisons ;
- L'oxygène dissous est variable entre 2,92 et 4,84mg/l, ce qui est une valeur admissible pour une vie meilleure dans le milieu aquatique car inférieure à 5mg/l.

Il est donc concluant que les eaux du littoral du lac Kivu dans le bassin de Bukavu sont polluées dans l'ordre décroissant dans les sites de la manière suivante : SNCC, PHARMAKINA, KAZINGO, BRALIMA et BWINDI.

MOTS-CLEFS: Pollution, Oxygène dissous, Alcalinité, Demande biologique et chimique, pH, Bassin de Bukavu, Littorale, Température

INTRODUCTION

La pollution, concept par rapport aux normes écologiques, atteint aujourd'hui une partie du réseau hydrographique du Kivu en général et celui de Bukavu en particulier. Cela résulte avant tout de la multiplication et de la croissance des établissements industriels le long des rivières au bord du lac ainsi que de l'extension des zones urbaines due à l'augmentation de la population qui déversent leurs eaux usées dans le réseau lacustre. Mais cela résulte aussi du développement industriel, de l'agriculture qui utilise de plus en plus d'engrais chimiques, d'herbicides, d'insecticides et de pesticides divers.

Ainsi, évaluer le degré de pollution des eaux dans lequel s'inscrit le présent travail est actuellement considéré comme l'un des moyens pour rendre l'action écologique de plus en plus efficace [1]. De ce fait, évaluer le degré de pollution constitue aussi l'une des préoccupations de l'écologie appliquée.

Vu sous cet angle, évaluer le degré de pollution des eaux suppose une connaissance au préalable des facteurs physiques, chimiques et biologiques révélateurs de la pollution.

Le lac Kivu, bassin de Bukavu, sur lequel porte notre étude comme tout autre eau littorale reçoit des pertes et déchets domestiques, agricoles, industriels et autres, provenant du milieu environnant par l'action de l'homme et/ou par un processus naturel, qui doivent altérer la qualité de ses eaux. Ainsi, notre étude porte sur l'évaluation du degré de pollution des eaux littorales du lac Kivu : cas du bassin de Bukavu.

Notre préférence pour le lac Kivu, un écosystème en évolution de grande importance pour le monde en général et les provinces du nord et du Sud Kivu en particulier se justifie par l'intérêt écologique, économique, climatique et scientifique qu'offre ce lac. Aussi, l'étude du bassin de Bukavu nécessite une attention particulière dans l'étude du lac Kivu à cause de la surpopulation de ses rivages et îles, une activité économique diversifiée et importante, une influence plus nette sur la population et de sa position en aval sur le lac.

Signalons aussi que, la population ignore la vulnérabilité de ce lac en considérant que la dilution suffisante des produits toxiques déversés exclut tous risques graves et que les polluants comme les matières organiques ou les matières minérales sont soit aisément biodégradées grâce aux processus naturels dits d'auto épuration soit directement utilisées par la flore aquatique.

Dans le présent travail, nous nous limitons seulement au bassin de Bukavu, plus précisément aux sites suivants : le port de la SNCC, les déversoirs des sociétés BRALIMA et PHARMAKINA, Bwindi, Kazingo et la rivière Ruzizi ; enfin les eaux du large considérées comme référence.

SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le lac Kivu est situé en Afrique centrale, au Sud de l'équateur, entre 1°34'30'' et 2°30' de latitude et entre 28°50' et 29°23' de longitude Est. Il est l'un des quatre grands lacs du Rift Est africain. Il forme sur 102km de long et 50km de large (dans sa plus grande largeur) une partie de la frontière naturelle entre la République Démocratique du Congo à l'Ouest et le Rwanda à l'Est. Il est situé à 1464m d'altitude par rapport au niveau de la mer [2].

La région de l'emplacement actuel du lac Kivu a été l'objet d'une succession de bouleversements tectoniques caractérisés par des épanchements volcaniques qui ont modelé le relief de la région et entraîné une perturbation du réseau hydrographique. Il a été formé à la suite des éruptions volcaniques de monts Virunga. La coulée de laves a bloqué la vallée située à une centaine de kilomètres au Sud du lac Id Amin (Le lac Edouard) et a permis le remplissage de la dépression par les eaux qui ont emprunté le seuil le plus bas situé au Sud. La rivière Ruzizi exutoire actuel du lac Kivu a ainsi été formée.

Sur base de l'analyse de la vitesse de sédimentation qui est de l'ordre de 30cm par 1000 ans et considérant les 500m de sédiments dans le bassin Nord du lac, des auteurs donnent un âge pliocène à la partie profonde de la baie septentrionale du

lac [3]. D'autres soutiennent que le niveau des eaux du lac a connu d'importantes fluctuations depuis cette époque passant de 86m à plus de 100m par rapport au niveau actuel.

Le lac Kivu est situé dans une région dominée par des roches appartenant à deux formations géologiques d'âges différents : les roches du socle précambrien et les roches cénozoïques. Les premières sont représentées par les schistes, les granites et les micas. Les roches cénozoïques sont quant à elles essentiellement composées des roches volcaniques, d'altérites et d'alluvions relativement récentes.

Les caractéristiques structurales et la morphologie du lac Kivu ont été étudiées. Depuis lors, il n'y a pas eu de nouvelles données et tous les travaux postérieurs se rapportent aux résultats de leurs études. Nous reprenons les principaux traits caractéristiques de la structure du lac :

Le lac Kivu est d'abord caractérisé par sa position dans la vallée profonde et escarpée, surmontée et longée du Sud au Nord par deux chaînes de montagnes : les Monts Mitumba à l'Ouest et la dorsale rwandaise à l'Est.

La superficie du lac Kivu est estimée à 2370Km². Les îles au nombre de 150 couvrent une surface totale d'environ 315Km². La longueur des côtes est de 1196Km. Celles-ci présentent un aspect dendritique, caractéristique des lacs récemment formés.

Vu la forte pente des rives, la zone littorale est très réduite en largeur (parfois moins de 10m) au profit de la zone pélagique qui s'étend jusqu'à proximité des rives. La profondeur moyenne du lac est estimée à 240m et la profondeur maximale est d'environ 500m.

Le lac Kivu est divisée du côté ouest en cinq grands bassins : le bassin Nord, le bassin de Kabuno – Kashanga, le bassin d'Ishungu, le bassin de Kalehe et le bassin de Bukavu.

Le bassin de Bukavu où ont eu lieu nos investigations constitue la partie extrême Sud du lac Kivu et s'étend sur une superficie de 96 hectares. La profondeur maximale de ce bassin est de 105m avec une moyenne autour de 75m [4]. Il est bordé au Nord Ouest par l'Isthme de Birava et au Nord Est par les îles Nkombo et Ibindja.

Le bassin de Bukavu est formé dans sa partie australe de cinq baies : les baies de Bukavu, Ndendere, Nyofu, Nyalukemba et Nguba. Il reçoit les eaux de ruissellement et les eaux usées de la ville de Bukavu qui s'y déversent, entre autres moyens, par ses affluents : rivières Nyakabera, Nyamuhinga, Bwindi, Tshula, Weshu, Kahuwa et Mukukwe, dont les eaux n'ont pas subi au préalable un quelconque traitement.

Le bassin du lac Kivu se trouve sous un climat du type tropical humide. Ce climat est influencé par divers facteurs notamment les deux chaînes de montagnes qui surplombent le lac, à l'Ouest et à l'Est par les vents alizés du Sud-Est et du Nord-Est ; et par l'altitude.

Ces facteurs entraînent l'existence d'une mosaïque de microclimats dans le bassin du lac Kivu de sorte qu'il est préférable de considérer le climat d'un endroit particulier plutôt que de parler de climat de l'ensemble du lac. Parmi les éléments du climat susceptibles d'influer sur la biologie du lac, il y a notamment la pluviosité et les vents. Au lac Kivu, la pluviosité varie d'un endroit à l'autre et d'une rive à l'autre.

La pluviosité est nettement plus forte sur la rive occidentale que sur la côte orientale. Ce phénomène s'explique par la prédominance des vents du Sud-Est et l'action de l'île d'Idjwi sur la masse d'air. Des différences climatiques existent également entre la partie Nord et la partie Sud du lac [4] [5].

Le lac est également soumis à l'influence des vents qui soufflent de manière presque permanente du Sud-est à l'Est, le traversant obliquement ou latéralement. Ce régime principal est souvent perturbé par des facteurs locaux comme la température relativement élevée de l'eau de surface, la proximité des rives et les massifs montagneux environnants.

La vitesse du vent sur le lac croît généralement à partir de 9heures du Sud au Nord. En saison sèche, elle peut atteindre 60km/heure dans le bassin Nord vers 11h - 12h. Des vents violents, pouvant atteindre une vitesse de 80km/heure et de direction variable s'observent aussi bien dans le Nord que dans la partie Sud lors des orages.

Les tableaux 1 et 2 présentent respectivement les principales caractéristiques limnologiques du lac Kivu et les ions rencontrés dans ses eaux.

Il faudrait souligner ici une caractéristique importante du lac Kivu : c'est un lac méromictique présentant des eaux profondes dépourvues d'oxygène surmontées par un biozone oxygéné. Ce type de structure implique notamment qu'une autre partie de la biomasse planctonique et des nutriments qu'elle contient soit systématiquement soustraite, par sédimentation à la zone oxygénée. Cette perte a nécessairement des conséquences au niveau de la productivité des lacs

méromictiques, qui risque de se trouver limité par une carence en nutriments essentiels. Notons toutefois, qu'un recyclage interne des nutriments peut être assuré par la biodégradation des matières organiques dans le biozone et que leur disponibilité pour la zone aphotique, où a lieu la production primaire planctonique dépend de la dynamique de circulation des masses d'eau, principalement liées aux vents.

En plus de cette principale caractéristique, le lac Kivu se distingue par d'autres particularités physico-chimiques notamment la teneur élevée en sels dissous (1,115g/l), se manifestant par une conductivité élevée, la stratification thermique verticale des eaux et la présence d'importantes quantités de gaz dissous dans les eaux profondes spécialement le gaz méthane, le gaz carbonique et l'anhydride sulfureux. Le lac Kivu est le plus grand réservoir naturel connu du gaz méthane.

Les sels minéraux proviennent surtout des solutions hydrothermales qui émanent du fond du lac et les teneurs des gaz dissous dans l'eau du lac Kivu restent inférieures à la saturation (salinité voisine de 4%). On estime que l'apport annuel de ces sources est de l'ordre de 0,5km² soit 1/1000 du volume total du lac. Le méthane par contre a une double origine, une partie est formée par la décomposition bactérienne du plancton en conditions anaérobies, l'autre partie est le résultat de la transformation dia génétique (méthane thermo catalytique dont la chaleur nécessaire à la thermo catalyse est fournie au sédiment par les volcans actifs des environs).

La température des eaux en surface varie très peu au cours de l'année. Elle oscille entre 23,1°C et 24,5°C (moyenne 23°C). Le profil thermique est uniforme dans les différentes couches d'eau. La température décroît de la surface jusqu'à 50m et puis s'élève à nouveau dans l'hypolimnion limnologique pour atteindre 25°C à 400m [2].

Tableau 1. Caractéristiques limnologiques du lac Kivu

Caractéristiques	Valeur
Altitude (m)	1463
Surface (km ²)	2370
Volume	583
Profondeur maximale (m)	489
Profondeur minimale (m)	240
Température (°C)	23,0 – 24,5
pH	9,1 – 9,5
Transparence (m)	3,5 – 6,0
Limite oxygène (m)	70
Conductivité μ (s/m)	1240
Salinité (g/l)	1,115
Temps de séjour (année)	226

Tableau 2. Les ions rencontrés dans les eaux du lac Kivu

Principaux ions	Concentration en mg/l
HCO ₃ ⁻	1103
SO ₄ ⁻²	32
NO ₃ ⁻	Traces
Ca ⁺²	8
Mg ⁺²	182
Na ⁺	203
K ⁺	31
Li ⁺ , Sr ⁺	Traces
Cl ⁻	42

MATERIELS ET METHODES

LOCALISATION DES SITES

Le choix des sites à étudier nous a été dicté par considération de certains éléments : les affluents du lac, les grandes industries implantées dans le quartier environnant le bassin de Bukavu et d'autres facteurs s'y afférant, pouvant favoriser la pollution des eaux du lac Kivu.

Site 1 : Ce site est situé au port de la SNCC (Société National de Chemin de fer à l'Est du Congo). Il a été choisi car c'est là que se déversent les eaux de la rivière Kahuwa jouant un rôle dans la canalisation des eaux usées, des immondices, transporte des matériaux fins en suspension et des excréments en provenance de la commune de Kadutu et une partie de la commune d'Ibanda.

Site 2 : Ce site est situé aux déversoirs de l'industrie Bralima qui reçoit aussi une quantité de déchets ruraux et ceux en provenance de l'usine.

Site 3 : Ce site est situé aux déversoirs de la société Pharmakina, une usine pharmaceutique avec toutes ses conséquences.

Site 4 : Ce site est situé à Bwindi où se déversent les eaux de la rivière Bwindi. Cette rivière canalise non seulement les eaux souterraines mais aussi les eaux de ruissellement et les eaux des égouts provenant de la commune de Bagira et une partie de ses eaux usées.

Site 5 : Ce site est situé à Kazingo où se déversent les eaux de la rivière Nyamuhinga. Cette rivière transporte une grande quantité des eaux usées de la commune de Bagira, les eaux de ruissellement et autres.

Site 6 : Ce site est situé dans la rivière Ruzizi tout juste à la douane de Ruzizi II après le barrage de MURURU.

Site 7 : Ce site est constitué par les eaux du large à plus ou moins 200m de la côte à hauteur du Cercle Sportif de Bukavu. Ce site joue le rôle dans la comparaison des résultats de tous les autres sites.

DÉFINITION DE LA POLLUTION

Plusieurs auteurs ont tenté chacun en ce qui le concerne de formuler une définition de la pollution. Cependant la considération générale est telle que la pollution ne peut être évoquée que dans la mesure où le concept « nuisances » peut être envisagé.

Un rapport rédigé en 1965 par le comité scientifique officiel de la maison blanche intitulé « Pour restaurer la qualité de notre environnement » dit que la pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous produit de l'action humaine au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation de la constitution physico chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes . Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature [8].

[9] ainsi que [10] disent qu'un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition de l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel ou certaines d'entre elles.

L'on définit encore la pollution de l'eau comme toute modification indésirable de ses caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent ou pourront affecter l'homme ou d'autres espèces désirables, ses procédés industriels, ses conditions de vie ou son acquis culturel.

Nous pouvons aussi définir la pollution comme étant l'introduction par l'homme et/ou par un processus naturelle dans un système équilibré d'une composante chimique, physique ou biologique entraînant soit une perturbation de l'équilibre du système soit simplement une nocivité pour l'homme et/ou pour les autres organismes vivants.

TYPES DE POLLUTIONS

La classification des pollutions n'est pas une entreprise aisée car on peut la réaliser à partir de nombreux critères mais aucun n'est entièrement satisfaisant. On peut tout d'abord grouper les agents polluants selon leur nature : physique, chimique, biologique, etc. ou de façon écologique en considérant le milieu dans lequel ils sont émis et/ou ils exercent leurs méfaits. On peut aussi se placer d'un point de vue anthropocentrique et considérer le milieu ou la manière par laquelle ils contaminent l'organisme humain : inhalation, ingestion, contact cutané, audition, ...

Dans ce présent travail nous nous limiterons seulement à la classification selon le milieu et selon la nature :

*** Selon le milieu**

On distingue :
 la pollution atmosphérique
 la pollution du sol et du sous sol
 la pollution des eaux

Tableau 3 : Nature et origine des principaux groupes de substances polluants l'atmosphère

	Nature du polluant	Source d'émission
GAZ	Anhydride carbonique CO ₂	Volcanisme, Respiration des êtres vivants, Combustibles fossiles
	Monoxyde de carbone CO	Volcanisme, Moteurs à explosion
	Hydrocarbures	Plantes, Bactéries, Pertes, Moteurs à explosion
	Composé organiques	Industries chimiques, Incinération d'ordures, Combustions diverses
	SO ₂ et autres dérivés soufrés	Volcanisme, Bactéries, Combustibles fossiles
	Dérivés nitrites	Bactéries, Combustions
	Radionucléides	Centrales atomique, Explosions nucléaires
PARTICULES	Métaux lourds et composés minéraux	Volcanismes météorites, Erosion éolienne, Industries diverses, Moteurs à explosion
	Composés organiques naturels ou de synthèse	Incendie des forêts, Industries chimiques, Combustions diverses, Incinération d'ordures, Agriculture (pesticides)
	Radionucléides	Explosions nucléaires

*** Selon la nature**

On distingue : la pollution physique
 la pollution thermique
 la pollution nucléaire
 la pollution chimique
 la pollution biologique

Tableau 4 : Agents pathogènes pour les animaux à sang chaud et pour l'homme fréquents dans les eaux polluées

Organisme	Maladie
Virus	Poliomyélite
Vibrio cholerae	Choléra
Salmonella typhi	Fièvre typhoïde
Shigella flexneri	Dysenterie bacillaire
Brucella	Brucellose
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculose
Entamoeba histolytica	Dysenterie
Larves de Schistosoma	Bilharziose
Œufs d'ascaris	Ascariidiose
Œufs d'enterobius	Oxyurose

PRESENTATION DU MATERIEL ET DES PRODUITS UTILISES

Matériels

- Thermomètre à mercure allant de 0°C à 200°C (graduation de 1°C)
- Papier indicateur de pH variant de 6 à 10 (graduation 0,5)
- Burettes graduées de 25ml (graduation 0,05ml) et leurs supports (statifs, noix et pinces)
- Pipettes en verre dont l'une de 10ml et l'autre de 1ml
- Erlenmeyers (300ml et 100ml) en verre pyrex
- Bechers en verre borrosilicates
- Pissetes en plastique de 500ml
- Compte - goutte en verre
- Ballons à fond plat de 250ml
- Ballons jaugés
- Bidons en plastique de 3litres
- Carton pour incubation
- Balance analytique Mettler (160g/0,0001g)

Produits

- HCl à 0,01 molaire
- KOH à 0,01 molaire
- $MnSO_4 \cdot H_2O$ à 0,01 molaire
- KI à 1 mole/l
- H_2SO_4 à 6,2 mole/l (33%)
- $Na_2SO_4 \cdot 5H_2O$ à 0,0125 mole/l
- $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ à 0,01 mole/l
- Indicateurs : - Méthyle orange
- Phénolphtaléine
- Empois d'amidon

PREPARATION DES SOLUTIONS

1. La solution de HCl 0,01 mole/l

Cette solution a été préparée à partir d'une solution de HCl 37% et de densité 1,18. Pour préparer cette solution nous avons appliqué le principe de dilution.



% :37 0,01 molaire

D : 1,18

Nous savons que $N_c = \frac{\% \cdot d \cdot 10}{m_{\text{éq}}}$

Avec N_c : normalité de la solution concentrée

% : pourcentage

d : densité

m_{éq} : masse équivalente

$$\text{Alors, } N_c = \frac{37 \cdot 1,18 \cdot 10}{36,5} = 11,96 \text{ eq - g/l}$$

Partant de la formule $N_1V_1 = N_2V_2$ et connaissant

$N_1 = 11,96N$, normalité de la solution concentrée

$N_2 = 0,01N$, normalité de la solution diluée désirée

$V_2 = 1000\text{ml}$, volume de la solution diluée

Nous devons pouvoir calculer V_1 , le volume de la solution concentrée à diluer pour avoir la solution de HCl 0,01 mole/l.

$$\text{Ainsi } V_1 = \frac{N_2 V_2}{N_1} = \frac{0,01 \cdot 1000}{11,06} \text{ ml} = 0,836 \text{ ml}$$

Mode opératoire :

- Prélever 1ml de la solution de HCl 37% d = 1,18
- Verser 500ml d'eau distillée dans un ballon jaugé de 1000ml
- Verser le 1ml de HCl 37% dans cette fiole petit à petit en agitant constamment
- Compléter la solution jusqu'à 1l avec de l'eau distillée et la traverser dans une bouteille en verre puis étiqueter. Cette solution est utilisée pour calculer l'alcalinité de l'eau.

2. Solution de KOH 0,01 mole/l

Connaissant la masse molaire de KOH = 56,1056g/mole, la solution de 0,013mole/l de KOH exige pour la préparation de 1000ml de solution une masse de 0,735g de KOH.

Mode opératoire

- Peser 0,735g de KOH à l'aide d'une balance analytique, le dissoudre dans un bécher tout en agitant, reposer quelques minutes, agiter jusqu'à la dissolution complète diluer la solution dans un ballon jaugé jusqu'à 1 litre.
- Traverser la solution dans un bocal en verre, fermer immédiatement au bouchon et en fin étiqueter cette solution doit être utilisée pour mesurer l'acidité de l'eau.

3. Solution de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,01 mole/l

La masse molaire de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ est de 169,01g/mole. Ainsi une solution de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,01mole/l exige pour la préparation de 1000ml une masse de 1,6901g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Mode opératoire

- Peser 1,6901g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ à l'aide d'une balance analytique, les dissoudre dans un bécher tout en agitant jusqu'à la dissolution complète.
- Laisser couler la solution dans une fiole jaugée et porter le volume à 1 litre par de l'eau distillée.
- Transvaser la solution dans un bocal en verre, fermer au bouchon et étiqueter.

Cette solution est destinée à la détermination de l'oxygène dissous et la DBO.

4. Solution de KI 1mole/l

La masse molaire de KI = 166,01g/mole. Pour préparer 500ml d'une solution 1mole/l de KI nous avons besoin de 83,005g de KI.

Mode opératoire

- Peser 83g de KI à l'aide d'une balance analytique et les dissoudre dans un bréchet tout en agitant jusqu'à la dissolution complète.
- Laisser couler la solution dans une fiole jaugée de 500 ml et porter le volume à 500ml de l'eau distillée.
- Transvaser la solution dans un bocal en verre, fermer au bouchon et étiqueter.

5. Solution alcaline de KI

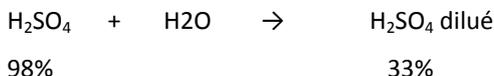
Cette solution est préparée à partir de deux solutions intermédiaires : la solution de KI 1mole/l et la solution de KOH : dissoudre 168g de KOH dans l'eau et porter le volume à 500ml.

La solution alcaline de KI est le mélange de la solution de KOH avec celle de KI. Cette solution alcaline de KI ainsi préparée sert dans la détermination de l'oxygène dissous et de la demande biologique en oxygène.

6. Solution de H₂SO₄ à 6,2mole/l 33%

La solution de H₂SO₄ à 33% a été préparée à partir de la solution de H₂SO₄ à 98% de densité 1,84. Pour préparer cette solution, le principe de la dilution a été appliqué.

D'après ce principe de dilution nous aurons pour notre cas :



d : 1,84

Avec $N_c = \frac{\% \cdot d \cdot 10}{\text{még}}$ où N_c: normalité de la solution concentrée

% : pourcentage

d : densité

még : masse équivalente de H₂SO₄

$$N_c = \frac{98 \cdot 1,84 \cdot 10}{49} = 36,8 \text{ Nc} \text{ ou } 18,4 \text{ mole/l}$$

H₂SO₄ à 98% → 36,8Nc

H₂SO₄ à 33% → $= \frac{36,8 \cdot 33}{98} = 12,4 \text{ N}_D$ ou 6,2moles/l avec N_D: normalité de la solution diluée. Comme il s'agit d'une dilution,

pour connaître le nombre de fois qu'il faut diluer la solution concentrée nous devons appliquer le rapport suivant :

$\frac{N_c}{N_D} = \frac{36,8}{12,4} = 3$ fois, c'est – à – dire le volume de H₂SO₄ que l'on aura prélevé doit être dilué 3 fois d'après les calculs suivant :

$$\frac{N_c}{N_D} = \frac{V_D}{V_C} \Rightarrow 3 = \frac{V_D}{V_C} \Rightarrow \boxed{V_D = 3 V_C}$$

V_C: Volume de la solution concentrée et V_D : volume de la solution diluée.

Mode opératoire

- Verser 500ml d'eau distillée dans un ballon
- Prélever 250ml de H₂SO₄, 98% et les verser petit à petit dans le ballon jaugé contenant l'eau distillée tout en agitant constamment, reposé plus ou moins 20 minutes en vue de refroidir.
- Transvaser la solution dans un bocal en verre, fermer au bouchon et étiqueter. Cette solution sera utilisée dans la détermination de l'oxygène dissous, de la demande biologique en oxygène et de la demande chimique en oxygène.

7. Solution de Na₂S₂O₃.5H₂O à 0,0125mole/l

La solution de Na₂S₂O₃.5H₂O, 0,0125mole/l a été préparée à partir de la solution de Na₂S₂O₃.5H₂O 1mole/l. Connaissant la masse molaire de Na₂S₂O₃.5H₂O = 248,1g/mole pour préparer une solution 1 molaire de Na₂S₂O₃.5H₂O nous avons dissous 24,81g de ce produit dans l'eau distillée et porté le volume de la solution à 100ml.

Partant de la formule M₁V₁ = M₂V₂, pour préparer une solution de Na₂S₂O₃.5H₂O 0,0125 mole/l il faut prélever 12,5ml de la solution Na₂S₂O₃.5H₂O, 0,0125mole/l les traverser dans un ballon jaugé de 1000ml, les diluer avec l'eau distillée et porter le volume à 1000ml.

Transvaser la solution dans un bocal en verre, fermer au bouchon et étiqueter. Cette solution est utilisée dans la détermination de l'oxygène dissous et de la demande biologique en oxygène.

8. Solution de KMnO₄ 0,01 mole/l

Masse molaire de KMnO₄ = 158g/mole. La solution 0,01mmole/l de KMnO₄ exige pour la préparation d'un litre de solution la masse de 1,58g de KMnO₄ pesée à l'aide de la balance analytique.

- Peser 1,58g de KMnO_4 et les dissoudre dans un ballon jaugé en agitant constamment jusqu'à la dissolution complète, diluer jusqu'à 1l par de l'eau distillée.
- Transvaser la solution dans un bocal en verre, fermer au bouchon, étiqueter et placer le bocal dans un endroit sombre. Cette solution est destinée à la détermination de la demande chimique en oxygène.

9. Solution de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,01mole/l

Masse molaire de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ = 278,02 g/mole. Pour préparer 1litre d'une solution de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,01mole/l nous avons besoin de 2,7802g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Mode opératoire

- Peser 2,78g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ à l'aide d'une balance analytique, les dissoudre dans un ballon jaugé de 1litre tout en agitant jusqu'à la dissolution complète. Diluer la solution par de l'eau distillée jusqu'à 1litre de solution.
- Transvaser la solution dans un bocal en verre, fermer au bouchon et étiqueter. Cette solution est utilisée dans la détermination de la demande chimique en oxygène.

10. Préparation des indicateurs colorés

- Méthylorange : dissoudre 0,1g de méthylorange dans 100ml d'eau distillée
- Phénolphthaléine : dissoudre 0,1g de phénolphthaléine dans 50ml d'eau et 50ml d'alcool éthylique
- Solution d'empois d'amidon 0,5% : dissoudre 0,5g d'empois d'amidon dans 50ml d'eau, ajouter de l'eau distillée bouillante pour atteindre le volume de 100ml.

PRELEVEMENT ET TRANSPORT DES ECHANTILLONS

Le prélèvement de nos échantillons s'effectuait dans nos différents sites prospectés entre 12 heures et 15 heures. Ce temps nous a été dicté par les travaux effectués avant portant sur l'évolution journalière de la variabilité des eaux littorales du lac Kivu et montrant que la variabilité était élevée dans cet intervalle de temps. Nos échantillons sont prélevés dans les eaux littorales de surface entre 7 et 15m de bordure pour les sites de la SNCC, Bralima, Pharmakina, Bwindi et Kazingo ; à 2m des côtes pour le site de la Ruzizi et à 200m de côte à la hauteur du cercle sportif de Bukavu pour notre échantillon témoin.

Dans le but de minimiser les risques de perturbations de nos résultats, nos analyses s'effectuaient sur le terrain même, sauf pour la demande chimique en oxygène qui nécessite une source de chaleur. Ainsi le transport des échantillons s'effectuait seulement pour les analyses de la demande en oxygène et des échantillons à couvert [6] [7].

DETERMINATION DE QUELQUES PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES

1. Détermination de la température

La détermination de la température de l'eau a lieu juste après le prélèvement des échantillons. En remplissant le bidon de prélèvement de l'eau, le thermomètre est plongé dans de l'eau en passant par le trou du bouchon perforé que nous utilisons pour protéger notre échantillon des échanges gazeux avec l'atmosphère lors de la détermination de la température. Après plus ou moins cinq minutes notre thermomètre était retiré de l'échantillon et on pouvait passer à la lecture des résultats.

2. Détermination du pH

La détermination du pH de l'eau a été possible par l'utilisation du papier indicateur de pH (zone acide – base). Ce pH a été mesuré sur terrain juste après le prélèvement des échantillons et les résultats sont des valeurs approximatives car la coloration du papier indicateur de pH après avoir été imbibé dans l'eau ne nous indique pas la vraie valeur de pH, faute d'un pH-mètre pour cette fin.

3. Détermination de l'alcalinité (capacité d'acide)

L'alcalinité est déterminée par un titrage direct d'un échantillon de l'eau par l'acide chlorhydrique. La valeur positive p n'est déterminée contre la phénolphthaléine (changement de couleur à pH 8,2) et la valeur positive m contre le méthylorange (changement de couleur à pH 4,3).

*** Détermination de la capacité d'acide à pH 8,2 (valeur positive p)**

- Rincer l'erlenmeyer avec l'eau qui devra être testée et à l'aide d'une pipette graduée prélever 10ml de l'échantillon d'eau et les déposer dans l'erlenmeyer.
- Ajouter 2 gouttes de solutions de l'indicateur phénolphtaléine et agiter. La solution devient rose. (Si la solution reste incolore, il n'ya pas d'alcalinité dans cette eau et dans ce cas déterminer l'acidité).
- Titrer avec une solution de HCl 0,01mole/l pour enfin déterminer la valeur p positive à l'aide du volume de HCl nécessaire pour atteindre le point d'équivalence. La solution passe de rose à incolore. « La prescription recommande la solution HCl 0,0001mole/l mais étant donné que cette solution donne dans les conditions de travail (en plein air) un mauvais contraste lors du virage nous avons préféré utiliser une solution plus concentrée présentant un meilleur contraste au virage ».

*** Détermination de la capacité à pH 4,3 (valeur m positive)**

- Rincer l'erlenmeyer avec de l'eau qui devra être testée et à l'aide d'une pipette graduée prélever 10 ml de l'échantillon d'eau et les déposer dans l'erlenmeyer.
- Ajouter 2 ou 3 gouttes de solution de l'indicateur méthylorange et agiter.
- Titrer par la solution de HCl 0,01mole/l jusqu'au point d'équivalence pour déterminer la valeur m positive.

*** Calcul de l'alcalinité.**

Le calcul consiste à conformer les résultats des essais effectués au laboratoire (volume x de HCl 0,01mole/l pour neutraliser 10ml d'échantillon) aux prescriptions (volume y de HCl à 0,0001mole/l pour neutraliser 100ml d'échantillon).

Pour déterminer les valeurs p et m positives, la relation suivante est utilisée :

$$C_{H^+} = \frac{n}{V(l)}$$

avec C_{H^+} : concentration en ion H+

n : nombre de mole

V(l) : volume en litre de HCl

Pour se conformer aux prescriptions, nous trouvons après transformation que $Y = 102X$ avec

X : Volume de HCl 0,01mole/l nécessaire pour arriver à la neutralisation

Y : Volume de HCl 0,0001mole/l nécessaire pour arriver à la neutralisation

D'où

$$CH^+ = \frac{n}{v} = \frac{n}{Y} = \frac{n}{102X}$$

avec $C = 0,0001\text{mole/l}$

$$n = 10^2 \cdot 10^{-4} \cdot X$$

$$n = 10^{-2}X$$

Tableau 6. Volumes X et Y nécessaires pour arriver à la neutralisation de 10ml d'eau pendant la période non pluvieuse et la période pluvieuse

SITE	PERIODE NON PLUVIEUSE				PERIODE PLUVIEUSE			
	+m		+p		+m		+p	
	X ml	Y ml	X ml	Y ml	X ml	Y ml	X ml	Y ml
SNCC	5,12	512	0,733	73,3	2,47	247	0,4	40
BRALIMA	7,15	715	1,1	110	2,22	222	1,03	103
PHARMAKINA	9,73	973	1,683	168,3	2,27	227	0,783	78,3
BWINDI	7,45	745	0,95	95	1,983	198,3	0,67	67
KAZINGO	6,35	635	0,67	67	1,37	137	0,2	20
RUZIZI	8,7	870	0,683	68,3	2,18	218	0,3	30
EAU DE LARGE	12,15	1215	1,633	163,3	4,22	422	0,88	88

*** Détermination de l'acidité (capacité basique)**

La capacité basique est déterminée en titrant directement l'échantillon de l'eau par la solution de NaOH ou KOH. La valeur m négative est déterminée contre l'indicateur méthylorange (changement de couleur à pH 4,3) et la valeur p négative contre l'indicateur phénolphtaléine (changement de couleur à pH 8,2).

- Détermination de la capacité basique à pH 8,2 (valeur p négative)

Rincer l'erlenmeyer avec l'eau qui devra être testée et à l'aide d'une pipette graduée prélever 10ml de l'échantillon d'eau

Ajouter 2 ou 3 gouttes de solution de l'indicateur phénolphtaléine et agiter. La solution doit rester incolore. (Si elle devient rose, il n'y a pas d'acidité dans l'eau, dans ce cas déterminer la basicité)

Titre avec une solution de KOH 0,01mole/l jusqu'au point d'équivalence pour déterminer la valeur p négative.

- Détermination de la capacité basique à pH 4,3 (valeur m négative)

Rincer l'erlenmeyer avec l'eau qui devra être testée et à l'aide d'une pipette graduée prélever 10ml de l'échantillon d'eau.

Ajouter 2 ou 3 gouttes de solution de l'indicateur méthylorange et agiter. La solution devient rouge orange (Si elle devient bleu, elle détermine la valeur p négative).

Titre par une solution de KOH 0,01mole/l jusqu'au point d'équivalence pour déterminer la valeur m négative. Le volume de KOH 0,01mole/l utilisé pour atteindre la coloration jaune nous servira pour déterminer la valeur m négative.

- Calcul de l'acidité

Le même raisonnement utilisé dans le cas de l'alcalinité est valable pour le calcul de l'acidité sauf que l'expression C_{H+} change en C_{OH-} et on aura : $COH^- = \frac{n}{V(l)}$

avec COH^- : concentration en ion OH^-

n : nombre de mole

V(l) : volume en litre de KOH

Aussi pour déterminer les valeurs p et m négatives, la procédure utilisée doit être la même que celle utilisée pour la détermination des valeurs p et m positive.

- Détermination de la capacité d'attacher les acides**Méthodes de détermination**

La solution titrante (acide chlorhydrique 0,1mole/l) est ajoutée goutte à goutte à l'échantillon jusqu'à ce que la couleur de l'indicateur méthylorange change du jaune au rouge. La procédure utilisée est la même que pour la détermination de la valeur m positive.

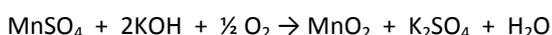
Calcul de l'ABC

Le calcul et le résultat de l'ABC sont les mêmes que la valeur m positive. Aussi, connaissant le nombre de gouttes d'acide chlorhydrique 0,1mole/l nécessaire pour neutraliser 5ml d'échantillon d'eau on calcule l'ABC en mole/l par la relation suivante tirée de Rapid Test Handbook : ABC en mole/l = nombre de gouttes X 0,25

- Détermination de l'oxygène dissous dans l'eau**Méthode d'analyse**

La méthode utilisée est basée sur le titrage Winkler appelé méthode de Winkler et dont le principe est repris ci-dessous :

En milieu alcalin l'ion manganeux Mn^{2+} est oxydé en MnO_2 par 1/2mole de molécule d'oxygène. Les ions non oxydés se combinent aux ions hydroxyles pour former l'hydroxyde de manganèse $Mn(OH)_2$



blanc



En milieu acide le MnO₂ et le Mn(OH)₂ sont dissous. Ce qui entraîne l'oxydation des ions iodures I⁻ en iode libre I₂ dont l'intensité de la coloration est fonction de la quantité de l'oxygène dans l'eau.



La quantité d'iode formé étant proportionnelle à celle de l'oxygène dissous, on titre l'iode par le thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur.



Mode opératoire

100ml d'échantillon d'eau sont mis dans un erlenmeyer de 150ml. A l'aide d'une pipette graduée 2ml de la solution MnSO₄ sont ajoutés, puis 2ml de la solution alcaline de KI dans ce fiole.

Après avoir agité la solution, laisser reposer pendant 10minutes et il se forme un précipité. Dissoudre le précipité par l'ajout de 2,5ml de H₂SO₄ concentré au mélange. Il apparaît dans l'erlenmeyer une coloration jaunâtre due à l'iode. Après dissolution, 2 ou 3 gouttes d'empois d'amidon sont ajoutés et la solution est titrée par le Na₂S₂O₃ 0,025 normal trouvé dans la burette jusqu'à ce qu'elle se décolore. Chaque ml de Na₂S₂O₃ utilisé pour décolorer la solution correspond à 0,2mg/l d'oxygène.

Après avoir trouvé la teneur d'oxygène dissous il y a lieu de déterminer le déficit en oxygène et le pourcentage de saturation. Le déficit en oxygène est la différence entre la quantité d'oxygène présente dans un certain volume d'eau et la quantité maximale que ce même volume d'eau peut dissoudre à une température et à la pression atmosphérique de 760mm de Hg. Cette quantité est donnée dans des tables, mais peut aussi calculée par la formule :

$$\text{O}_2(\text{mg/l}) = \frac{473}{33+T(^{\circ}\text{C})}$$

Le pourcentage de saturation est le rapport entre ces deux quantités d'oxygène.

- Détermination de la demande biologique en oxygène

La demande biologique en oxygène utilise pour sa détermination les mêmes matériels et réactifs que ceux employés pour le dosage de l'oxygène dissous sauf que on ajoute des cartons pour incubation des échantillons.

Elle est calculée comme la différence entre les quantités de l'oxygène dissous de l'eau testée directement après échantillonnage et après une période de consommation ou d'incubation de 2 ou 5 jours. Après la détermination du contenu initiale de l'eau en oxygène, rincer la bouteille complètement, remplir encore une fois jusqu'au bord et refermer en empêchant toute bulle d'air. Laisser le tout pendant 5 jours dans une place sombre à température ambiante et ensuite recalculer le contenu en oxygène. La demande en oxygène est alors la différence entre le contenu en oxygène avant et après incubation et est exprimé en mg/l d'oxygène.

$$\text{Calcul : DBO}_5 = \text{OD}_0 - \text{OD}_5$$

Avec : DBO₅ : demande biologique en oxygène pendant 5 jours

OD₀ : oxygène dissous avant incubation

OD₅ : oxygène dissous après 5 jours d'incubation

- Détermination de la demande chimique en oxygène.

Mode opératoire

Deux erlenmeyer de 300ml sont remplis d'eau, l'un d'eux est incubé à l'obscurité à la température ambiante pendant deux heures. L'oxygène dissous est dosé dans l'autre flacon. Le dosage se fait de la manière suivante : à 100ml d'échantillon d'eau on ajoute 10ml de solution de H₂SO₄ concentré à 33%, puis 10ml de KMnO₄ 0,01mole/l. Après avoir porté à l'ébullition et refroidi la solution, un excès de sulfate de fer (II) est ajouté pour décomposer le KMnO₄ non réduit jusqu'à la décoloration de cette solution. Le titrage en retour avec le KMnO₄ est ensuite effectué jusqu'à la coloration rose légère. La valeur de l'oxygène dissous est telle que 2ml de KMnO₄ donnent 5mg/l d'oxygène naissant. Au terme de cette opération, le taux d'oxygène dissous dans le flacon soumis à l'incubation est à nouveau mesuré.

Calcul

La demande chimique en oxygène est la différence entre la teneur d'oxygène naissant avant et après incubation.

Tableau 7. Résultats des analyses pendant la période non pluvieuse

SITE	DATE ET HEURE	T°C ambiante	T°C de l'eau	pH	ALCALI NITE		ABC mmole/l	ACIDITE	OD ₀ mg/l	OD ₅ mg/l	DBO ₅ mg/l	DC ₀ mg/l
					+m	+p						
SNCC	Samedi 10.08 13h30	28	23	8-8,5	0,512	0,0733	0,512	0	2,92	1,54	4,53	3,17
BRALIMA	Lundi 12.08 12h45	26,5	23	7,5-8	0,715	0,11	0,715	0	4,84	1,13	3,71	2
PHARMAKINA	Lundi 12.08 13h30	27,5	23	8-8,5	0,973	0,1683	0,973	0	4,31	0,26	4,05	3
BWINDI	Mardi 13.08 12h10	28,5	24	8-8,5	0,745	0,095	0,745	0	4,84	0,53	4,31	1,67
KAZINGO	Mardi 13.08 14h00	28	22	7,5 -8	0,635	0,067	0,635	0	3,4	0,34	3,06	2,75
RUZIZI	Vendredi 16.08 13h10	27	23,5	7,5-8	0,87	0,0683	0,87	0	2,63	0,1	2,53	2,18
EAU DE LARGE	Mardi 27.08 12h20	30	22	8-8,5	1,215	0,1633	1,215	0	8,53	7,38	1,15	0,69

Tableau 8 : Résultats des analyses pendant la période pluvieuse

SITE	DATE ET HEURE	T°C ambiante	T°C de l'eau	pH	ALCALI NITE		ABC mmole/l	ACIDITE	OD ₀ mg/l	OD ₅ mg/l	DBO ₅ mg/l	DC ₀ mg/l
					+m	+p						
SNCC	Mercredi 04.09 13h00	28	24	7,5-8	0,247	0,04	0,247	0	5,03	0,2	4,83	2,94
BRALIMA	Jeudi 05.09 13h00	30	24	7,5-8	0,222	0,103	0,222	0	6,61	1,93	4,68	1,31
PHARMAKINA	Jeudi 05.09 14h40	28	24	8,5-9	0,227	0,0783	0,227	0	6,48	1,78	4,70	2,13
BWINDI	Mardi 10.09 12h40	27	23	7,5-8	0,1983	0,067	0,1983	0	5,33	1,83	3,50	1,06
KAZINGO	Mardi 10.09 14h20	26	23	7,5-8	0,137	0,02	0,137	0	5,26	1,64	3,62	1,63
RUZIZI	Mercredi 11.09 13h15	28	23,5	7,5-8	0,218	0,03	0,218	0	3,21	0,55	2,66	2,08
EAU DE LARGE	Jeudi 12.09 13h40	26,5	23	8,5-9	0,422	0,088	0,422	0	9,04	7,63	1,41	0,38

T°C : Température en °C

ABC : Acid Binding Capacity (Capacité d'Attacher les Acides)

OD₀ : Oxygène dissous avant incubation

OD₅ : Oxygène dissous après 5 jours d'incubation

DB₅ : Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats de notre étude sont présentés dans les tableaux 7 et 8 donnant respectivement les résultats des analyses durant la saison non pluvieuse et ceux pendant la période pluvieuse. Ces résultats montrent une certaine différence entre ces deux périodes. Cette différence est due entre autre facteurs à la pluie qui entraîne avec elle le CO₂ atmosphérique, les matières organiques, ...

La Température

Les résultats relatifs à la température montrent qu'au niveau du lac la température varie entre 22°C et 24°C pour la période non pluvieuse et entre 23°C et 24°C pour la période pluvieuse. Ceci laisse voir que la pluie n'a pas modifié le bilan thermique de l'eau. Cependant, il y a un écart entre les températures ambiantes et les températures de l'eau. Ceci explique la régulation du climat par le lac Kivu.

Le pH

Le pH est un paramètre qui renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Les pH les plus favorables à la vie aquatique se situent entre 7 et 8,5 [13]. Toute augmentation ou diminution excessive entraîne des modifications portant sur l'équilibre ionique, la productivité et la biocénose de l'écosystème.

Les valeurs de pH consignées dans les tableaux montrent que ce dernier est compris entre 7,5 et 8,8 pour la période non pluvieuse et entre 7,5 et 9 pour la période pluvieuse. Pour la période non pluvieuse les valeurs de pH se situent dans l'intervalle des valeurs favorables à la vie aquatique. Pour la période pluvieuse, les valeurs de pH sont aussi dans l'intervalle des valeurs admissibles, mais les valeurs limites des sites PHARMAKINA et le large ne sont pas comprises entre les limites des pH admissibles. Ce qui laisse voir que dans une certaine mesure les eaux du lac pour les sites sont polluées.

Oxygène dissous

Les résultats de l'oxygène dissous, un élément indispensable pour les organismes aquatiques pour l'accomplissement de leurs fonctions vitales, montrent que :

- Pendant la période non pluvieuse la teneur de l'oxygène dissous varie entre 2,63mg/l et 4,84mg/l pour les sites et elle est de 8,53mg/l pour l'échantillon témoin. La valeur du site SNCC est la plus faible sur le lac, mais vient avant la rivière Ruzizi. Par ordre croissant des teneurs en oxygène dissous nous classons nos sites de la manière suivante : RUZIZI, SNCC, KAZINGO, BWINDI, PHARMAKINA, BRALIMA, et en fin EAU DU LARGE.
- Pendant la période pluvieuse la teneur de l'oxygène dissous varie entre 3,21mg/l valeur de la Ruzizi et 6,61mg/l valeur du site BRALIMA et elle est de 9,04 pour l'échantillon témoin. Par ordre croissant des teneurs en oxygène dissous nous avons : RUZIZI, SNCC, KAZINGO, BWINDI, PHARMAKINA, BRALIMA, et en fin EAU DE LARGE.

En confrontant ces résultats à la valeurs d'au moins 5mg/l d'oxygène dissous, limite admissible pour un milieu aquatique prospère, nous trouvons que pendant la période non pluvieuse seule l'eau du large a une valeur supérieure et que les six sites prospectés sont donc jugé pollués. Cela nous laisse voir que dans ces eaux les microbes aérobies décomposeurs ne trouvent pas assez d'oxygène pour réaliser leur travail de dégradation et les organismes aquatiques diminuent. On peut penser que les microbes anaérobies ou pyogènes tendent à apparaître à cause de cette situation. Aussi les résultats montrent que sur le lac le site SNCC est plus pollué et ensuite vient le site de KAZINGO, PHARMAKINA, et enfin BRALIMA et BWINDI.

Cependant, les résultats de l'oxygène dissous consignés dans le tableau 8 montrent que parmi les sites étudiés seule la rivière Ruzizi est polluée avec une valeur de 3,21mg/l d'oxygène dissous. Les valeurs des sites se trouvant sur le lac nous montrent que les microbes décomposeurs aérobies sont nombreux et exercent leurs activités de dégradation comme il se doit. Mais force est de signaler que comme l'oxygène dissous diminue avec la profondeur nous supposons que ces sites sont pollués dans les eaux de profondeur.

La DBO₅ et OD₅

En analysant les résultats de l'oxygène dissous après 5 jours de consommation (OD₅) et de la demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO₅) nous remarquons que les valeurs de 6 sites sont toutes inférieures à 2mg/l valeur exigée pour une eau propice et les valeurs varient entre 0 et 1,13 pour la période non pluvieuse et entre 0,2 et 1,03 pour la période pluvieuse. Ainsi, nous référant aux valeurs de OD₅ les eaux de six sites prospectés sont polluées. En terme de pollution, le site SNCC est plus pollué et viennent en suite la rivière RUZIZI, KAZINGO, PHARMAKINA, BWINDI et en fin BRALIMA.

En regardant la DBO₅, pour les sites SNCC, BWINDI, PHARMAKINA, BRALIMA et KAZINGO nous enregistrons des valeurs plus élevées. Cela indique que les eaux à ces niveaux renferment plus de matières organiques. Aux sites RUZIZI et EAUX DE LARGE cette DBO₅ est en baisse. Cette diminution peut être expliquée par l'épuration ou par des mouvements que ces eaux subissent au cours de leurs parcours.

La demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats relatifs à la DCO montrent qu'elle varie entre 1,67 et 3,17mg/l pour les analyses de la période non pluvieuse et entre 1,06 et 2,94 pour les analyses pendant la période pluvieuse. Pour l'échantillon témoin, elle est de 0,69mg/l dans la période non pluvieuse et de 0,38mg/l dans la période pluvieuse.

Au niveau du lac, le site de la SNCC présente la plus grande valeur et BWINDI présente la plus faible valeur durant la période non pluvieuse et le site de la SNCC présente la plus grande valeur, et BRALIMA la plus faible valeur pendant la période pluvieuse. Les valeurs élevées de la DCO montrent qu'il y a beaucoup des matières organiques réductrices dans ces sites par rapport aux sites aux valeurs faibles. Ceci nous conduit à dire qu'en termes de pollution le site de la SNCC est la plus pollué.

Valeurs +m, +p et ABC

Les valeurs de +m et d'ABC au niveau du lac varient entre 0,512mmole/l et 0,073mmole/l. Elles sont de 0,87mmole/l au niveau de la RUZIZI et 1,215mmole/l pour les eaux de large et cela pendant la période non pluvieuse. Pour la période pluvieuse les valeurs de +m et d'ABC varient entre 0,137mmole /l et 0,247mmole/l pour les sites du littoral du lac, et pour la Ruzizi et l'eau de large elles sont de 0,218mmole/l et 0,422mmole/l respectivement.

Les valeurs de l'ABC pendant la période non pluvieuse sont incluses dans l'intervalle 0,5-1,5 de l'ABC en mmole/l, intervalle jugé de manière modérée viable vis-à-vis de la qualité de l'eau. En analysant ces valeurs nous remarquons que l'ordre décroissant dans l'intervalle modéré viable de nos site est : EAU DE LARGE, PHARMAKINA, RUZIZI, BWINDI, BRALIMA, KAZINGO, et enfin SNCC.

Pendant la période pluvieuse tous nos sites ont des valeurs d'ABC comprises dans l'intervalle 0 – 0,5mmole/l d'ABC jugé pauvre vis-à- vis de la viabilité de l'eau et par ordre décroissant de viabilité nous avons : EAU DE LARGE, SNCC, PHARMAKINA, BRALIMA, RUZIZI, BWINDI, et enfin KAZINGO.

Les valeurs +p de nos sites sont comprises pendant la période non pluvieuse entre 0,67 et 0,1633mmole/l au niveau du littoral du lac ; 0,0683mmole/l pour la RUZIZI et 0,1633mmole/l pour les EAUX DE LARGE. Pendant la période pluvieuse ces valeurs sont entre 0,02mmole/l et 0,103mmole/l au niveau du littoral du lac ; 0,03mmole/l au niveau de la RUZIZI et 0,088mmole/l pour les EAUX DE LARGE. Les valeurs +m et +p nous indiquent que dans les eaux du lac Kivu il y a plus d'ions carbonates, bicarbonates, hydroxydes, ... que le CO₂ libre ; et que les déchets qui y sont déversés sont alcalins.

En considérant les paramètres étudiés nous pouvons dire que les eaux littorales du lac Kivu ; bassin de Bukavu et précisément dans les différents sites prospectés sont polluées. En analysant les résultats par site sur le lac, nous pouvons conclure ce qui suit : le site de la SNCC est le plus pollué, viennent ensuite le site de la PHARMAKINA, KAZINGO, BWINDI, et le site de la BRALIMA qui semblent être pollués au même degré. Il est aussi à signaler que la rivière RUZIZI est également polluée.

CONCLUSION

Le présent travail consistait à évaluer le degré de pollution des eaux du lac Kivu dans le bassin de Bukavu.

Après analyse des résultats obtenus dans les sites nous pouvons tirer des conclusions suivantes :

- La température de l'eau du lac Kivu varie entre 22°C et 24°C et elle est en moyenne de 23°C pour la période choisie ;
- Le pH de l'eau se situe dans les intervalles 7,5 – 9 valeurs admissibles pour une eau propice à la vie aquatique ;
- Les eaux du lac Kivu sont alcalines ;
- Pendant la période non pluvieuse, elles sont d'une manière modérée viables et durant la période pluvieuse, elles sont pauvres du point de vue viabilité de l'eau.
- L'oxygène dissous varie entre 2,92mg/l et 4,84mg/l au niveau du littoral du lac, il est de 2,63mg/l pour la Ruzizi pendant la période non pluvieuse. Ces valeurs sont inférieures à 5mg/l, valeurs admises pour une bonne vie dans le milieu aquatique. Durant la période pluvieuse, les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 5,03 et 6,61mg/l pour le littoral du lac Kivu, il est de 3,21mg/l, pour la rivière Ruzizi. Ces valeurs sont dans les limites admissibles sauf pour la Ruzizi. Durant les périodes non pluvieuses et pluvieuses, les eaux de large ont respectivement 8,53 et 9,04mg/l d'oxygène dissous ;

- L'oxygène dissous après 5 jours d'incubation à la température ambiante varie entre 0 et 1,13mg/l pour la période non pluvieuse et elle est comprise entre 0,2 et 1,93mg/l pour la période pluvieuse et cela pour tous les sites excepté les eaux du large avec 7,38mg/l et 7,63mg/l ;
- La demande biologique en oxygène en 5 jours se situe entre 1,15 et 4,83mg/l pour le lac, et entre 2,53 et 2,66mg/l pour la Ruzizi ;
- Les valeurs de la demande chimique en oxygène entre 0,38 et 3,17mg/l pour le lac et entre 2,08 et 2,18mg/l pour la Ruzizi ;
- L'ordre décroissant de la pollution de nos sites sur le littoral du lac est : SNCC, PHARMAKINA, KAZINGO, viennent enfin BRALIMA et BWINDI.

Eu égard à ce qui précède nous pouvons dire que les eaux littorales du lac Kivu, bassin de Bukavu sont polluées. Nous suggérons donc une éducation des personnes sur la lutte contre la pollution et une mise au point d'une réglementation en matière de rejets dans le lac Kivu.

Néanmoins il reste à examiner l'influence de la profondeur sur les facteurs chimiques, physico chimiques étudiés, étendre les facteurs selon que les matériels et réactifs seront disponibles.

REMERCIEMENTS

Notre gratitude va tout droit au Comité de Gestion de l'ISEAV Walungu pour la fluidité d'encadrement qu'il nous a accordé autour de ce sujet. A ceux la dont la présence de gaz attireraient l'attention pour approfondir l'étude dans l'optique de produire énergie consommable et engrais.

REFERENCES

- [1] GERARD B. et all., La pollution des mers, Paris, PUF, 1974
- [2] KANINGINI M., Etude de la croissance, de la reproduction et de l'exploitation des *Limnothyrissa miodom* au lac Kivu, bassin de Bukavu, Zaïre, Thèse de Doctorat, FUNDP, Namur, 1995
- [3] IVANOFF et all., Introduction à l'océanographie: propriétés physiques et chimiques des eaux des mers, T1, Ed. Vuibert, Paris, 1974
- [4] MAHY G., Biologie et écologie du lac Kivu, Etudes rwandaises, Vol XII, N°3 du juin 1979
- [5] CHAMAA Mc et all., Atlas de la ville de Bukavu, CERUKI, ISP/BUKAVU, 1981
- [6] HACH, Water analysis Handbook, 1984
- [7] MECK E., Rapid Test Handbook, 1987
- [8] RAMADE F., Elément d'écologie appliquée : action de l'homme sur la biosphère, Ediscience, Mc Graw Hill, Paris, 1974
- [9] RENE Colas, La pollution des eaux, Que sais je, Paris, PUF, 1976
- [10] PESSON P. et all., La pollution des eaux continentales: indices sur les biocénoses aquatiques, Bordas, Paris, 1988