

A project funded by the United Nations Development Programme/Global Environment Facility (UNDP/GEF) and executed by the United Nations Office for Project Services (UNOPS)

ETUDE SPECIALE DES SEDIMENTS
(SedSS)

Rapport Technique Numéro 10

ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN
NORD-OUEST
DU LAC TANGANYIKA

par
KAKOGOZO BOMBI, KAHINDO,
MWENYEMALI ET DRIEU OLIVIER (Edition)

2000

Lutte contre la pollution et autres mesures visant à protéger la biodiversité du Lac Tanganyika

**Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika
(RAF/92/G32)**

Le Projet sur la diversité biologique du lac Tanganyika a été formulé pour aider les quatre Etats riverains (Burundi, Congo, Tanzanie et Zambie) à élaborer un système efficace et durable pour gérer et conserver la diversité biologique du lac Tanganyika dans un avenir prévisible. Il est financé par le GEF (Fonds pour l'environnement mondial) par le biais du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD)''

The Lake Tanganyika Biodiversity Project has been formulated to help the four riparian states (Burundi, Congo, Tanzania and Zambia) produce an effective and sustainable system for managing and conserving the biodiversity of Lake Tanganyika into the foreseeable future. It is funded by the Global Environmental Facility through the United Nations Development Programme.

Burundi: Institut National pour Environnement et Conservation de la Nature
D R Congo: Ministrie Environnement et Conservation de la Nature
Tanzania: Vice President's Office, Division of Environment
Zambia: Environmental Council of Zambia

Enquiries about this publication, or requests for copies should be addressed to:

Project Field Co-ordinator
Lake Tanganyika Biodiversity Project
PO Box 5956
Dar es Salaam, Tanzania

UK Co-ordinator,
Lake Tanganyika Biodiversity Project
Natural Resources Institute
Central Avenue, Chatham, Kent, ME4 4TB, UK

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement Dr Kelly West grâce à qui ce projet a pu fonctionner en particulier en République Démocratique du Congo et au Burundi. Nos remerciements vont également à Dr Menz Coordinateur du Projet et au Dr Graeme Patterson Coordinateur de la branche Spéciale Sédimentation qui ont mis des moyens considérables pour équiper notre Centre après son pillage de 1996.

Nous n'oublions pas également M. Olivier Drieu pour de nombreux conseils, discussions, et commentaires sur le travail, et aussi pour nous avoir appris certaines techniques d'analyses hydrologiques notamment avec l'ordinateur.

KAKOGOZO BOMBI
KAHINDO,
MWENYEMALI

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
CENTRE DE RECHERCHE EN HYDROBIOLOGIE D'UVIRA

MARS 2000

TABLE DES MATIERES

	Page
I. INTRODUCTION	6
II. PRESENTATION DU MILIEU: GENERALITES PHYSIQUES ET GEOLOGIQUES	6
II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	6
II.2. DONNEES GEOLOGIQUES ET PHYSIQUES	6
II.2.1. Les données géologiques	6
II.2.2. Les aspects morphologiques	8
II.2.3. Les caractéristiques climatiques.	8
II.2.4. Végétation et sols	8
II.2.5. Réseau hydrographique	9
II.3. LA POPULATION DE LA REGION ET SES ACTIVITES	11
III. MATERIEL ET METHODES	11
III.1. DEBITS DES RIVIERES	11
III.2. OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES	12
III.3. MATIERES EN SUSPENSION	12
III.4. GRANULOMETRIE	13
III.5. LA PERTE AU FEU	13
III.6. TEMPERATURE DE L'EAU	13
IV. RESULTATS ET DISCUSSION	13
IV.1. TRANSPORT LIQUIDE	13
IV.1.1. Débits liquides	13
IV.1.2. Hauteur d'eau	16
IV.1.3. Jaugeage des rivières et courbes de tarage	16
IV.2. TRANSPORT SOLIDE	17
IV.2.1. Matières en suspension	17
IV.2.2. Courbes des matières en suspension en fonction du débit	19
IV.3. BILAN DES TRANSPORTS LIQUIDE ET SOLIDE	20
IV.4. LA GRANULOMETRIE	25
IV.5. LA PERTE AU FEU	30
IV.6. LA TEMPERATURE	31
V. CONCLUSION	33
<i>Bibliographie</i>	34

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES :

	Page
<i>Figure 1: Structure du Lac Tanganyika : structure et carte géologique d'après Mondenger &al., 1988, Geological World Atlas, UNESCO 1972 (reprise ici)</i>	7
<i>Figure 2: Carte hydrographique du bassin nord du Lac Tanganyika</i>	9
<i>Figure 3: Quelques pierres et une barre résultant du passage d'une crue. Rivière Kalimabenge, Uvira, Juin 1999.</i>	10
<i>Figure 4: L'équipe du CRH Uvira chargée de l'Etude Spéciale des Sédiments sur le terrain pour la prise de mesures sur la rivière Mulongwe, Uvira, Juin 1999.</i>	10
<i>Figure 5: La rivière Kavimvira, Uvira, Juin 1999.</i>	11
<i>Figure 6: Variations saisonnières du débit et de la concentration des matières en suspension dans les eaux des rivières Kalimabenge (a), Mulongwe (b) et Kavimvira (c).</i>	14-15
<i>Figure 7: Forte crue du 8 mars 1999 de la rivière Mulongwe. Ce véhicule de grande taille a été emporté par les flots et a été partiellement englouti.</i>	15
<i>Figure 8: Courbes de tarage des rivières Kalimabenge (a), Mulongwe (b) et Kavimvira (c).</i>	16-17
<i>Figure 9: Relations entre les matières en suspension et les débits pour la Kalimabenge (a), la Mulongwe (b) et la Kavimvira (c).</i>	19-20
<i>Figure 10: Variations journalières de la hauteur d'eau, des débits liquide et solide de la rivière Kalimabenge pendant la période d'observation.</i>	22
<i>Figure 11: Variations journalières de la hauteur d'eau, des débits liquide et solide de la rivière Mulongwe pendant la période d'observation.</i>	23
<i>Figure 12: Variations journalières de la hauteur d'eau, des débits liquide et solide de la rivière Kavimvira pendant la période d'observation.</i>	24
<i>Figure 13: Variations saisonnières de la répartition granulométrique à l'embouchure de la rivière Kalimabenge</i>	26
<i>Figure 14: Variations saisonnières de la courbe granulométrique à l'embouchure de la rivière Kalimabenge.</i>	26
<i>Figure 15: Variations saisonnières de la répartition granulométrique à l'embouchure de la rivière Mulongwe.</i>	27
<i>Figure 16: Variations saisonnières de la courbe granulométrique à l'embouchure de la rivière Mulongwe.</i>	27
<i>Figure 17: Variations saisonnières de la répartition granulométrique à l'embouchure de la rivière Kavimvira.</i>	28
<i>Figure 18: Variations saisonnières de la courbe granulométrique à l'embouchure de la rivière Kavimvira.</i>	28
<i>Figure 19: Variations saisonnières de la température de l'eau des rivières Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira.</i>	32

TABLEAUX :

	Page
<i>Tableau 1: Classes granulométriques des sédiments des embouchures (en %).</i>	29
<i>Tableau 2: Taux de concentration des matières organiques dans les sédiments (en pourcentage).</i>	30

LISTE DES ANNEXES

	Page
<i>Tableau 1 a: Données pour la rivière Kalimabenge</i>	35
<i>Tableau 1 b: Données pour la rivière Mulongwe</i>	36
<i>Tableau 1 c: Données pour la rivière Kavimvira</i>	37
<i>Tableau 2 a: Débits liquides moyens journaliers et mensuels en m³/s pour la rivière Kalimabenge</i>	38
<i>Tableau 2 b: Débits liquides moyens journaliers et mensuels en m³/s pour la rivière Mulongwe</i>	39
<i>Tableau 2 c: Débits liquides moyens journaliers et mensuels en m³/s pour la rivière Kavimvira</i>	40
<i>Tableau 3 a: Débits solides moyens journaliers et mensuels en tonnes par jour pour la rivière Kalimabenge</i>	41
<i>Tableau 3 b: Débits solides moyens journaliers et mensuels en tonnes par jour pour la rivière Mulongwe</i>	42
<i>Tableau 3 c: Débits solides moyens journaliers et mensuels en tonnes par jour pour la rivière Kavimvira</i>	43
<i>Tableau 4: Principales caractéristiques hydrologiques des rivières Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira.</i>	44

I. INTRODUCTION.

Cette étude, commencée d'une manière préliminaire en 1994 lors du projet ECOTONE dont Drs Gaspard Ntakimazi et Bosco Gashagaza étaient les responsables et s'est poursuivie en 1995 dans le cadre du projet intitulé «Lutte contre la pollution et autres mesures pour protéger la biodiversité du lac Tanganyika» ou plus connu sous le nom de «Projet sur la Biodiversité du Lac Tanganyika» financé le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM – GEF). Cette étude a été reprise de façon très active depuis février 1999 dans le cadre de ce projet régional en collaboration avec le Centre de Recherche en Hydrobiologie d'Uvira et continue jusqu'à présent.

De février 1999 à mars 2000, des recherches sur les débits liquides, les matières en suspension, et les caractéristiques des dépôts dans les lits de trois rivières (Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira) situées dans l'extrême de la partie nord-ouest du Lac Tanganyika, ont été menées par une équipe de chercheurs du Centre de Recherche en Hydrobiologie d'Uvira.

Les objectifs principaux de cette partie de l'Etude Spéciale des Sédiments étaient :

- Quantification des sédiments qui entrent actuellement dans le lac avec une indication des variations saisonnières.
- Introduire un jaugeage de la rivière dans un certain nombre de zones spécifiques afin de comprendre la quantité et le caractère saisonnier de l'entrée des sédiments.
- Déterminer la nature et les caractères de sédimentation aux embouchures.

Ce rapport donne les résultats principaux obtenus pendant cette période d'étude.

II. PRESENTATION DU MILIEU: GENERALITES PHYSIQUES ET GEOLOGIQUES.

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Compris entre 03°20' et 04°20' de latitude Sud, et 29° et 29°30' de longitude Est, le bassin nord-ouest du lac Tanganyika, limité au nord par la plaine de la Ruzizi et au sud par la baie de Burton, est une vaste zone qui englobe, à l'ouest les versants des monts Mitumba et à l'est le lac Tanganyika. Administrativement, le bassin intéresse les territoires ruraux d'Uvira et de Fizi.

II.2. DONNEES GEOLOGIQUES ET PHYSIQUES

II.2.1. Les données géologiques

La géologie du bassin versant nord-ouest du lac Tanganyika s'inscrit dans la géologie de la branche occidentale du lac Tanganyika, caractérisée par des affleurements des roches très anciennes (Précambrien) et très récentes (Quaternaire).

D'après Le Personne *in Direction de Géologie (1974)*, la formation la plus ancienne serait logiquement celle représentée par les roches métamorphiques du Burundien comprenant les gneiss, quartzites, micaschistes, amphibolites, schistes, granites.

Les quartzites sont les plus abondants à Uvira, ce sont des roches dures et compactes, à grains fins d'aspect hétérogène, et de teinte variable: tantôt gris à gris sombre, d'aspect plus homogène, tantôt blanchâtre zonaires, plissotées, à monchetures, et tantôt schisteux gris-pâle. Les micaschistes sont

des roches à très grande proportion de micas. Les amphibolites quant à elles, sont des roches massives et dures, de teinte noire (prédominance de grains noirs auxquels sont mêlés de grains blancs) traversées par endroits de veinules blanches irrégulières.

Ces affleurements de quelques roches granitiques appartenant au Précambrien apparaissent par endroits.

Quant aux formations du Quaternaire, on peut distinguer:

- Les alluvions anciennes sablo-graveleux, avec les grands blocs des roches précambriennes, affleurant dans les cônes de déjection.
- Les diverses formations du delta de la Ruzizi
- Les dépôts de la plage actuelle (Ilunga Lutumba)

La *figure 1* qui suit montre la structure du lac Tanganyika : structure et carte géologique

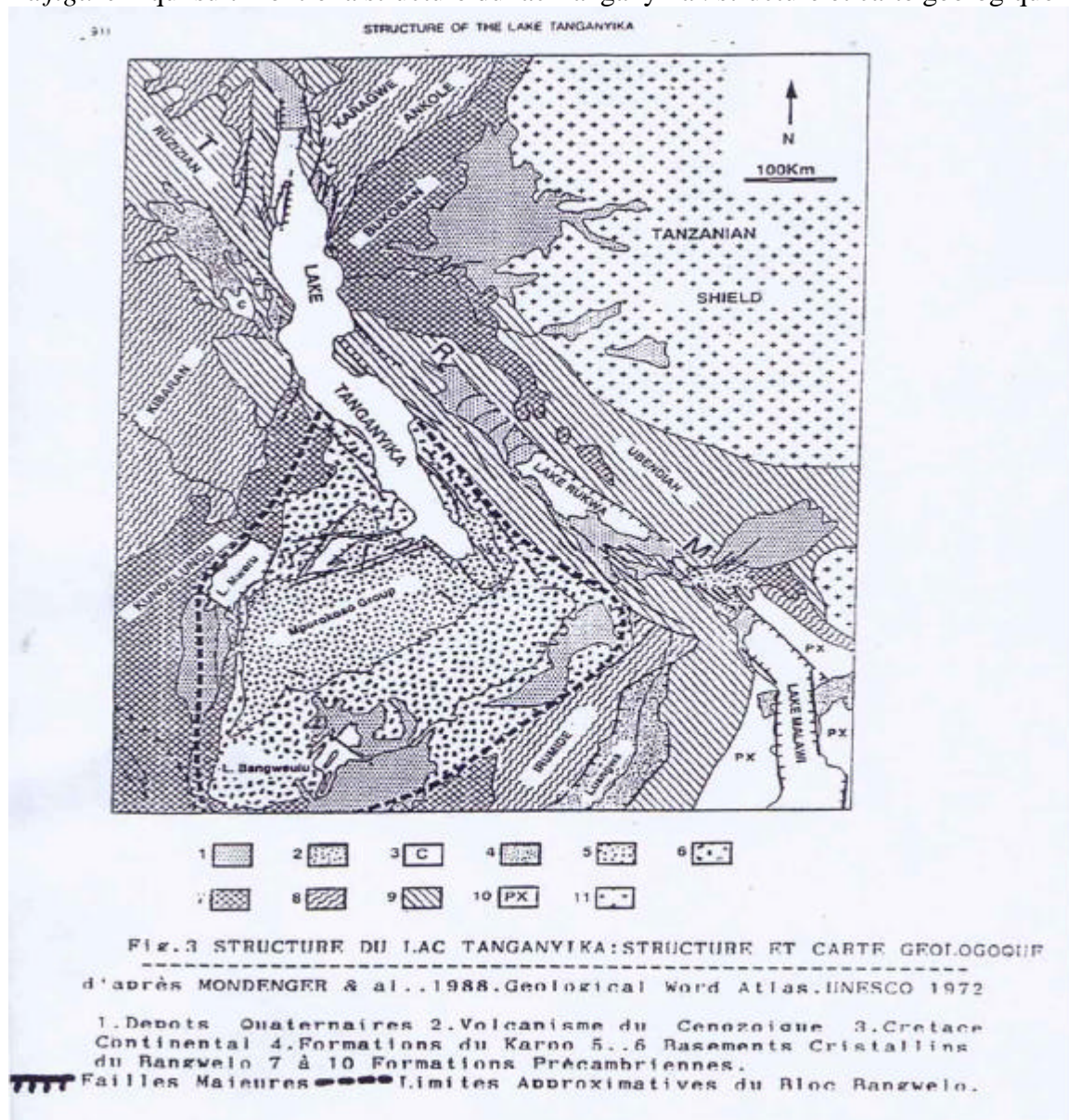


Figure 1 : Structure du Lac Tanganyika : structure et carte géologique d'après Mondenger & al., 1988, Geological World Atlas, UNESCO 1972 (reprise ici)

II.2.2. Les aspects morphologiques

Le bassin versant nord-ouest du lac Tanganyika est situé dans la partie médiane du grand graben Centre-africain dans lequel nous trouvons au sud le lac Nyassa (lac Malawi) et au nord les lacs Kivu, Idi Amin (lac Edouard) et Mobutu (lac Albert).

Ce bassin est caractérisé par deux ensembles morphologiques : la plaine littorale et le versant oriental des monts Mitumba.

- La plaine littorale est située à plus de 773 m d'altitude par rapport au niveau de la mer. Cette plaine est très étroite et à une direction parallèle de la ligne côtière. Elle est dominée par des cônes de déjection correspondant souvent aux dépôts de 3 rivières. La plage représente une formation sableuse et sinueuse de largeur variable. La disposition des matériaux y est également variable, tantôt les eaux du lac touchent directement le sable de la plage, tantôt un « pavage » de galets ou graviers s'interpose entre les deux. (Rugambwa, cité par Kahindo N 1987).
- Le versant oriental des monts Mitumba : d'une façon générale, le relief de la région d'Uvira s'élève progressivement de l'est vers l'ouest où il atteint plus de 2500 m d'altitude à certains endroits. Cet ensemble montagneux formé des roches métamorphiques du Burundien se relie à la plaine littorale par un escarpement de faille d'environ 1000 m de hauteur. En effet, la dorsale de Mitumba, l'escarpement et les cônes de déjection sont entaillées par les cours d'eau impétueux, formant ainsi des vallées très encaissées surtout au niveau de l'escarpement.

II.2.3. Les caractéristiques climatiques.

Le climat est de type tropical humide caractérisé par une alternance de saisons humides et sèches. Une grande saison des pluies qui s'étend généralement de février à mai précède la grande saison sèche qui s'étend de juin à septembre la plupart des années. La petite saison des pluies est observée durant les mois d'octobre et novembre, et la petite saison sèche au cours des mois de décembre et janvier.

La pluviosité moyenne annuelle est de ± 800 mm et la température moyenne annuelle de l'air est à peu près à 24°C.

Des vents réguliers et permanents soufflent principalement dans deux grandes directions nord – nord-ouest à nord – nord-est et sud – sud-est au sud.

II.2.4. Végétation et sols

- La végétation de la région présente deux domaines :
 - L'ouest dominé par de hauts reliefs est caractérisé par la savane herbeuse et parfois par la forêt-galerie le long des rivières ;
 - La partie orientale où la végétation a été dégradée récemment par l'homme (construction de maisons et pâturages) est caractérisée par des marais et prairies mouilleuses (domaine de plages sableuses périodiquement inondées). On observe dans la partie de plaine la domination d'une association à *acacia néfasia* colonisant les dépôts alluvionnaires.
- Les sols de la région sont des sols dérivés des roches du Précambrien, des alluvions lacustres anciennes et des alluvions fluviales récentes :
 - Les sols dérivés des roches précambriennes correspondent à une grande unité qui est celle des kaolisols;
 - les sols dérivés des alluvions lacustres sont des sols légèrement salins et riches en bicarbonates ;
 - les sols dérivés des alluvions fluviales récentes sont de sols constitués des matériaux stratifiés et de composition granulométrique très variées.

Compte tenu de la situation d'insécurité dans le pays, de l'impraticabilité de l'axe routier Uvira-Baraka pendant la saison des pluies, trois rivières facilement accessibles à partir de notre Centre à savoir la rivière Kalimabenge (*figure 3*), la rivière Mulongwe (*figure 4*) et la rivière Kavimvira (*figure 5*) ont été retenues pour mener cette étude.

Leurs longueurs sont variables : la Kalimabenge a une longueur de 22 km, la Mulongwe 25.5 km et la Kavimvira 17.5 km (d'après Krzystof Grzybowski 1984).

Trois stations limnimétriques furent installées dans le bassin en novembre 1999, elles sont toutes dans la zone d'Uvira.

Les coordonnées géographiques des 3 stations sont:

Kalimabenge : 03°24'41'' S et 29°08'04'' E

Mulongwe : 03°22'37'' S et 29°08'37'' E

Kavimvira : 03°21'25'' S et 29°09'28'' E.



Figure 3: Quelques pierres et une barre résultant du passage d'une crue. Rivière Kalimabenge, Uvira, Juin 1999.



Figure 4 : L'équipe du CRH Uvira chargée de l'Etude Spéciale des Sédiments sur le terrain pour la prise de mesures sur la rivière Mulongwe, Uvira, Juin 1999.



Figure 5 : la rivière Kavimvira, Uvira, Juin 1999.

II.3. LA POPULATION DE LA REGION ET SES ACTIVITES

La région nord-ouest du lac Tanganyika est habitée par un peuple multi-ethniques dont la population est à 314 951 habitants réparti sur une superficie de 3 148 km² pour le territoire d'Uvira (*Rapport annuel 1999 de l'Etat-Civil du territoire d'Uvira*). On y trouve les Bafuliru, Bavira, Banyindu, Babembe et les Tutsi.

La majorité de la population se concentre dans la plaine de la Ruzizi et le long du lac où elle mène diverses activités: agriculture, pêche, élevage, commerce et autres activités tertiaires (administration, ...). Par contre, dans les montagnes, la population est moins dense et s'occupe de l'agriculture (cas des populations bantoues) et de l'élevage (surtout chez les Tutsi).

Il faut noter également qu'une bonne partie de la population d'Uvira exerçant une activité tertiaire pratique aussi l'agriculture et l'élevage sur les versants surplombant la ville.

III. MATERIEL ET METHODES

Depuis février 1999, des mesures et échantillonnages sont effectués sur chacune des trois rivières ainsi qu'à leur embouchure une fois tous les quinze jours et exceptionnellement après une forte pluie.

III.1. DEBITS DES RIVIERES

Deux méthodes (flotteur et 6/10 avec le micro-moulinet) ont été utilisées en se basant sur les mêmes principes pour la mesure des paramètres suivants: la largeur, la profondeur moyenne et la vitesse moyenne de la section.

La largeur fut mesurée à l'aide d'un décamètre et la profondeur d'eau a été mesurée à des intervalles réguliers et égaux par une latte graduée en millimètres.

La méthode du flotteur consiste à choisir sur une partie de la rivière deux repères A et B séparés d'au moins 25 m. Pour déterminer la vitesse à la surface, on lance dans l'eau en amont du repère B la pièce de tennis et à l'aide du chronomètre, on note le temps de passage au repère B puis au repère A

afin de déterminer le temps de parcours entre les deux repères. Afin d'obtenir une vitesse de surface moyenne relativement précise, il est nécessaire d'effectuer plusieurs mesures à différents points de la section.

Les débits liquides des rivières sont calculés en faisant le produit de la valeur de l'aire de la section transversale, de la moyenne des vitesses d'eau à la surface et du coefficient 0,7 appliqué pour les rivières de plus ou moins un mètre de profondeur.

Pour le micro-moulinet, on introduit l'appareil le long d'une verticale dont la hauteur d'eau (h) est connue à 0.6*h m de profondeur et on enregistre le nombre de tours par minute effectué par le micro-moulinet. On calcule ensuite la vitesse d'écoulement selon ma formule :

$V = (0.000854N) + 0.05$ en m/s avec N = nombre de tours par minute.

La surface de la section mouillée transversale est calculée en considérant qu'entre chaque verticale se trouvent un rectangle et un triangle dont les formules pour le calcul de l'aire sont :

Aire du rectangle = base * demi-hauteur

Aire du triangle = longueur * largeur

Le débit liquide est obtenu en faisant la multiplication entre la surface de la section transversale et la vitesse d'écoulement.

III.2. OBSERVATIONS LIMNIMÉTRIQUES

L'installation des échelles limnimétriques sur les trois stations étudiées s'est achevée à la fin du mois de novembre 1999. Les relevés de la hauteur d'eau des rivières sont effectués trois fois par jour (07h00, 12h00 et 18h00), les lectures sont faites à 1 cm près et la hauteur moyenne pondérée journalière est obtenue en appliquant la formule suivante :

Hauteur moyenne pondérée = $[(7 h_1 + 12 h) * 5/2 + (12 h + 18 h) * 6/2 + (18 h + 7 h_2) * 13/2] / 24$
où

7 h₁ = lecture faite à 7 h le jour j

12 h = lecture faite à 12 h le jour j

18 h = lecture faite à 18 h le jour j

7 h₂ = lecture faite à 7 h le jour (j + 1)

- Station de Kalimabenge: l'échelle est implantée en amont immédiat du pont routier de l'axe Uvira-Baraka. Le zéro est calé à 813,87 m d'altitude par rapport au niveau de la mer.
- Station de Mulongwe: l'échelle est implantée à l'aval immédiat du pont routier de l'axe Uvira-Bukavu. Le zéro est calé à 781,16 m d'altitude par rapport au niveau de la mer.
- Station de Kavimvira: l'échelle est implantée à environ 50 m en aval du pont routier de l'axe Uvira-Bukavu. Le zéro est calé à 777,60 m d'altitude par rapport au niveau de la mer.

III.3. MATIÈRES EN SUSPENSION

Sur le terrain, des échantillons d'eau des rivières ont été prélevés à l'aide des bouteilles d'échantillonnage d'un litre de contenance, à l'embouchure dans le lac et à la station, en plaçant ces bouteilles perpendiculairement à l'écoulement d'eau à environ une trentaine de cm sous la surface.

Dans le laboratoire, chaque échantillon d'un litre d'eau a été filtré sur papier-filtre (Whatman GF/C), de diamètre 0.45 µm grâce à une pompe à vide et analysé par la méthode gravimétrique. Les filtres sont pesés avant la filtration sur une balance de précision de ± 0.01 g. Ensuite, le papier et son contenu sont séchés dans l'étuve à 45° C pendant environ 15 heures avant d'être peser de nouveau.

La masse totale des matières en suspension sur les filtres est déterminée en soustrayant la masse après filtration de la masse avant filtration.

III.4. GRANULOMETRIE

Les échantillons de sables sont prélevés à l'aide d'une pelle à l'embouchure dans le lac de chacune des trois rivières. Au laboratoire 300 g de sable sont séchés dans l'étuve pendant 24 heures, à 45°C. Puis pesés et soumis au tamisage à sec pendant plus ou moins 15 minutes. Enfin, après tamisage, on pèse chaque fraction retenue sur chaque tamis.

Après tamisage et filtrage des échantillons, les sédiments retenus ont été observés à l'aide d'une loupe en vue de déterminer la composition minéralogique.

III.5. LA PERTE AU FEU

Des sédiments prélevés à l'embouchure sont séchés sous le soleil pendant environ 12 heures.

Après séchage, environ deux grammes sont prélevés de l'échantillon sec et sont moulus à l'aide d'un mortier pour obtenir la poudre.

La quantité moulue est versée dans un creuset en porcelaine préalablement pesé (masse M1) et ensuite le creuset contenant l'échantillon est pesé (masse M2).

Ensuite, on chauffe le creuset et son contenu à l'aide d'un bec Bunsen pendant 30 minutes, et on pèse de nouveau le creuset (masse M3) après retour à la température ambiante dans un dessiccateur.

Le pourcentage des matières organiques est obtenu en appliquant la formule suivante :

$$\% \text{ matière organique} = (M2 - M3) / (M2 - M1) * 100$$

III.6. TEMPERATURE DE L'EAU

Elle est mesurée au niveau des stations des 3 rivières en plongeant directement un thermomètre à mercure gradué à 0.2°C dans l'eau de la rivière.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des mesures et des analyses effectuées ainsi que la discussion de ces résultats sont présentés dans cette partie.

IV.1. TRANSPORT LIQUIDE

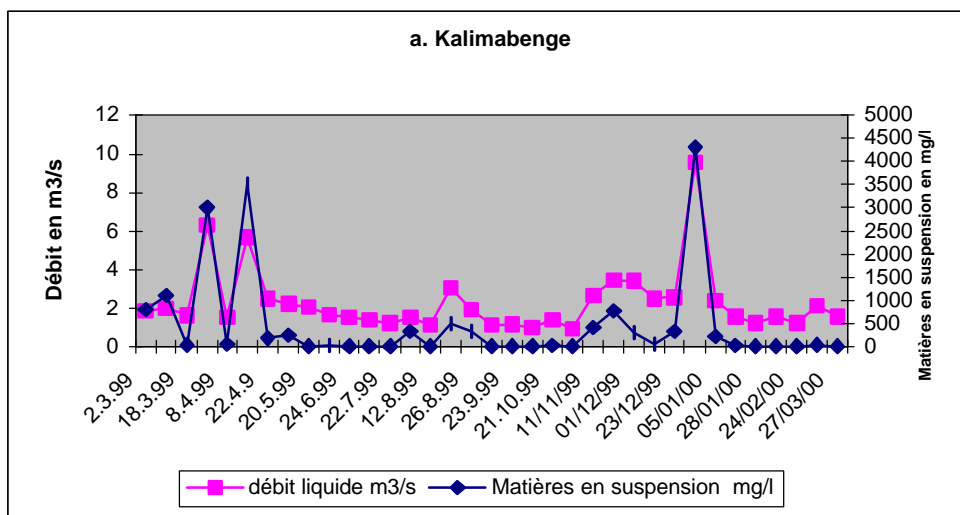
IV.1.1. Débits liquides

En général, les cours d'eau sont à régime irrégulier et leurs débits moyens sont faibles et variables; la Kalimabenge et la Mulongwe ont un débit moyen supérieur à 1 m³/s et celui de la Kavimvira est inférieur à 1m³/s.

La rivière Kalimabenge a un débit moyen de l'ordre de 2.210 m³/s et des extrêmes variant de 0.952 à 9.533 m³/s. La Mulongwe a un débit moyen de 2.099 m³/s et des extrêmes variant de 1.027 m³/s à 10.920 m³/s. La Kavimvira quant à elle a un débit moyen de 0.544 m³/s et des extrêmes qui varient de 0.27m³/s à 3.589 m³/s.

Ces données correspondent à une période d'observation s'étalant de février 1999 à février 2000. Les fluctuations de ces débits sont évidemment en rapport avec la pluviosité. Rappelons que la région étudiée connaît une saison pluvieuse qui s'est étendue pour 1999-2000 de la deuxième moitié du mois d'octobre à la première moitié du mois de mai, avec un maximum des précipitations en mars et avril, et une saison sèche qui va de mi-mai à mi-octobre. Il n'est donc pas étonnant que le débit des rivières soit à son maximum généralement en mars et en avril, et à son minimum à la fin de la petite saison sèche (septembre et octobre).

Il est intéressant de noter que l'amplitude des fluctuations saisonnières est relativement plus marquée pour ces petits affluents dont l'augmentation du débit répond rapidement aux précipitations ponctuelles, suivi d'une baisse tout aussi rapide après celles-ci. C'est pourquoi, au plus fort de la saison des pluies, le débit varie en quelques jours dans des proportions de 1 à 10 dans le cas de la Kalimabenge, de 1 à 11 dans le cas de la Mulongwe et même de 1 à 13 dans le cas de la Kavimvira. (*figure 6*) provoquant des crues importantes et dangereuses comme l'illustre la *figure 7*.



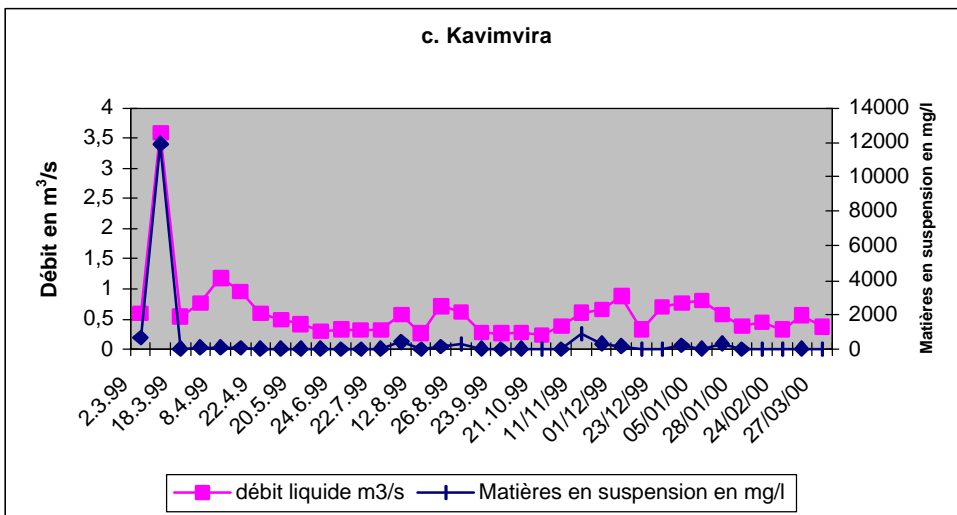
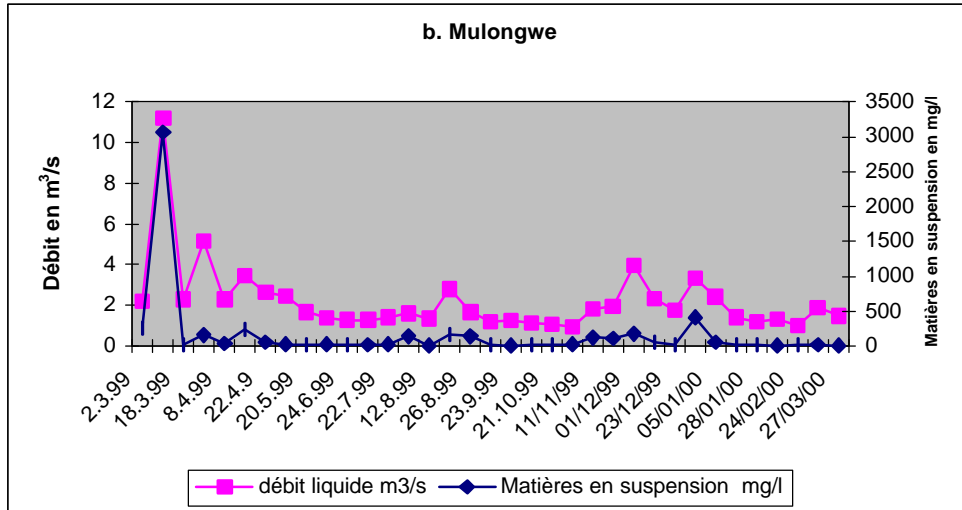


Figure 6: Variations saisonnières du débit et de la concentration des matières en suspension dans les eaux des rivières Kalimabenge (a), Mulongwe (b) et Kavimvira (c).



Figure 7: Forte crue du 8 mars 1999 de la rivière Mulongwe. Ce véhicule de grande taille a été emporté par les flots et a été partiellement englouti.

IV.1.2 Hauteur d'eau

On constate que les différences de hauteur d'eau de ces rivières d'un jour à l'autre sont faibles et n'atteignent généralement que quelques centimètres (voir *figures 10, 11 et 12*). Mais ces variations peuvent atteindre en quelques heures plusieurs dizaines de centimètres suite aux précipitations. Durant notre période d'observation du 23 novembre 99 au 31 mars 2000, l'amplitude de cette variation a été de 0.39 m pour Kalimabenge, 0.09 m pour Mulongwe et 0.30 m pour Kavimvira.

IV .1.3. Jaugeage des rivières et courbes de tarage

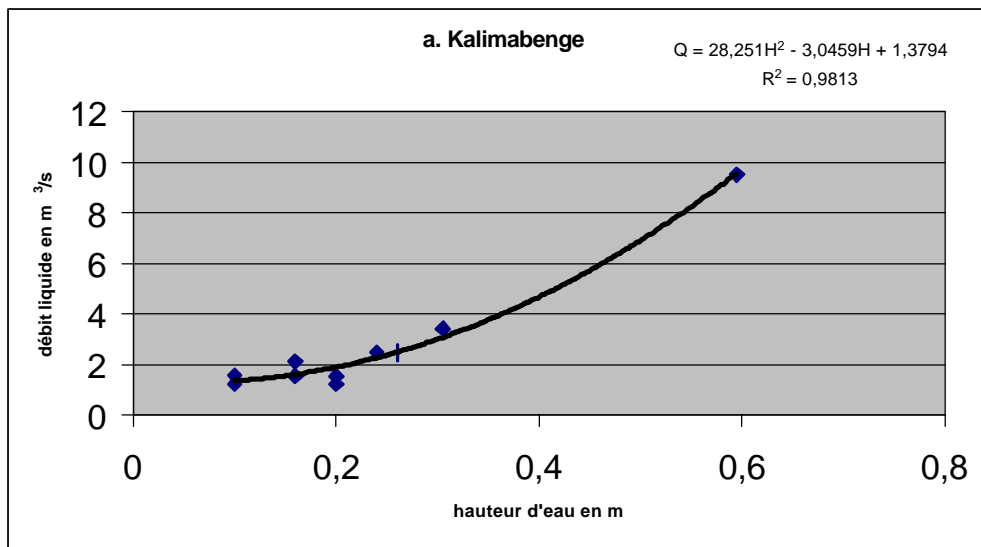
11 jaugeages ont été réalisés durant la période allant de décembre 1999 à mars 2000 sur chacune des trois rivières pour effectuer les transformations provisoires hauteur-débit. Les débits varient entre 1.229 et 9.533 m³/s soit des côtes comprises entre 0.10 et 0.60 m pour la rivière Kalimabenge, entre 1.027 et 3.977 m³/s soit des côtes comprises entre 0.04 et 0.12 m pour la rivière Mulongwe, et entre 0.335 et 0.886 m³/s soit des côtes comprises entre 0.22 et 0.37 m pour la Kavimvira.

Ces transformations ont donné les équations et courbes de tarage (*figure 8*) suivantes:

$$Q = 28.251H^2 - 3.0459H + 1.3794 \text{ pour la Kalimabenge}$$

$$Q = 453.56H^2 - 44.504H + 2.5072 \text{ pour la Mulongwe}$$

$$Q = 5.58117H^{1.9046} \text{ pour la Kavimvira.}$$



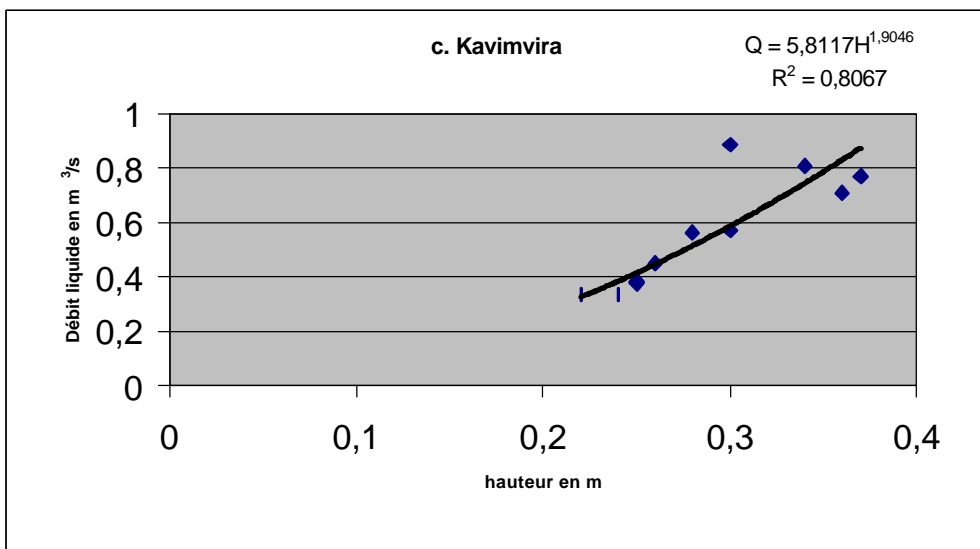
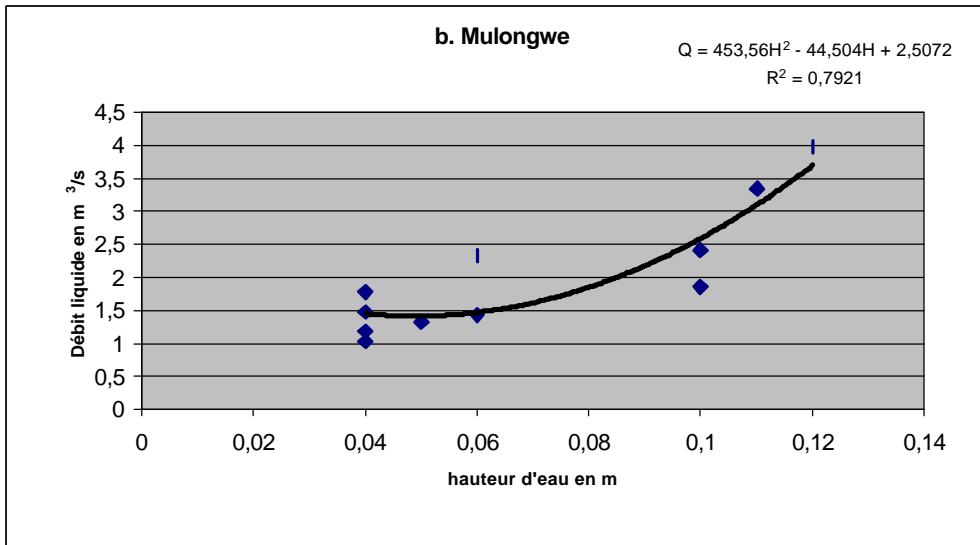


Figure 8: Courbes de tarage des rivières Kalimabenge (a), Mulongwe (b) et Kavimvira (c).

Les équations des courbes de tarage ont été appliquées aux relevés limnimétriques journaliers pour donner les débits moyens journaliers donnés dans les Tableaux 2 a, 2 b et 2 c en Annexe.

IV.2. TRANSPORT SOLIDE

IV.2.1. Matières en suspension

Rivière Kalimabenge

Les matières solides transportées en suspension varient d'un jour à l'autre de 10 à 350 mg/l en temps normal et peuvent atteindre 4 500 mg/l pendant les crues. La moyenne mensuelle pendant les basses eaux est de 13.85 mg/l (septembre) et celle des crues est de 1 252 mg/l (mars) (figure 6).

Rivière Mulongwe

La variation des matières solides transportées en suspension par la Mulongwe est journalière et saisonnière. Les quantités de matières en suspension varient de 10 à 200 mg/l en temps normal et peuvent atteindre 3000 mg/l pendant les crues. La moyenne mensuelle de basses eaux est de l'ordre de 17.6 mg/l (en septembre) et celle de hautes eaux est de 880 mg/l (en mars) (*figure 6*).

Rivière Kavimvira

Cette rivière transporte d'énormes quantités de matières solides malgré son faible débit. Il s'avère que cette rivière traverse une région plus sujette à l'érosion ; ce qui expliquerait le volume important des matières transportées. La quantité de matières en suspension transportées varie entre 15 et 300 mg/l en temps normal et peut dépasser 10 000 mg/l en cas de grande crue (par exemple la crue observée en date du 08 mars 1999).

La moyenne mensuelle des basses eaux est de 18 mg/l (septembre) et celle des hautes eaux est de 3 197.5 mg/l (mars) (*figure 6*).

En général, nous observons que la teneur en matières en suspension dans l'eau des rivières est aussi plus élevée pendant la saison des pluies. Le volume total des matières solides déversées dans le lac est donc très important pendant la saison des pluies et plutôt insignifiant pendant la saison sèche. La moyenne des concentrations des matières en suspension des eaux des rivières est plus élevée pendant la saison pluvieuse et varie d'une rivière à une autre entre 65 mg/l et 3 197.5 mg/l. Elle est moins importante pendant la saison sèche et varie entre 10 et 30 mg/l.

Cela s'explique par le fait qu'en début de saison des pluies, les premières pluies ou averses tombent sur un sol sec, mal protégé contre l'érosion et ces eaux de ruissellement étant très chargées, les concentrations moyennes peuvent atteindre et dépasser 3000 mg/l. Lorsque la saison des pluies est bien installée et que la végétation herbacée protège le sol, la moyenne des concentrations décroît et se stabilise autour de 65 mg/l.

On observe une similitude de variations journalières et mensuelles de la concentration des sédiments dans les trois rivières malgré leurs débits différents.

Le taux élevé des matières en suspension dans la Kalimabenge et la Kavimvira par rapport à la Mulongwe s'expliquerait aussi par le fait que leur pente respective dans le bassin versant est plus élevée que celle de la Mulongwe, donc les particules en suspension de la Mulongwe se déposent dans le lit et celles des autres sont transportées et entraînées vers le lac. Ceci montre également que l'activité érosive est moins élevée dans le bassin versant de la Mulongwe que dans les deux autres. Cette érosion est liée à la surexploitation des versants à pentes raides caractérisés par des pratiques agricoles inappropriées comme :

- agriculture sur brûlis
- non usage de mulching et cultures couvrantes
- surpâturage
- coupe de bois de chauffage domestique
- feu de brousse

Pour limiter cette érosion excessive causée par ces pratiques agricoles, il faudrait :

- sensibiliser la masse paysanne par des ateliers et séminaires aux nouvelles méthodes de cultures (courbes de niveau, terrasses, fosses discontinues, haies vives, agro-fôresterie...);
- reboiser les versants et les berges des rivières (ceci peut être effectué par les paysans eux-mêmes);
- introduire des foyers améliorés et intensifier l'électrification dans toute la région.

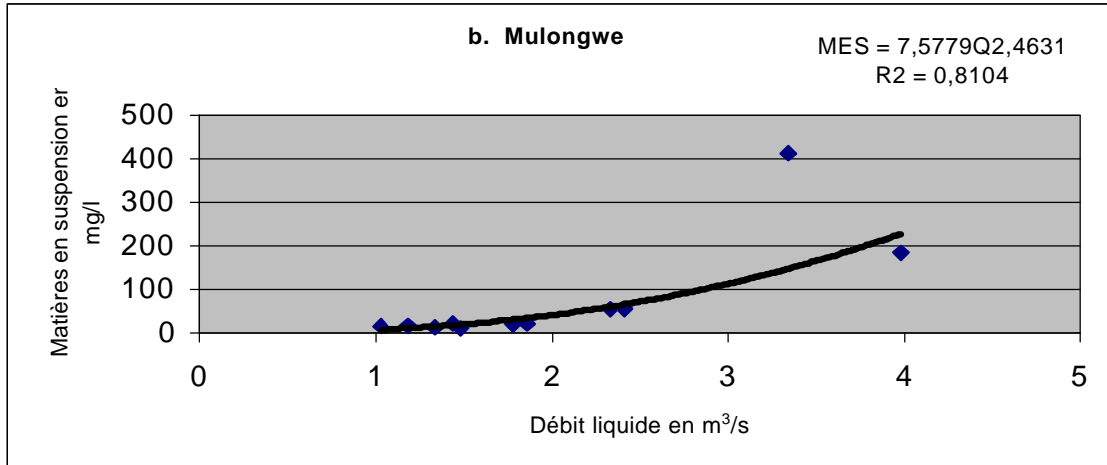
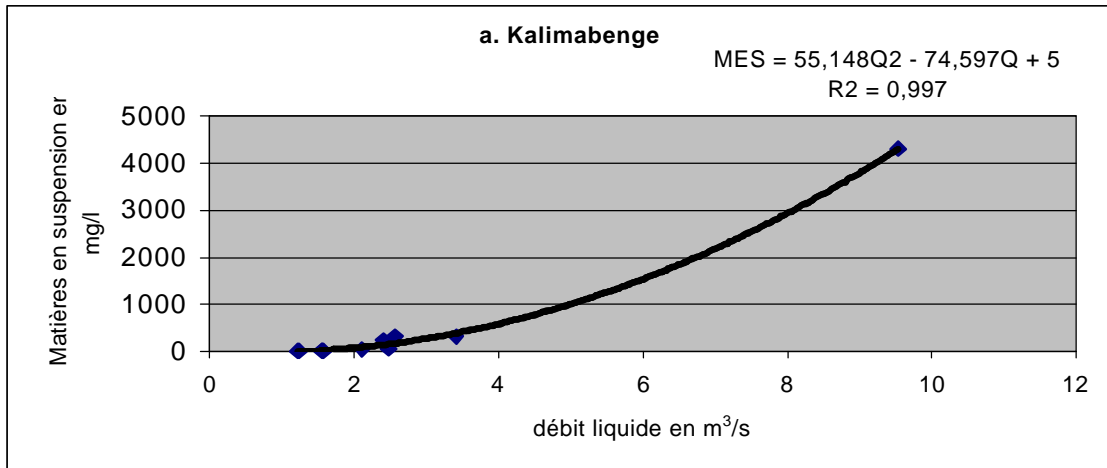
IV.2.2. Courbes des matières en suspension en fonction du débit

Nous avons tenté d'établir les relations entre les matières en suspension et les débits pour chacune des trois rivières étudiées et ont donné par les équations suivantes et illustrées par la *figure 9* :

$$\text{MES} = 55.148Q^2 - 74.597Q + 5 \text{ pour la Kalimabenge (a)}$$

$$\text{MES} = 7.5779Q^{2.4631} \text{ pour la Mulongwe (b)}$$

$$\text{MES} = 138.82Q^{2.1094} \text{ pour la Kavimvira (c)}$$



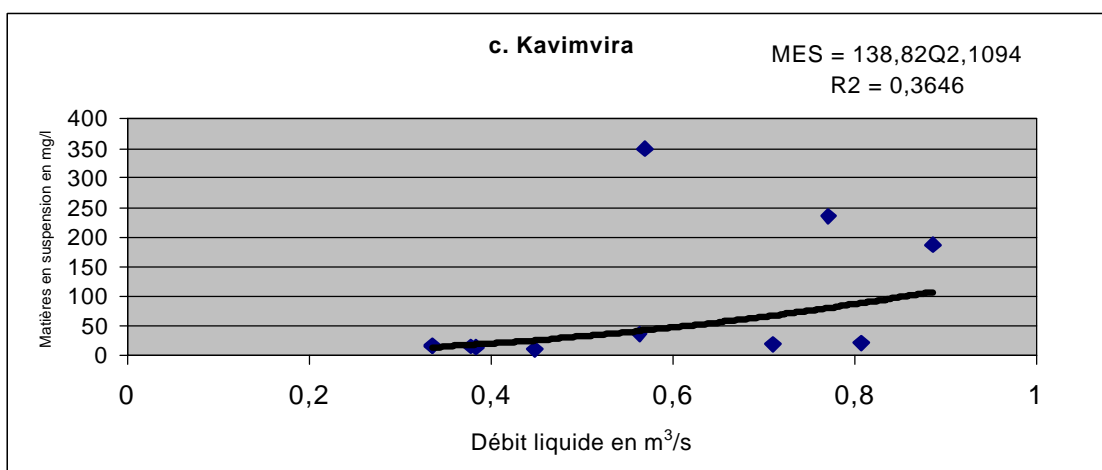


Figure 9: Relations entre les matières en suspension et les débits pour la Kalimabenge (a), la Mulongwe (b) et la Kavimvira (c).

Ces équations sont appliquées à la période du 23 novembre 1999 au 31 mars 2000 pendant laquelle la hauteur d'eau est mesurée journalièrement et on obtient les concentrations moyennes journalières des matières en suspension.

Il est à noter que pour la rivière Kavimvira l'équation est la plus délicate et par-là même la plus imprécise (le coefficient de corrélation est très faible), et présente la plus forte dispersion dans les résultats. Les extrêmes doivent donc être maniés avec beaucoup de prudence. Il est possible que cette dispersion des résultats soit due à la faible profondeur de la rivière et à la quantité élevée des matières en suspension transportées.

Les débits solides moyens journaliers sont obtenus en effectuant le produit de la concentration moyenne journalière des solides en suspension, des débits liquides moyens journaliers et du coefficient 0,0864 pour obtenir les résultats en tonnes par jour.

Les masses journalières des matières solides en suspension transportées pour la période allant de 23 novembre 1999 au 31 mars 2000 sont donnés dans les *Tableaux 3 a, 3 b et 3 c en Annexe*.

IV.3. BILAN DES TRANSPORTS LIQUIDE ET SOLIDE

En se basant sur les débits moyens journaliers obtenus entre le 23 novembre 1999 et le 31 mars 2000 ainsi que le tableau d'analyses de matières en suspension (série de *Tableaux 2 et 3 en Annexe*), nous avons pu estimer la quantité de matières solides qu'ont déversé chacune des trois rivières dans le lac pendant cette période. Il apparaît que 2 519 tonnes ont été déversées par la Kalimabenge, que 558 tonnes l'ont été par la Mulongwe et que 302 tonnes l'ont été par la Kavimvira.

Bien que le nombre de données soit relativement faible, il est intéressant d'établir un bilan provisoire de la quantité des matières en suspension déversées pendant une année d'étude c'est à dire d'avril 1999 à mars 2000. Par manque de précision concernant les débits moyens des cours d'eau pour la période allant d'avril 1999 au 22 novembre 1999 (puisque les stations hydrométriques n'étaient pas installées), ce bilan n'est qu'approximatif, il est de l'ordre de : 6 685 tonnes pour la Kalimabenge, 2 122 tonnes pour la Mulongwe et 625 tonnes pour la Kavimvira.

Le volume d'eau total déversé dans le lac par chacune des trois rivières pendant une année est estimé à $36\,544\,10^6\text{ m}^3$ pour la Kalimabenge, $34\,046\,10^6\text{ m}^3$ pour la Mulongwe et $9\,223\,10^6\text{ m}^3$

pour la Kavimvira. Le volume d'eau pendant la période des observations limnimétriques est de $20\,708\,10^6\text{ m}^3$ pour la Kalimabenge, de $17\,771\,10^6\text{ m}^3$ pour la Mulongwe et $5\,765\,10^6\text{ m}^3$ pour la Kavimvira.

Ces résultats ne sont que des estimations puisque les relevés de côtes aux stations ne sont effectués que pendant la journée alors que la plupart des précipitations ont lieu en général pendant la nuit.

Les *figures 10, 11 et 12* suivantes illustrent pour chacune des trois rivières les variations journalières du niveau d'eau et des débits liquides et solides pendant la période d'observation (23 novembre 1999 au 31 mars 2000).

Le *Tableau 4 en Annexe* donne les principales caractéristiques hydrologiques des trois rivières étudiées.

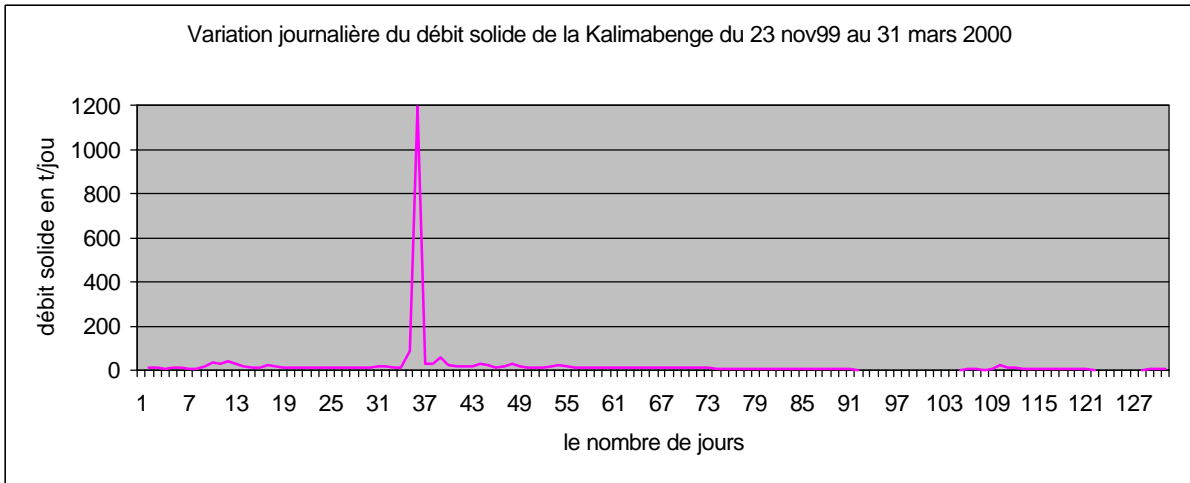
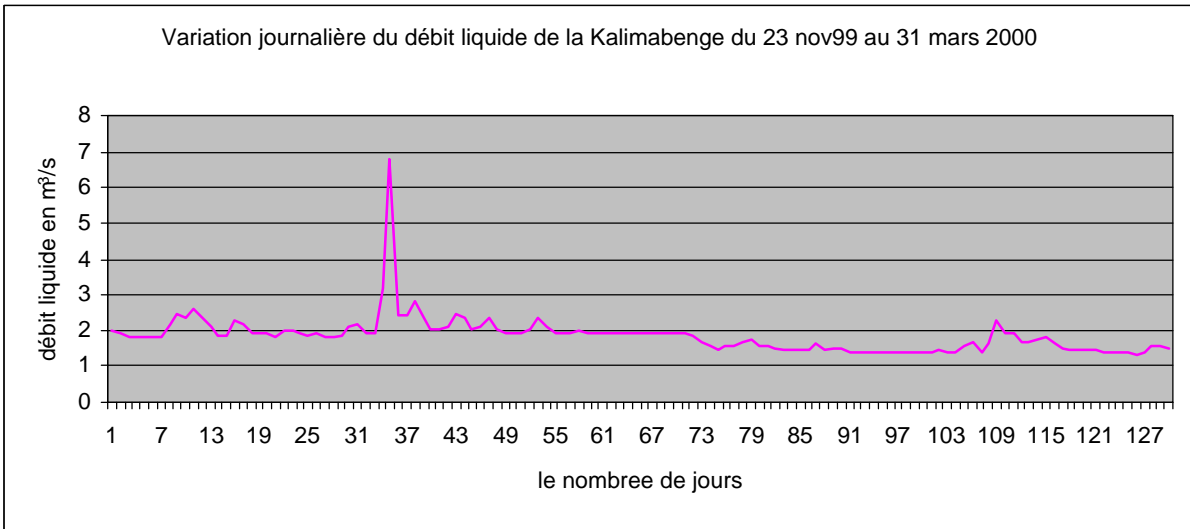
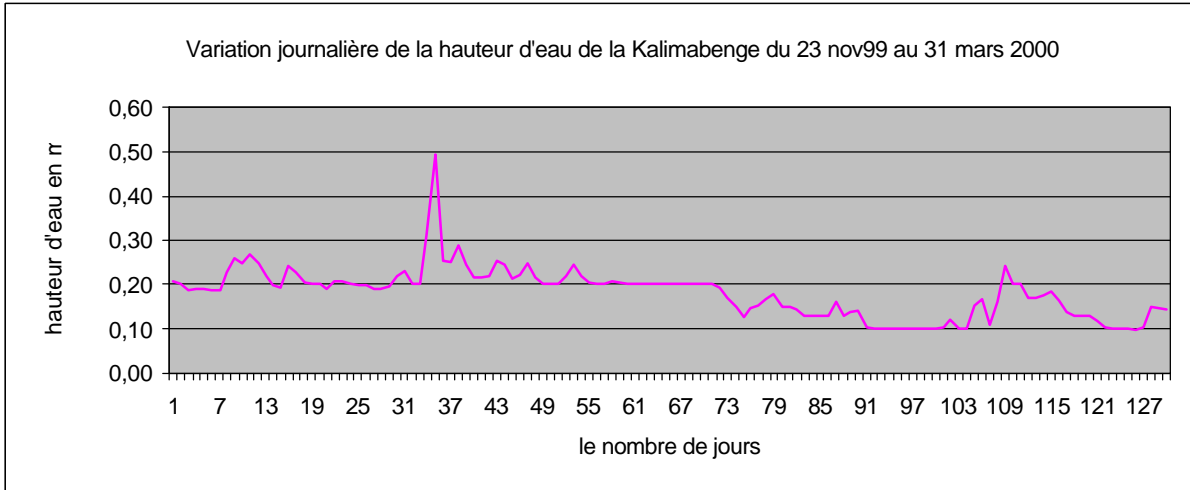


Figure 10 : Variations journalières de la hauteur d'eau, des débits liquide et solide de la rivière Kalimabenge pendant la période d'observation.

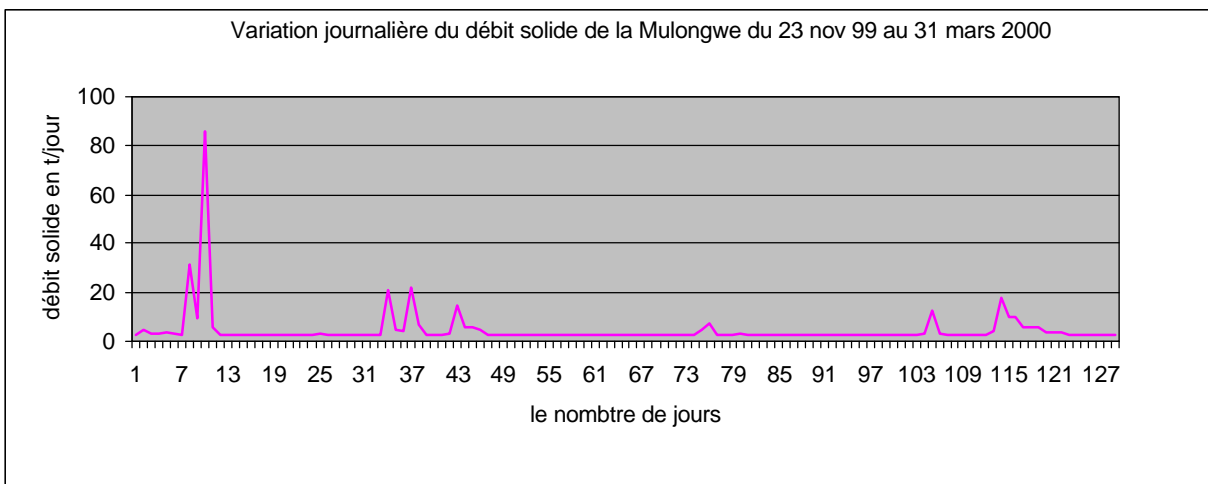
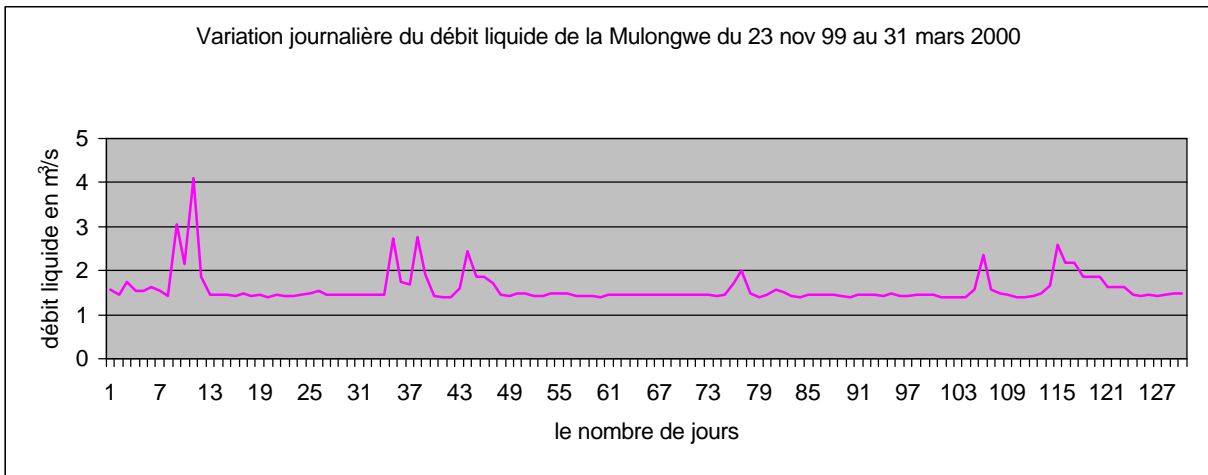
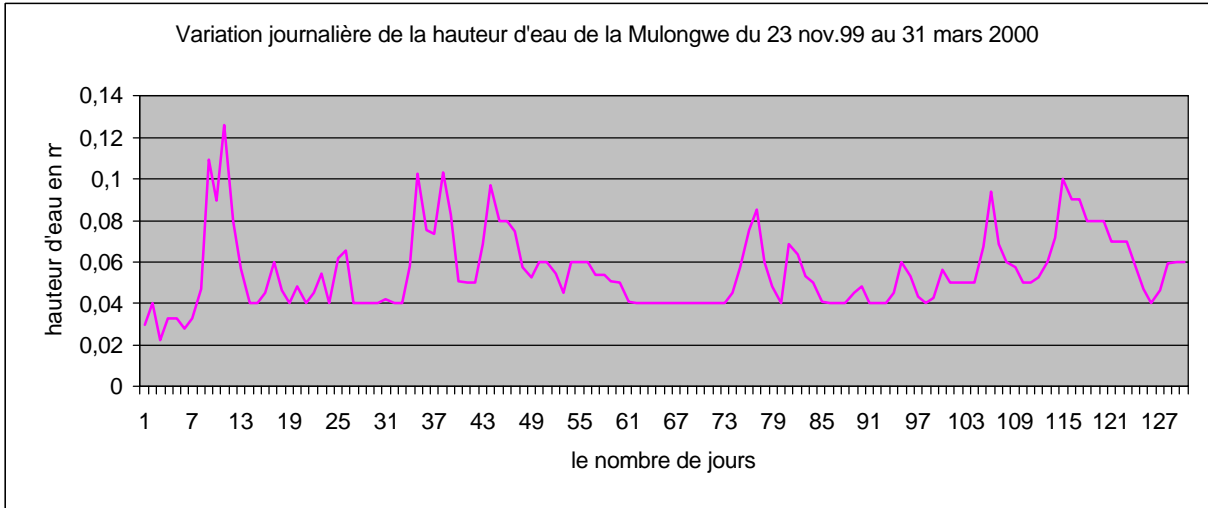


Figure 11 : Variations journalières de la hauteur d'eau, des débits liquide et solide de la rivière Mulongwe pendant la période d'observation.

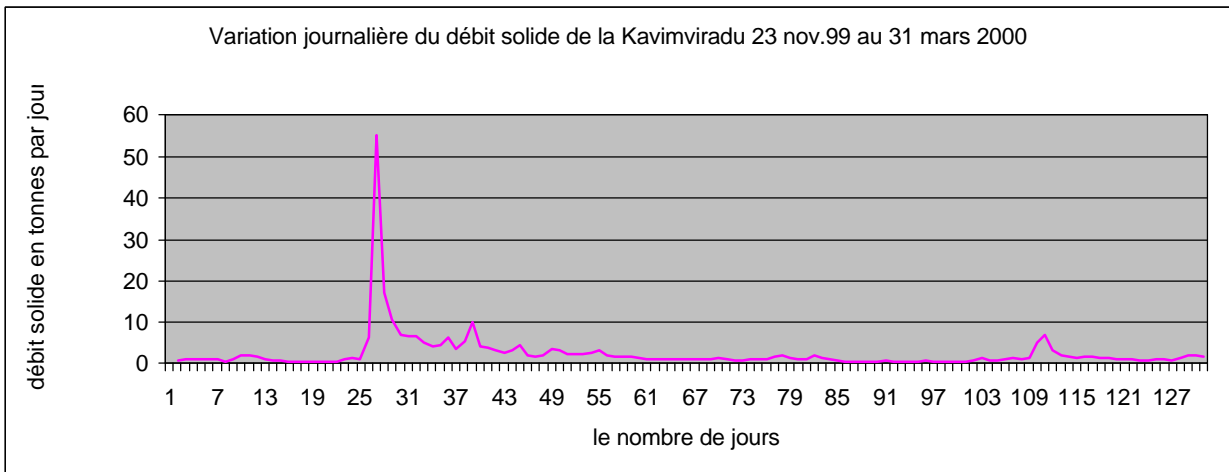
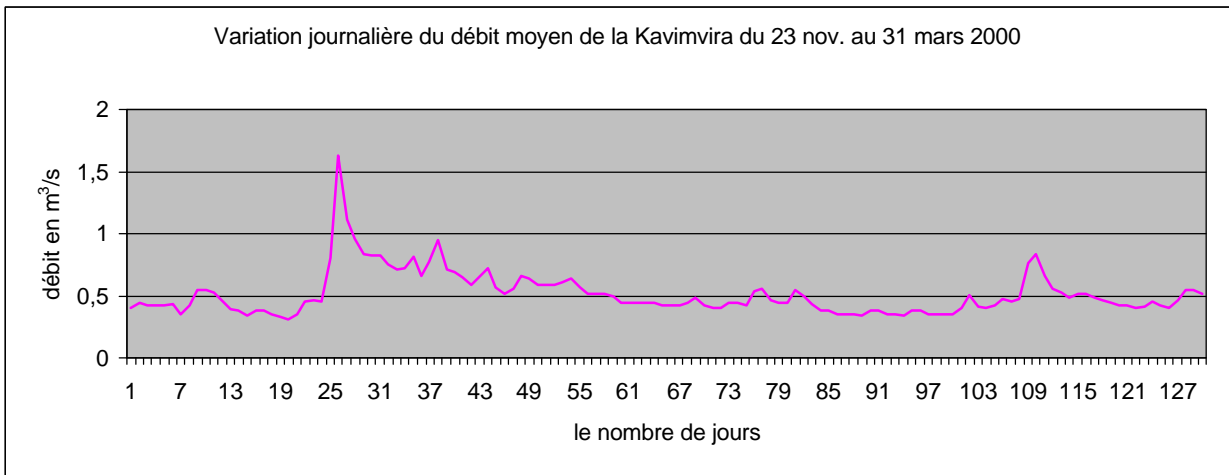
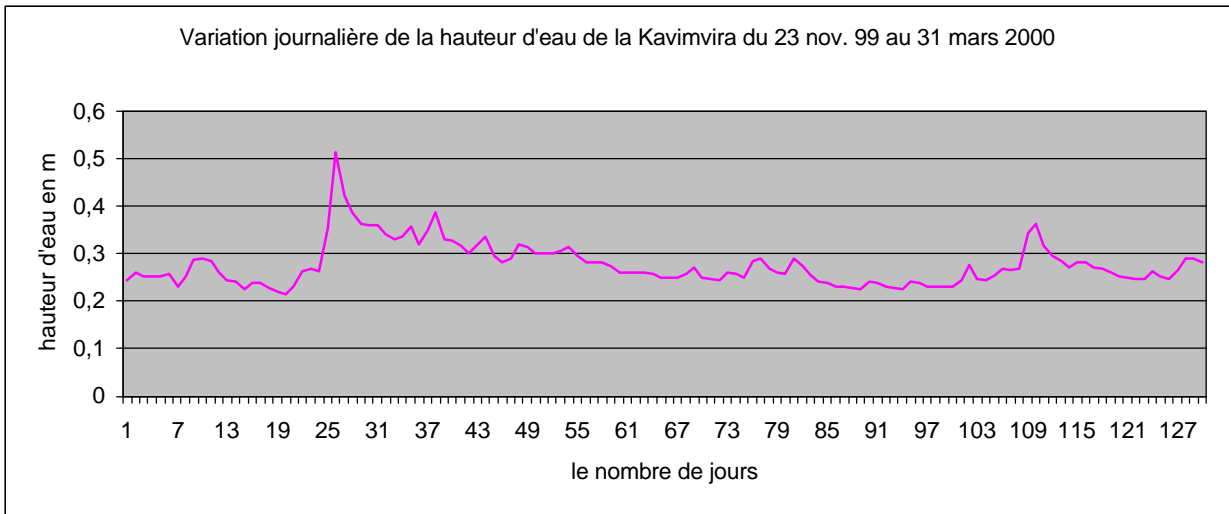


Figure 12 : Variations journalières de la hauteur d'eau, des débits liquide et solide de la rivière Kavimvira pendant la période d'observation.

IV.4. LA GRANULOMETRIE

Les sables analysés proviennent des lits des trois rivières étudiées. Ces rivières traversent des roches métamorphiques du Précambrien et des dépôts Quaternaires de cônes de déjection et de hautes terrasses.

En tout, 100 échantillons ont été prélevés aux embouchures: 33 pour la Kalimabenge, 34 pour la Mulongwe et 33 pour la Kavimvira.

Les données brutes ont été exprimées en pourcentage de la masse de l'échantillon et en pourcentage cumulé. Les valeurs en pourcentage de la masse de l'échantillon ont permis d'évaluer « le mode » et les pourcentages cumulés nous ont servi à dresser, grâce au papier graphique de probabilité, des courbes cumulatives, à partir desquelles nous avons pu déterminer deux autres caractéristiques essentielles du sable dont la « médiane » et l'écart type (=le classement) en appliquant la formule de R.I. Folk and W.C. Ward (1957) citée par Douglass.

Pour la rivière Kalimabenge (figures 13 et 14)

La proportion de la fraction fine ($<63\mu\text{m}$) est très faible dans tous les échantillons, elle est $<1\%$. La moyenne est de l'ordre de 0.2% .

La fraction $> 63\mu\text{m}$ est prédominante: il s'agit de dépôts sablo-graveleux : 73.85% du sable et de 25.95% de graviers.

Les sables sont à grains divers avec prédominance de sable grossier et très grossier.

Dans l'ensemble, les sables sont « modérément » classés.

Les sédiments présentent des grains de quartz, de muscovite et d'autres minéraux noirs.

Pour la rivière Mulongwe (figures 15 et 16)

La proportion de la fraction fine est aussi très faible, elle n'atteint pas 1.3% . la moyenne générale est de 0.18% .

Il s'agit, comme pour la rivière Kalimabenge du sable graveleux. En moyenne, nous avons 79.68% de sable et 20.14% de gravier. C'est un sable à grains divers.

Le classement est « modéré »

Les grains de quartz, de muscovite et des autres minéraux noirs sont observés dans les échantillons.

La fraction biogène est également présente puisque dans certains échantillons, nous avons observé la présence des matières organiques : débris végétaux, racines, débris de charbon, écorce d'arbres...

Pour la rivière Kavimvira (figures 17 et 18)

La fraction fine demeure également très faible : plus faible que celle des autres rivières. Elle n'atteint pas 0.5% et est en moyenne de 0.07% .

La fraction $> 63\mu\text{m}$ correspond au sable.

La rivière dépose presque uniquement du sable, en moyenne 86.56% . Cela s'explique par la faiblesse du débit ne permettant pas le transport d'éléments de taille plus importante.

C'est du sable à grains divers.

Le sable est constitué de grains de quartz, des muscovites (plus abondants que dans les deux autres rivières) et d'autres minéraux noirs.

Les échantillons sont « modérément » classés.

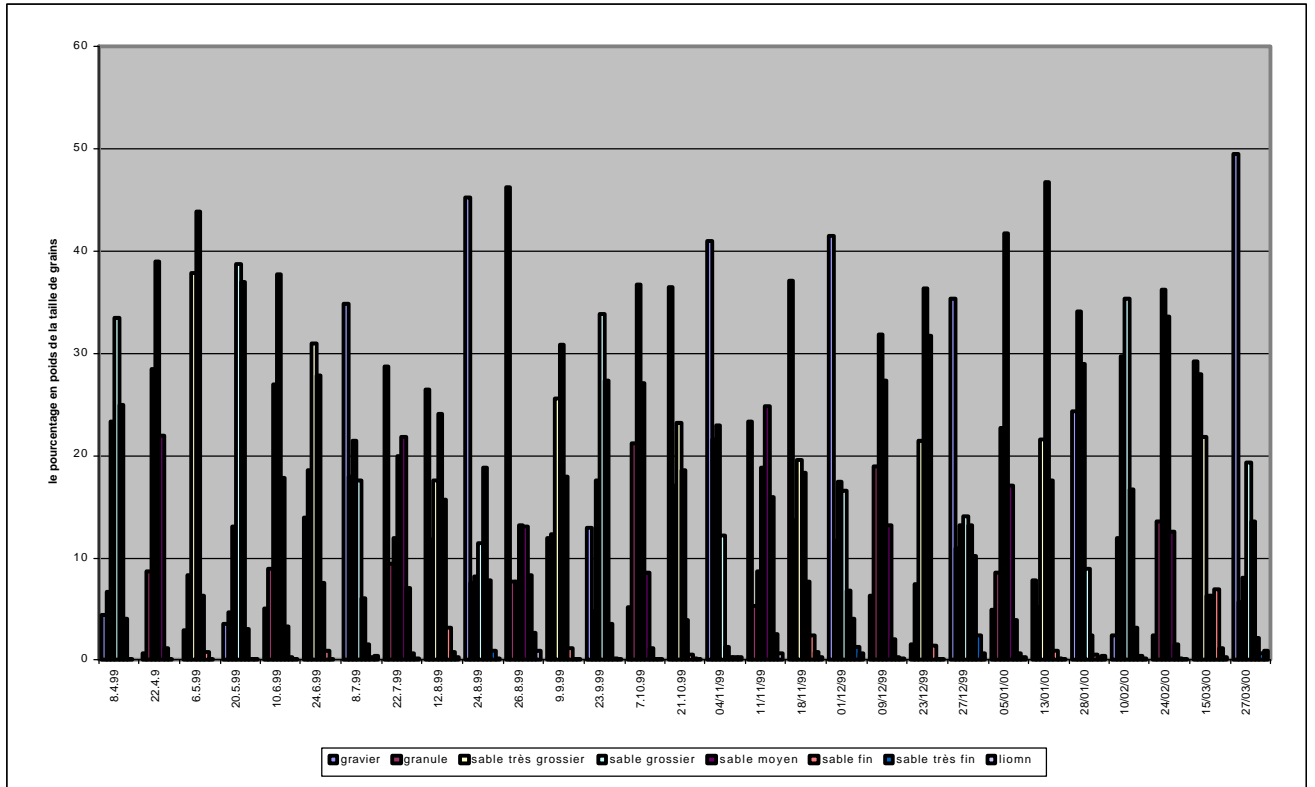


Figure 13 : Variations saisonnières de la répartition granulométrique à l'embouchure de la rivière Kalimabenge

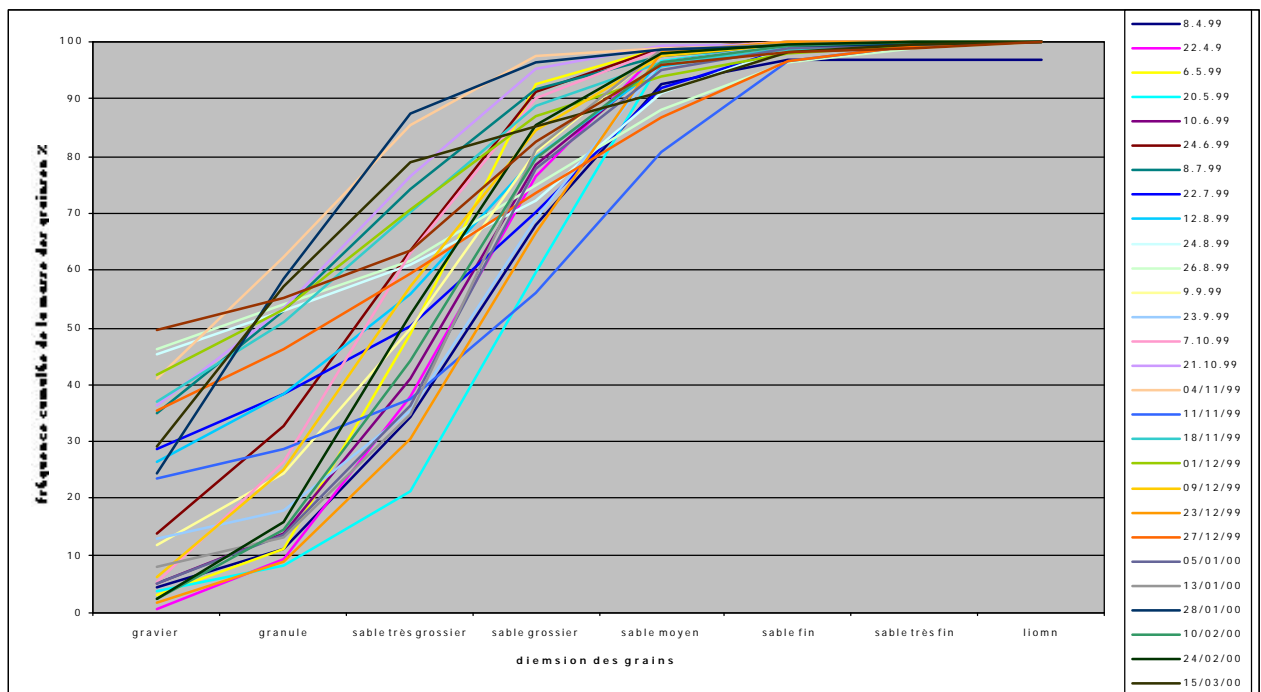


Figure 14 : Variations saisonnières de la courbe granulométrique à l'embouchure de la rivière Kalimabenge.

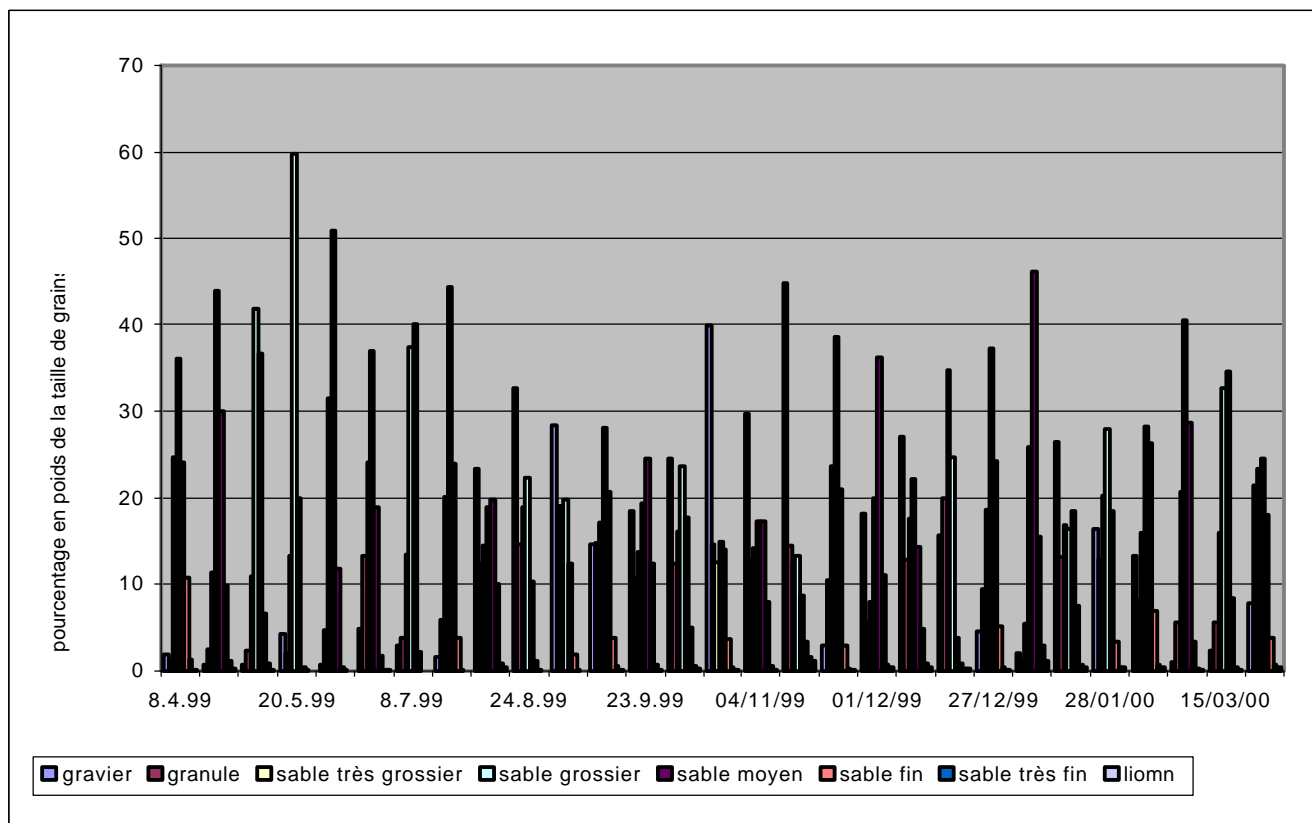


Figure 15 : Variations saisonnières de la répartition granulométrique à l'embouchure de la rivière Mulongwe.

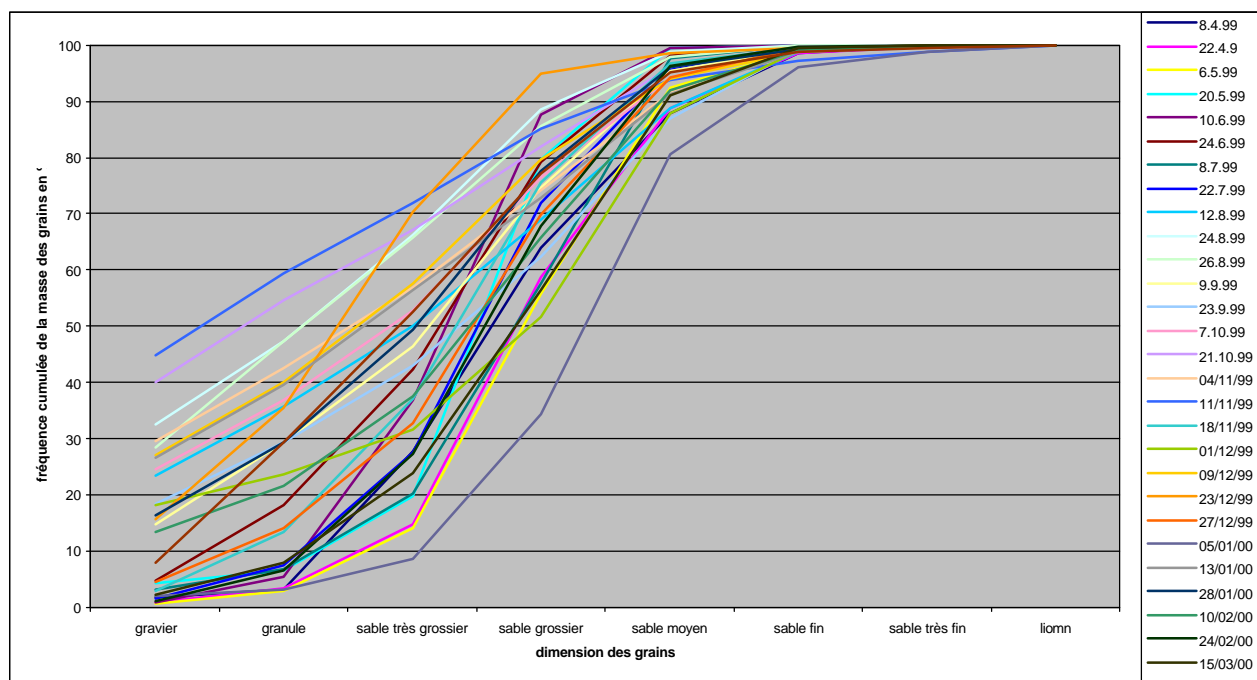


Figure 16 : Variations saisonnières de la courbe granulométrique à l'embouchure de la rivière Mulongwe.

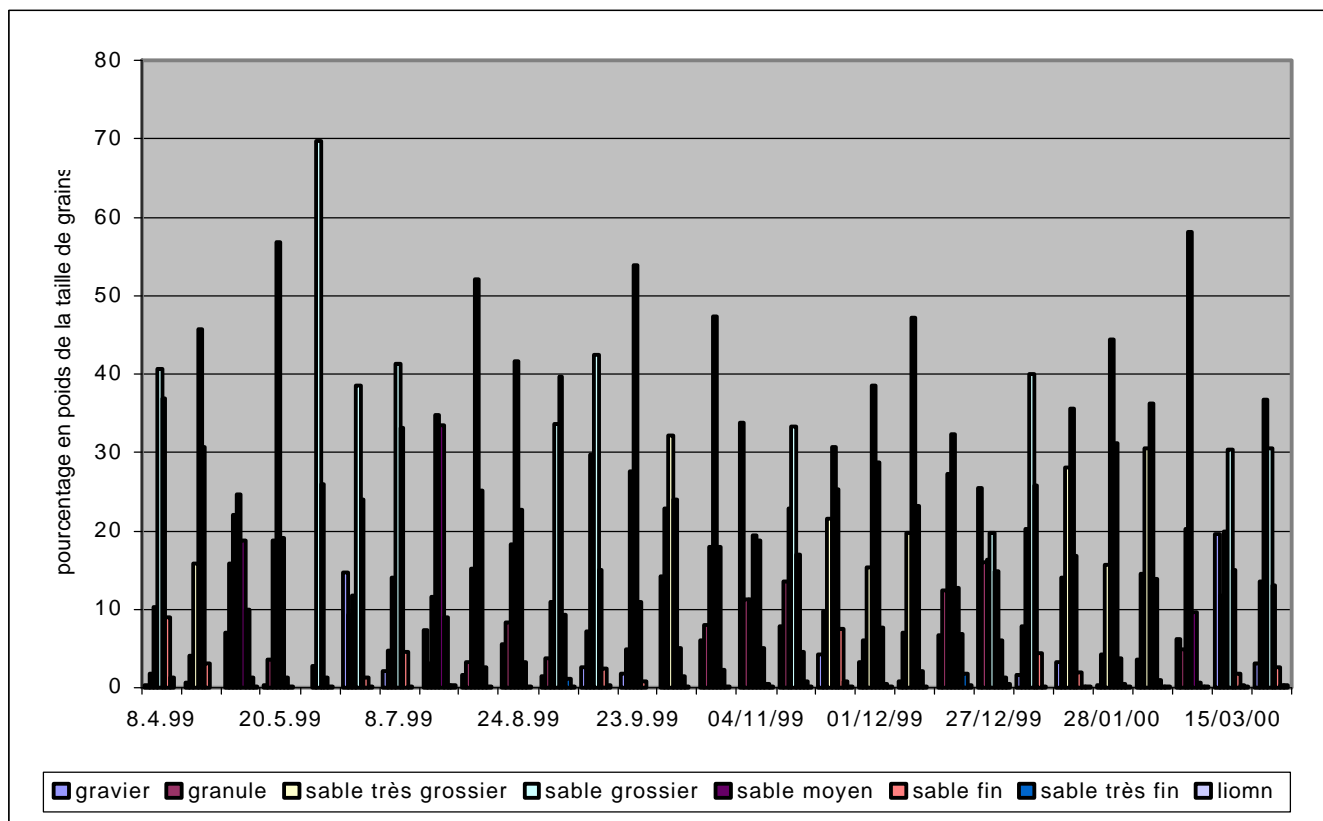


Figure 17 : Variations saisonnières de la répartition granulométrique à l'embouchure de la rivière Kavimvira.

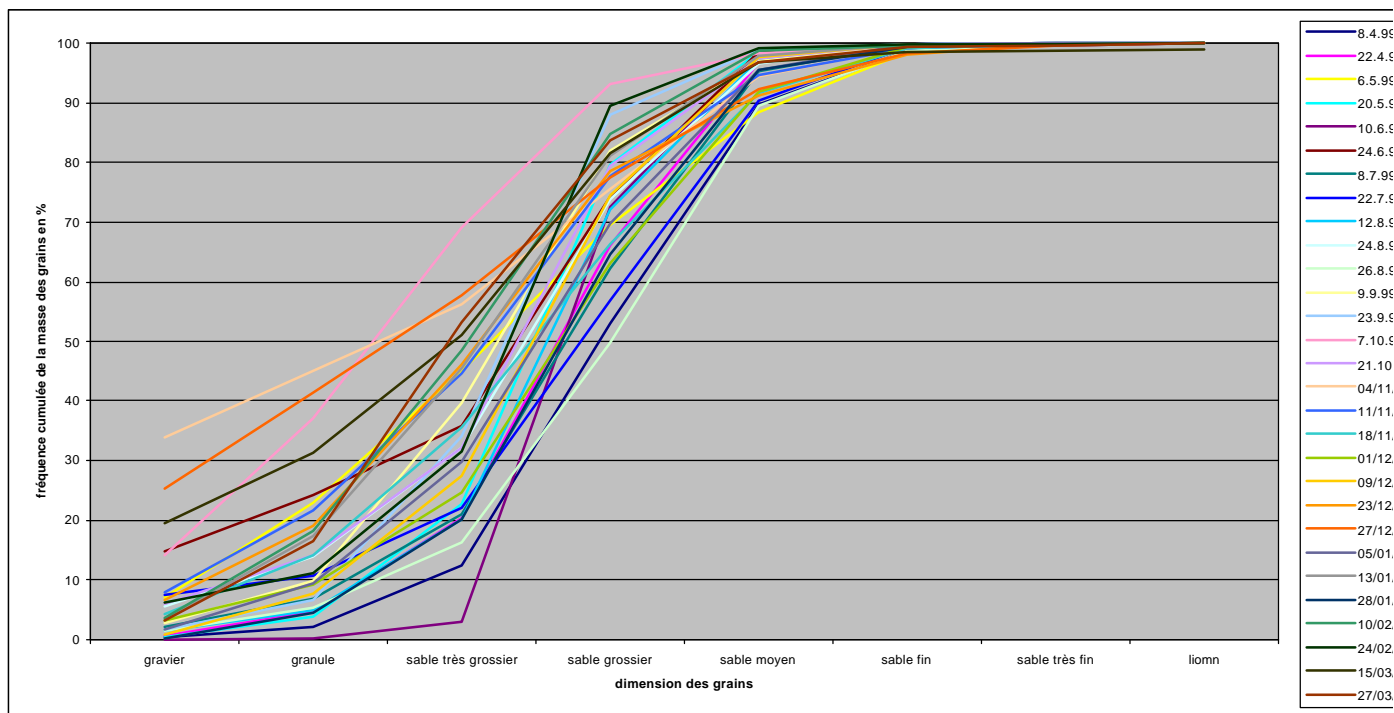


Figure 18 : Variations saisonnières de la courbe granulométrique à l'embouchure de la rivière Kavimvira.

Bilan pour les 3 rivières

- La fraction fine : la proportion de la fraction fine est très faible aux embouchures des trois rivières. Elle est en moyenne de 0.15%. Cette faible proportion serait due à la faible altération chimique des roches dans les bassins versants. (K. Grzybowski, 1984). Elle serait également liée au fait que, dans les zones des embouchures, l'eau est très agitée et ne permet pas aux particules fines de se déposer en abondance mais elles sont plutôt entraînées plus loin de la côte.
- La fraction grossière : les sables sont hétérogamétiques : il s'agit du sable à grains divers, principalement du sable moyen, grossier ou très grossier. Pour la Kalimabenge et la Mulongwe, nous observons un dépôt sablo-graveleux, par contre pour la Kavimvira le dépôt est sableux.

En effet, il a été constaté que les caractères de dépôts sont en corrélation avec les débits des rivières. La Kalimabenge et la Mulongwe qui possèdent des débits liquides supérieurs à celui de la Kavimvira charrient les éléments de taille plus importante (grossiers...) vers leur embouchure. Elles sont plus puissantes que la Kavimvira.

Les sédiments de l'embouchure sont des sables modérément classés (0.71 à 1.0 ϕ). Ce classement indique qu'il y a eu variation de l'énergie du courant dans le milieu de sédimentation. Il est certain que l'action conjuguée du mouvement des vagues du lac et de l'écoulement des rivières ne sont pas favorables à un meilleur classement.

Les trois rivières, géologiquement semblables transportent les mêmes types de sable caractérisés par des médianes entre 0.9 à 0.5 mm. Les dépôts de ces rivières sont constitués surtout de grain de quartz, de feldspaths et de muscovites, de biotite (très peu) ainsi que d'autres minéraux noirs. Les muscovites sont très abondamment libérés pendant la saison des pluies et dominant dans la Kavimvira. Ce sont des sables quartzeux, généralement anguleux luisants, aux arêtes peu ou non émoussées.

La fraction biogène (constituée de racines, écorces, débris de charbon...) s'observe dans les échantillons de matières en suspension des 3 rivières. Par contre, dans les sédiments sableux, on la retrouve dans quelques échantillons de la Mulongwe.

Tableau 1 : Classes granulométriques des sédiments des embouchures (en %)

	Kalimabenge	Mulongwe	Kavimvira	Moyenne
Gravier	25.95	20.14	13.37	19.82
Sable	73.85	79.68	86.56	80.03
Limon	0.20	0.18	0.07	0.15

IV.5. LA PERTE AU FEU

Les résultats obtenus par l'analyse de la perte au feu des échantillons sont regroupés dans le *tableau 2* suivant :

Tableau 2 : Taux de concentration des matières organiques dans les sédiments (en pourcentage).

Date	Kalimabenge	Mulongwe	Kavimvira
21/10/99	0.88	6.38	0.54
04/11/99	0.93	0.55	0.48
11/11/99	1.19	1.71	3.64
01/12/99	0.63	0.87	0.44
09/12/99	0.67	0.67	0.41
23/12/99	0.55	1.13	0.59
27/12/99	0.74	0.69	1.43
05/01/00	0.46	0.77	0.45
27/01/00	0.51	0.51	0.40
10/02/00	3.31	0.49	0.32
23/02/00	0.80	0.59	0.43
15/03/00	1.21	5.69	0.60
27/03/00	0.87	0.57	0.52

La proportion de la masse de carbonate de calcium dans les sédiments charriés par les trois rivières qui traversent la ville d'Uvira est en moyenne proche de 1% : 0.83% pour la Kavimvira, 0.97% pour la Mulongwe et 1.31% pour la Kalimabenge pendant les cinq mois pendant lesquels nous avons prélevé des échantillons pour ce type d'analyses.

Dans l'ensemble, il apparaît que:

- Pour la Kalimabenge la concentration en carbonate de calcium reste élevée et augmente progressivement jusque fin novembre (entre 0.88% et 1.19%). Cette concentration diminue brusquement presque de moitié au cours des pluies de décembre pour atteindre 0.45% au début janvier.
La concentration du carbonate de calcium augmente progressivement en janvier pour atteindre la plus forte concentration (3.31%) pendant la période sèche du mois de février.
- Pour la Mulongwe la concentration en carbonate de calcium est plus élevée à la limite de la petite saison sèche, vers la fin octobre ou à la mi-novembre (vers 6.38%). Avec la tombée des pluies la concentration en carbonate de calcium baisse brusquement en décembre pour osciller entre 0.67% et 1.13%. Cette baisse progressive de la concentration de carbonate de calcium dans les sédiments se poursuit en janvier pour atteindre le niveau le plus bas (0.49%) en début février. Une tendance à la hausse est observée dans la concentration de la matière calcaire dans les sédiments en cours du mois de février.
- Pour la Kavimvira les sédiments présentent une concentration presque constante en carbonate de calcium. Celle-ci oscille entre 0.32% et 0.54%. Toutefois des pics sont observés en fin novembre 3.64% et fin décembre 1.43%.

De manière générale, les minima s'observent après les pluies de décembre, entre janvier et février. La Kavimvira présente le plus bas minimum (0.32%) et la Mulongwe le plus élevé (0.49%) pendant cette période. Le maximum de la Mulongwe (6.38%) est le plus élevé et correspond presque au double de la valeur de chacun des maxima des deux autres rivières. De même l'écart-type de la Mulongwe (0.017) est presque le double de chacun des écarts types des deux autres rivières (0.008 et 0.010).

Il ressort des résultats que la concentration des sédiments en carbonate de calcium augmente pendant la petite saison sèche (fin octobre ou novembre et mi - février). Cela s'explique par le fait que le carbonate de calcium, sel d'acide faible (acide carbonique) et base faible (hydroxyde de calcium) précipite dans le sédiment pendant la saison sèche avec la diminution des eaux. Pendant la période des pluies deux faits simultanés justifient la diminution des carbonates dans le sédiment :

- La présence de l'acide de carbonique dans les eaux de ruissellement de même que l'augmentation du volume d'eau par les apports de pluies stimulent la dissolution du carbonate de calcium.
- L'apport des autres sédiments non calciques par les eaux des pluies réduit la proportion du carbonate de calcium dans le sédiment.

IV.6. LA TEMPERATURE

Naturellement, la température de l'eau présente des variations saisonnières qui suivent celles de l'air. La température prise en surface et en eau courante a varié de 16.8 à 25.2 °C pour la Kalimabenge, de 15.9 à 26.8 °C pour la Mulongwe et de 20.0 à 29.4 °C pour la Kavimvira (*figure 19*).

On retrouve sur la courbe de variation des moyennes mensuelles les 2 maxima (mars-avril et octobre-novembre) et les minima (juin-septembre et janvier-février) caractéristiques des climats tropicaux. Cependant, de mai à septembre inclus, la température moyenne reste inférieure à 20.0 °C pour la Kalimabenge et la Mulongwe tandis qu'elle oscille légèrement autour de 20.0 °C pour la Kavimvira. Cette période correspond à la grande saison sèche pendant laquelle la température est presque constante.

La différence de température entre les trois rivières s'explique principalement par le fait que la Kalimabenge et la Mulongwe ont des sources dans les hauts plateaux (± 2450 m d'altitude) alors que la source de la Kavimvira se situe dans la partie inférieure du bassin versant (± 1500 m).

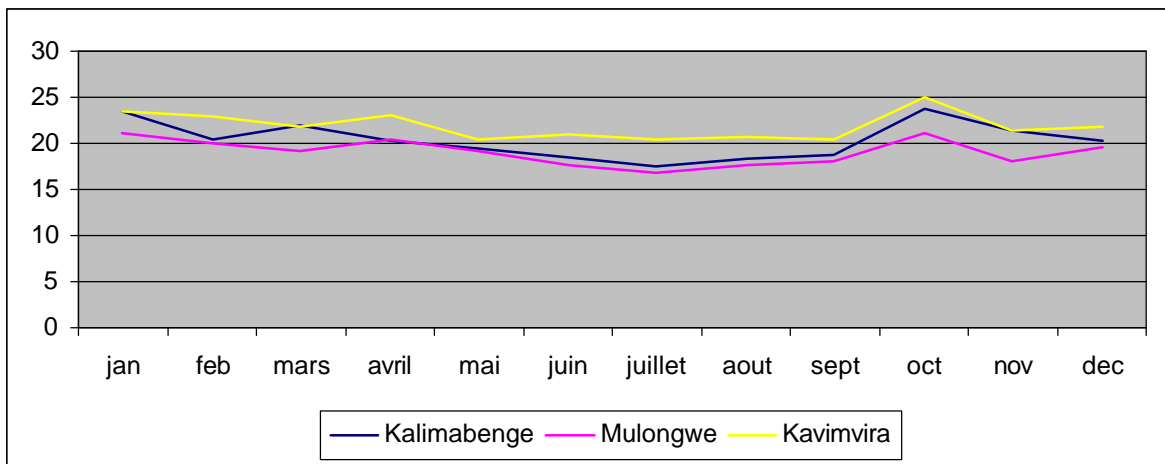
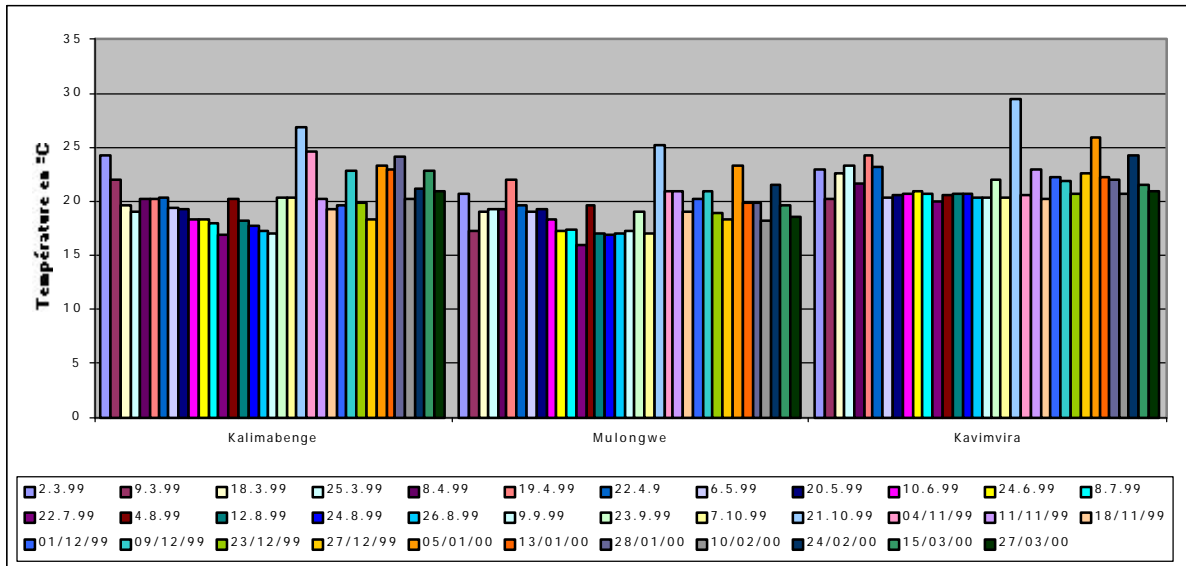


Figure 19 : Variations saisonnières de la température de l'eau des rivières Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira.

V. CONCLUSION

- Les rivières de la région nord-ouest du lac Tanganyika descendent des massifs directement vers le lac où elles déposent les matériaux fins arrachés aux parties amont de leur bassin.
- La granulométrie des matériaux transportés par les trois rivières est constituée essentiellement de graviers (19.82%) et de sables (80.03%).
- Le volume d'eau total déversé pendant une année est de $36\,544\,10^6\text{ m}^3$ pour la rivière Kalimabenge, $34\,046\,10^6\text{ m}^3$ pour la rivière Mulongwe et $9\,223\,10^6\text{ m}^3$ pour la rivière Kavimvira.
- Le volume d'eau pendant la période des observations limnimétriques (23 novembre 1999 au 31 mars 2000) est de $20\,708\,10^6\text{ m}^3$ pour la rivière Kalimabenge, de $17\,771\,10^6\text{ m}^3$ pour la Mulongwe et de $5\,765\,10^6\text{ m}^3$ pour la Kavimvira.
- L'estimation annuelle de l'apport des matières en suspension dans le lac Tanganyika par chacune des trois rivières est de 6 605 tonnes, 2 122 tonnes et 625 tonnes respectivement pour les rivières Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira.
- On peut estimer qu'en entrant dans le lac, les trois rivières ont apporté les quantités de matières en suspension suivantes : 2 519 tonnes, 558 tonnes et 302 tonnes pour la période allant du 23 novembre 1999 au 31 mars 2000 respectivement pour les rivières Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira.
- Les quantités énormes des matériaux charriés par les trois rivières démontrent bien l'ampleur de l'érosion excessive dans les bassins versants. Cette érosion est accentuée par les diverses activités de l'homme. Pour la limiter, les agriculteurs devraient pratiquer de nouvelles méthodes culturales et l'homme politique devrait placer parmi ses priorités la protection de l'environnement et en particulier la lutte contre l'érosion des sols dans les bassins.

Recommandations pour la poursuite de l'étude

- Cycle horaire des sites une fois par trimestre (0 ; 1 ; ... 24 h),
- Intensifier l'étude des ressources hydroclimatiques et de leur régime afin d'en permettre l'exploitation rationnelle,
- Inventaire de toutes les rivières d'Uvira jusqu'à Moba et les classier suivant l'ordre d'importance,
- Création et extension des réseaux d'observation classiques et moins classiques à Uvira, Baraka, Kalémie et Moba (température, humidité relative, pluviométrie, écoulement superficiel, érosion, transports solides...) destinés à fournir les données fondamentales,
- Normalisation des observations et des techniques de rassemblement, de compilation et de publication des données,
- Etude minéralogique et chimique approfondie des sédiments,
- Jaugeage des rivières régulières suivantes : Mutambala et Lukuga (seul exutoire du lac Tanganyika),
- Installation des limnigraphes sur les rivières principales ainsi que des appareils enregistrant automatiquement la concentration des matières en suspension dans une rivière.

Bibliographie

1. Germain, R, 1952, Les associations végétales de la plaine de la Ruzizi (Congo Belge) en relation avec le milieu. Publ. INEAC, Série SCI, N° 52, Bruxelles.
2. Ilunga, L, 1984, Le Quaternaire de la plaine de la Ruzizi (étude géomorphologique et lithostratigraphique), Bruxelles.
3. Kahindo, N, 1987, Cartographie géomorphologique du secteur septentrional de la ville d'Uvira (Sud-Kivu), Mémoire ,inédit .ISP / Bukavu.
4. Grzybowski K., 1984, Les résultats préliminaires de l'analyse granulométrique des sable actuels d'Uvira, in Cahier du Ceruki, nouvelle série n° 12, Décembre 1984, ISP Bukavu.
5. Douglass & al. Analytical Sedimentology 199 ?.
6. Rapport annuel : Rapport annuel du territoire d'Uvira 1999.
7. Dubois, J – Th.: Composition chimique des affluents du nord du lac Tanganyika
8. Nouvelot, J–F , 1973: Hydrologie des mayos du Nord–Cameroun. (monographie de la Tsanga), 1973
9. Shaw E. : Hydrology in Practice

Annexes

Annexe : Tableau 1.a : Données pour la rivière Kalimabenge

Date	Température en °C	Débit en m ³ /s	Matières en suspension en mg/l	Débit solide en kg/s
02.03.99	24.2	1.84	810	1,49
09.03.99	22.0	2.029	1110	2,25
18.03.99	19.6	1.627	40	0,07
25.03.99	19.0	6.336	3000	19,01
08.04.99	20.2	1.555	50	0,08
19.04.99	20.1	5.673	3500	19,86
22.04.99	20.4	2.507	190	0,48
06.05.99	19.5	2.223	260	0,58
20.05.99	19.2	2.082	20	0,04
10.06.99	18.4	1.684	30	0,05
24.06.99	18.4	1.523	20	0,03
08.07.99	17.9	1.406	20	0,03
22.07.99	16.8	1.232	20	0,02
04.08.99	20.1	1.533	330	0,51
12.08.99	18.2	1.119	10	1,01
24.08.99	17.8	3.079	499.5	0,54
26.08.99	17.2	1.942	342.4	0,66
09.09.99	17	1.131	14.2	0,02
23.09.99	20.4	1.179	13.5	0,02
07.10.99	20.4	0.979	15.8	0,02
21.10.99	26.8	1.408	24.2	0,03
04.11.99	24.6	0.952	13.3	1,01
11.11.99	20.2	2.675	410.3	1,10
18.11.99	19.2	3.455	774.3	2,68
01.12.99	19.6	3.412	319.1	1,09
09.12.99	22.8	2.484	52.1	0,13
23.12.99	19.8	2.561	322.1	0,82
27.12.99	18.4	9.533	4308.8	41,08
05.01.00	23.4	2.402	228.9	0,55
13.01.00	22.9	1.561	22.4	0,03
28.01.00	24	1.229	19.9	0,02
10.02.00	20.2	1.558	20.9	0,03
24.02.00	21.2	1.237	10.7	0,01
15.03.00	22.8	2.11	40.6	0,09
27.03.00	20.9	1.576	10.6	0,02
Min	16.8	0.952	10	0,01
Max	26.8	9.533	4308.8	41,08

Annexe : Tableau 1 b : Données pour la rivière Mulongwe

	Température en °C	Débit en m ³ /s	Matières en suspension en mg/l	Débit solide en kg/s
02.03.99	20,8	2,212	260	0,58
09.03.99	17,2	11,233	3070	34,49
18.03.99	19	2,299	20	0,05
25.03.99	19,2	5,188	160	0,83
08.04.99	19,2	2,289	40	0,09
19.04.99	22,1	5,188	250	0,87
22.04.99	19,7	2,659	60	0,16
06.05.99	19	3,458	30	0,07
20.05.99	19,2	2,676	20	0,03
10.06.99	18,4	1,407	30	0,04
24.06.99	17,2	1,307	20	0,03
08.07.99	17,5	1,307	20	0,03
22.07.99	15,9	1,43	30	0,04
04.08.99	19,6	1,623	140	0,23
12.08.99	17	1,349	10	0,01
24.08.99	16,8	2,805	171,2	0,48
26.08.99	17	1,687	123,8	0,23
09.09.99	17,2	1,198	20,8	0,02
23.09.99	19	1,255	7,7	0,01
07.10.99	17	1,134	17,7	0,02
21.10.99	25,2	1,094	17,4	0,02
11.11.99	20,9	0,937	24,3	0,02
04.11.99	21	1,83	122,2	0,22
18.11.99	19	1,984	114,9	0,23
01.12.99	20,2	3,977	183,4	0,73
09.12.99	21	2,328	54,8	0,13
23.12.99	18,8	1,777	20,5	0,04
27.12.99	18,4	3,342	412,8	1,38
05.01.00	23,4	2,41	54,9	0,13
13.01.00	19,9	1,434	23,0	0,03
28.01.00	19,8	1,185	16,7	0,02
10.02.00	18,2	1,332	12,1	0,02
24.02.00	21,5	1,027	15,4	0,02
15.03.00	19,6	1,86	21,5	0,04
27.03.00	18,6	1,477	10,7	0,02
Min	15,9	11,223	7,7	0,01
Max	25,2	2,2	3070	34,49

Annexe : Tableau 1 c : Données pour la rivière Kavimvira

	Température en °C	Débit en m ³ /s	Matières en suspension en mg/l	Débit solide en kg/s
02.03.99	23,00	0,6	710	0,43
09.03.99	20,20	3,589	11900	42,71
18.03.99	22,60	0,537	40	0,02
25.03.99	23,40	0,761	130	0,10
08.04.99	21,60	1,181	110	0,13
19.04.99	24,20	0,959	80	0,08
22.04.99	23,20	0,595	30	0,02
06.05.99	20,40	0,502	50	0,03
20.05.99	20,50	0,417	40	0,02
10.06.99	20,80	0,3	30	0,01
24.06.99	21,00	0,337	10	0,00
08.07.99	20,70	0,324	10	0,00
22.07.99	20,00	0,325	20	0,01
04.08.99	20,50	0,577	440	0,25
12.08.99	20,80	0,27	10	0,00
24.08.99	20,70	0,715	146,5	0,10
26.08.99	20,40	0,616	301,9	0,19
09.09.99	20,40	0,277	23,3	0,01
23.09.99	22,00	0,261	12,7	0,00
07.10.99	20,40	0,271	25,5	0,01
21.10.99	29,40	0,229	17,2	0,00
11.11.99	20,60	0,385	12,2	0,00
04.11.99	23,00	0,607	871,4	0,53
18.11.99	20,20	0,664	364,7	0,24
01.12.99	22,20	0,886	187	0,17
09.12.99	21,80	0,336	17	0,01
23.12.99	20,80	0,71	18,8	0,01
27.12.99	22,50	0,771	235,8	0,18
05.01.00	26,00	0,807	21,6	0,02
13.01.00	22,30	0,57	349,7	0,20
28.01.00	22,00	0,383	14,1	0,01
10.02.00	20,80	0,449	10,9	0,00
24.02.00	24,20	0,335	15,3	0,01
15.03.00	21,4	0,563	36,7	0,02
27.03.00	21	0,377	15,7	0,01
Min	20	0,229	10	0,00
Max	29,4	3,589	11900	42,71

Annexe : Tableau 2 a: Débits liquides moyens journaliers et mensuels en m³/s pour la rivière Kalimabenge

Bassin Principal : Lac Tanganyika

Latitude : 03°24'57''S Longitude : 29°08'18''E

Altitude du zéro de l'échelle : 813,87 m

Superficie du bassin versant en km² : non disponible

Rivière : Kalimabenge

Année : 1999 - 2000

	Novembre 99	Décembre 99	Janvier 2000	Février 2000	Mars 2000	
1		2,495	2,050	1,900	1,357	
2		2,374	2,040	1,856	1,365	
3		2,604	2,077	1,682	1,428	
4		2,368	2,437	1,562	1,360	
5		2,083	2,322	1,447	1,357	
6		1,887	2,015	1,540	1,575	
7		1,842	2,102	1,584	1,659	
8		2,300	2,345	1,666	1,382	
9		2,161	2,051	1,739	1,613	
10		1,937	1,909	1,564	2,298	
11		1,900	1,900	1,558	1,900	
12		1,900	1,900	1,530	1,900	
13		1,819	2,067	1,461	1,688	
14		1,969	2,329	1,461	1,678	
15		1,973	2,083	1,461	1,714	
16		1,918	1,928	1,461	1,780	
17		1,893	1,900	1,618	1,643	
18		1,895	1,900	1,465	1,499	
19		1,821	1,976	1,498	1,461	
20		1,821	1,928	1,513	1,461	
21		1,885	1,900	1,363	1,461	
22		2,083	1,900	1,357	1,415	
23	1,975	2,186	1,900	1,357	1,366	
24	1,904	1,900	1,900	1,357	1,357	
25	1,800	1,900	1,900	1,357	1,357	
26	1,833	3,165	1,900	1,357	1,357	
27	1,829	6,784	1,900	1,357	1,350	
28	1,800	2,428	1,900	1,357	1,370	
29	1,792	2,407	1,900	1,357	1,564	
30	2,143	2,853	1,900		1,544	
31		2,324	1,900		1,518	
Total						
Moyenne	1,884	2,286	2,005	1,510	1,541	
Minima	1,792	1,819	1,900	1,357	1,350	
Maxima	2,143	6,784	2,437	1,900	2,298	

Annexe : Tableau 2 b: Débits liquides moyens journaliers et mensuels en m³/s pour la rivière Mulongwe

Bassin Principal : Lac Tanganyika

Latitude : 03°22'43''S Longitude : 29°08'43''E

Altitude du zéro de l'échelle : 781,16 m

Superficie du bassin versant en km² : non disponible

Rivière : Mulongwe

Année : 1999 – 2000

	Novembre 99	Décembre 99	Janvier 2000	Février 2000	Mars 2000	
1		3,054	1,417	1,453	1,439	
2		2,145	1,416	1,453	1,416	
3		4,089	1,416	1,453	1,416	
4		1,850	1,595	1,422	1,416	
5		1,442	2,443	1,446	1,416	
6		1,453	1,850	1,731	1,566	
7		1,453	1,850	2,008	2,388	
8		1,422	1,711	1,470	1,584	
9		1,470	1,446	1,416	1,470	
10		1,418	1,422	1,453	1,470	
11		1,453	1,470	1,588	1,446	
12		1,416	1,470	1,508	1,416	
13		1,453	1,429	1,424	1,416	
14		1,422	1,422	1,416	1,422	
15		1,429	1,470	1,445	1,470	
16		1,453	1,470	1,453	1,647	
17		1,488	1,470	1,453		
18		1,537	1,425	1,453		
19		1,453	1,425	1,422		
20		1,453	1,417	1,416		
21		1,453	1,416	1,453		
22		1,453	1,445	1,453		
23	1,580	1,436	1,453	1,453		
24	1,453	1,453	1,453	1,422		
25	1,746	1,453	1,453	1,470	1,446	
26	1,540	1,453	1,453	1,424	1,417	
27	1,540	2,721	1,453	1,430	1,453	
28	1,618	1,736	1,453	1,453	1,418	
29	1,540	1,687	1,453	1,434	1,460	
30	1,417	2,751	1,453		1,470	
31		1,935	1,453		1,470	
Total						
Moyenne	1,453	1,738	1,515	1,478	1,500	
Minima	1,453	1,416	1,416	1,416	1,416	
Maxima	1,453	4,089	2,443	2,008	2,338	

Annexe : Tableau 2 c: Débits liquides moyens journaliers et mensuels en m³/s pour la rivière Kavimvira

Bassin Principal : Lac Tanganyika

Latitude : 03°21'18''S Longitude : 29°09'17''E

Altitude du zéro de l'échelle : 777,60 m

Superficie du bassin versant en km² : non disponible

Rivière : Kavimvira

Année : 1999 - 2000

	Novembre 99	Décembre 99	Janvier 2000	Février 2000	Mars 2000	
1		0,546	0,693	0,406	0,354	
2		0,547	0,653	0,400	0,399	
3		0,528	0,591	0,447	0,503	
4		0,450	0,659	0,438	0,409	
5		0,397	0,724	0,415	0,400	
6		0,384	0,571	0,533	0,425	
7		0,339	0,514	0,552	0,472	
8		0,380	0,553	0,469	0,460	
9		0,375	0,663	0,447	0,474	
10		0,346	0,642	0,438	0,760	
11		0,325	0,587	0,548	0,840	
12		0,308	0,587	0,496	0,655	
13		0,356	0,587	0,429	0,562	
14		0,456	0,607	0,384	0,526	
15		0,471	0,642	0,375	0,479	
16		0,456	0,567	0,354	0,514	
17		0,804	0,514	0,354	0,514	
18		1,635	0,514	0,346	0,484	
19		1,120	0,514	0,340	0,471	
20		0,959	0,496	0,380	0,447	
21		0,839	0,447	0,375	0,418	
22		0,830	0,447	0,354	0,415	
23	0,400	0,830	0,447	0,346	0,406	
24	0,447	0,753	0,447	0,340	0,409	
25	0,421	0,708	0,438	0,384	0,458	
26	0,419	0,722	0,415	0,375	0,418	
27	0,418	0,815	0,415	0,354	0,406	
28	0,436	0,663	0,415	0,354	0,466	
29	0,357	0,774	0,441	0,354	0,550	
30	0,423	0,947	0,486		0,550	
31		0,708	0,415		0,514	
Total						
Moyenne	0,415	0,638	0,538	0,406	0,489	
Minima	0,357	0,308	0,415	0,340	0,354	
Maxima	0,447	1,635	0,724	0,552	0,840	

Annexe : Tableau 3 b : Débits solides moyens journaliers et mensuels en tonnes par jour pour la rivière Mulongwe

Bassin Principal : Lac Tanganyika

latitude : 03°22'43''S longitude : 29°08'43''E

Altitude du zéro de l'échelle : 781,16 m

Superficie du bassin versant en km² : non disponible

Rivière : Mulongwe

Année : 1999 - 2000

	Novembre 99	Décembre 99	Janvier 2000	Février 2000	Mars 2000	
1		31,279	2,191	2,386	2,309	
2		9,202	2,183	2,386	2,183	
3		85,917	2,183	2,386	2,183	
4		5,508	3,298	2,213	2,183	
5		2,324	14,446	2,350	2,183	
6		2,386	5,508	4,374	3,097	
7		2,386	5,508	7,323	12,405	
8		2,213	4,205	2,485	3,220	
9		2,485	2,350	2,182	2,485	
10		2,195	2,213	2,386	2,350	
11		2,386	2,485	3,245	2,183	
12		2,184	2,485	2,715	2,183	
13		2,386	2,256	2,226	2,213	
14		2,213	2,213	2,183	2,485	
15		2,256	2,485	2,341	3,688	
16		2,386	2,485	2,386	17,732	
17		2,590	2,485	2,386	9,665	
18		2,900	2,235	2,386	9,665	
19		2,386	2,235	2,213	5,508	
20		2,386	2,191	2,182	5,508	
21		2,386	2,183	2,386	5,508	
22		2,386	2,341	2,386	3,439	
23	3.194	2,294	2,386	2,386	3,439	
24	2.386	2,386	2,386	2,213	3,439	
25	4.507	2,386	2,386	2,485	2,350	
26	2.920	2,386	2,386	2,226	2,189	
27	2.920	20,965	2,386	2,262	2,386	
28	3.468	4,418	2,386	2,386	2,195	
29	2.920	4,008	2,386	2,280	2,428	
30	2.191	21,793	2,386		2,485	
31		6,444	2,386		2,485	
Total						
Moyenne		7,801	3,021	2,612	4,122	
Minima		2,184	2,183	2,182	2,183	
Maxima		85,917	14,446	7,323	17,732	

Annexe : Tableau 4 : Principales caractéristiques hydrologiques des rivières Kalimabenge, Mulongwe et Kavimvira.

	Rivière	Période d'observation	Nombre de jours	Hauteur d'eau en mètres			Débit liquide en m ³ /s			Débit solide tonnes / jour		
				Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
1	Kalimabenge	23.11.99 – 31.03.2000	130	0.10	0.18	0.49	1.35	1.84	6.78	0.56	19.5	1193.67
2	Mulongwe	23.11.99 – 31.03.2000	130	0.04	0.06	0.13	1.42	1.58	4.09	2.18	2.18	85.92
3	Kavimvira	23.11.99 – 31.03.2000	130	0.21	0.28	0.51	0.31	0.51	1.63	0.31	2.32	55.27

	Rivière	Période d'observation	Nombre de jours	Superficie du bassin km ²	Volume total (million m ³)	Quantité de matières solides (tonnes)	Taux de dégradation spécifique (t/km ²)
1	Kalimabenge	23.11.99 – 31.03.2000	130	Non disponible	20 708	2 519	Non disponible
2	Mulongwe	23.11.99 – 31.03.2000	130	Non disponible	17 771	558	Non disponible
3	Kavimvira	23.11.99 – 31.03.2000	130	Non disponible	5 765	302	Non disponible