



Traitement des eaux dures par les graines de *Moringa oleifera* : cas de la rivière Mutimi en République Démocratique du Congo.

Kasanya Kalenga Julien¹, Maloba Mwinesenge James¹, Kalwa Mwenge Ramoza², Mwelwa Ngenjo Joe⁵, Kibesa Mutakwe Dieudonné³, Kisanguka Mumba Ursule-praxède¹, Mpundu Mubemba Mulambi Michel^{3&4}.

¹Département de chimie-physique, Institut supérieur pédagogique de Lubumbashi, BP 1796, Lubumbashi, RD Congo ;

²Département d'anglais et culture africaine, Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi, BP 1796, Lubumbashi, RD Congo ;

³Département de géographie et gestion de l'environnement, Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi, BP 1796, Lubumbashi, RD Congo ;

⁴Département de phytotechnie, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi BP 1825, Lubumbashi, RD Congo ;

⁵Département de criminologie environnementale, Faculté de criminologie, Université de Lubumbashi BP 1825, Lubumbashi, RD Congo

Auteur pour la correspondance : jkalenga03@gmail.com; +243827669191

Submitted on 3rd May 2021. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st August 2021
<https://doi.org/10.35759/JABs.164.1>

RESUME

Objectifs : La présente étude a été initiée dans le but d'évaluer le degré de dureté de l'eau de la rivière Mutimi et de le réduire par traitement par coagulation-chélation des ions calcium ou magnésium, à l'aide de la poudre fine issue du broyage des graines sèches de *Moringa oleifera* (*M. oleifera*).

Méthodologie et résultats : Les résultats obtenus ont montré que le traitement de l'eau de la rivière Mutimi à la dose de 300 mg/l de la poudre fine obtenue de graines sèches de *M. oleifera*, après 2H de décantation, permet la réduction moyenne d'environ 96,5% de dureté totale (DT).

Conclusion et application des résultats: le traitement de l'eau dure et inapte à la lessive permet de la rendre potentiellement apte à la lessive et à d'autres tâches ménagères des populations riveraines. Au regard de l'état de pauvreté des riverains ruraux incapables de se procurer du savon synthétique, les méthodes viables pour le traitement des eaux, outre leur performance, doivent être simples, accessibles et de moindre coût

Mots clés : *M. oleifera*; Mutimi; dureté; calcium; magnésium.

Treatment of hard water used for washing by *Moringa oleifera* seeds in Democratic Republic of Congo (DRC): Case of Mutimi River.

ABSTRACT

Objectives: This present study aimed to evaluate the hardness degree of the water from Mutimi River and to treat it with dried *M. oleifera* seeds powder as chelate-coagulant of calcium and magnesium ions.

Methodology and results: The results showed that the treatment of the water from the Mutimi River thanks to coagulation-chelation of Calcium and Magnesium ions with the dose of 300 mg/l obtained by using dried *M. oleifera* seeds powder can permit to reduce the total hardness at the average of 96.5%, after two hours of decantation.

Conclusion and Application of Research Results: Treatment of hard, non-washing water can make it potentially suitable for washing and other household chores for riverine populations. Given the poverty of rural residents unable to afford synthetic soap, viable methods for water treatment, in addition to their performance, must be simple, accessible and low cost.

Key words: water for washing; *M. oleifera*; Soap consumption; hardness; calcium; magnesium.

INTRODUCTION

Dans des endroits où il n'existe pas de système distribution d'eau traitée, les habitants se contentent d'utiliser de l'eau brute (OMS, 2005 et Santé CANADA, 2013) Les habitants riverains de la MUTIMI se plaignent de la consommation excessive du savon lors de la lessive. La rivière est située à 254 km de la ville de Lubumbashi (Haut- Katanga/RDC) et traverse des zones karstiques remplies des stalactites et stalagmites. Selon l'OMS et l'UNICEF (2000), dans des eaux dures chargées en ions positifs, les savons et détergents sont moins efficaces et doivent être mobilisés en plus grandes quantités pour un résultat équivalent. Leur utilisation est donc plus coûteuse. Lorsque l'eau est dure (ROYER, 2004) elle inhibe le pouvoir détersif du savon. Cette inhibition du pouvoir détersif est due à la transformation des savons ordinaires qui sont des sels alcalins d'acides gras produits par saponification des graisses naturelles en sels alcalino-terreux d'acides gras. Ce qui conduit à la précipitation du savon. Selon Traore (2003) et Dianou *et al* (2011) certaines eaux de rivière et de marigot continuent d'être utilisées en milieu rural pour la consommation humaine, la lessive, notamment dans la vallée du Sourou au

Burkina Faso. Il ressort clairement la nécessité de traiter les eaux dans certaines régions rurales pour un accès effectif à l'eau de bonne qualité et pour l'atteinte des OMD dans ce secteur. La précipitation des cations sous forme des sels peu solubles et la coagulation-chélation sont des méthodes permettant d'éliminer des ions positifs (Desjardins 1997; Kabore *et al* 2013 ; Rudof, 2015). Ces deux procédés très importants figurent parmi les étapes du traitement conventionnel des eaux et le premier procédé utilise généralement de la chaux vive, des acides comme précipitants. Tandis que le deuxième utilise généralement l'EDTA et d'autres substances comme chélates. Outre ces substances chimiques, des études ont montré l'efficacité de certaines substances organiques en tant que coagulant et chélate. Selon JAHN (1988b), les plantes utilisées pour le traitement de l'eau doivent remplir certaines conditions. Elles doivent être faciles à produire et leur coagulant facile à doser. En outre, elles ne doivent pas présenter de toxicité. Les graines de *M. oleifera* répondent très bien à ces critères. Au regard de l'état de pauvreté des riverains ruraux de la MUTIMI, les méthodes viables pour le traitement des eaux, outre leur performance,

doivent être simples, accessibles et de moindre coût. D'après Folkard et Sutherland (1992), les technologies associées au traitement de l'eau doivent être aussi simples que possibles, robustes et abordables à installer et à entretenir dans les pays en développement. Ainsi, certaines études (Kabore, 2011 ; Kabore et al 2013 ; Jayaprakash et al., 2015) ont montré l'efficacité des graines de *M. oleifera* dans la déminéralisation des eaux. L'étude a pour but de traiter cette eau par coagulation-chélation

MATERIEL ET METHODES

Les propriétés chélatantes des graines sèches de *M. oleifera* ont été exploitées pour réaliser la coagulation-chélation afin d'éliminer les ions calcium et magnésium des eaux. La démarche a consisté à apporter la poudre fine obtenue du broyage des graines sèches de *M. oleifera* à des échantillons d'eau brute puisée dans la rivière utilisée pour la lessive, et évaluer leurs caractéristiques physico-chimiques. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons d'eaux traités ont été comparées à celles des échantillons non traités ainsi qu'aux normes de potabilité des eaux de l'OMS.

Échantillonnage : Des échantillons d'eau ont été prélevés au cours de deux campagnes d'échantillonnage (janvier et juillet 2020) dans des bassins de ménage en plastique aux endroits (sites) de la rivière où les riverains pratiquent la lessive. Trois sites de prélèvement des échantillons d'eau ont été aléatoirement sélectionnés pour les deux campagnes ; Pour chaque site, un échantillon d'1 litre d'eau a été prélevé soit un total de 6 échantillons prélevés pour les 2 campagnes et acheminés au laboratoire d'analyse.

Préparation du coagulant de *M. oleifera* : Les graines sèches de *M. oleifera* ont été décortiquées puis broyées selon la technique décrite par FOLKARD et SUTHERLAND (1992). Ensuite, 300 mg de poudre fine issue

des ions calcium et magnésium avec les graines de *M. oleifera* afin de la rendre potentiellement apte à la lessive et à d'autres tâches ménagères. L'usage de *M. oleifera* que nous avons proposé aux riverains incapables de se procurer le savon synthétique, permet la chélation des ions métalliques dont les ions calcium et magnésium. Car la culture de *M. oleifera* est l'une des activités pratiquées dans cette région.

du broyage des graines *M. oleifera* ont été dissous dans 1 litre d'eau échantillonnée (pratiquement 6 g soit l'équivalent d'une cuillère à soupe dans un bidon de 20 litres). Le mélange obtenu a été agité durant 1H afin d'extraire le coagulant chélatant qui a été utilisé pour traiter les eaux (Jahn, 1988a et Kabore et al., 2013). Les teneurs en Ca et Mg, la dureté totale et la conductivité ont été mesurées avant et après 2 heures de décantation (Conditions jugées optimales pour les eaux très minéralisées par Jahn, 1988b), afin d'évaluer l'effet du traitement sur la composition physico-chimiques des eaux.

Analyse du laboratoire : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes ainsi que celles du coagulant-chélatant extrait des graines sèches de *M. oleifera* ont été déterminées. Les teneurs totales en Ca et Mg, la dureté totale (DT) et la conductivité (CE) ont été déterminées avant et après traitement durant 2H de décantation (Jahn, 1988b), les concentrations en calcium, magnésium, et dureté totale ont été déterminées selon les méthodes titrimétriques dont les principes sont conformes aux normes françaises, respectivement NF T 90-016 pour le calcium-magnésium, et NF T 90-003 pour la dureté totale. La conductivité a été lue à l'aide du conductimètre de marque HANNA.

Analyse Statistique : Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel statistique XLSTAT-Pro7.5 et les moyennes ont été

comparées en utilisant le test T pour échantillons appariés au seuil de probabilité $P = 5 \%$. La dureté totale été évaluée suivant les normes de référence de l'OMS pour les eaux.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats d'analyse des échantillons d'eau prélevés dans la rivière Mutimi avant traitement au cours de deux campagnes

d'échantillonnage ont été repris dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du coagulant et des eaux brutes de différents sites prélevées en saison de pluie et en saison sèche avant traitement au *M. oleifera*

	DC (°F)	DM (°F)	DT (°F)	CE (µS/cm)
SP₁	172,0	237,8	409,8	6180,0
SP₂	186,5	243,3	429,8	6108,0
SP₃	183,4	248,3	431,7	6136,0
Moy	180,6	243,1	423,8	6141
SS₁	145,1	220,0	365,1	5141,0
SS₂	138,2	208,4	346,6	5060,0
SS₃	139,4	210,6	350,0	5005,0
Moy	140,9	213,0	353,9	5068
<i>M. Oléifera</i>	0,0	0,0	0,0	87,1

(Dureté Calcique: DC, Dureté Magnésienne: DM, Dureté Totale: DT et Conductivité: CE)

Saison de pluie (SP1, SP2 et SP3) et en saison sèche (SS1, SS2 et SS3)

Par ailleurs les analyses effectuées sur les graines sèches ont montré que celles-ci ne contiennent pas de Ca et Mg. Par contre, la solution préparée avec ces graines a présenté cependant une conductivité de 87,1 µS/cm. Cela s'explique par le fait que le coagulant (*M. oleifera*) pourrait contenir d'autres minéraux, car (KABORE et al, 2013) ont trouvé dans les graines sèches de *M. oleifera* récoltées à Ouagadougou, une teneur non négligeable en

nitrites, nitrates, des sulfates et matière organique. En ce qui concerne les échantillons d'eau, les valeurs élevées des paramètres physico-chimiques obtenues en saison pluvieuse (Tableau 2), pourraient être attribuées aux apports en stalactites et stalagmites dans la rivière par le ruissèlement, du fait que, la rivière traverse les zones karstiques.

Tableau 2 : Valeurs moyennes de paramètres physico-chimiques des eaux prélevées en saisons pluvieuse(SP) et sèche (SS) avant(Av) traitement au *M. oleifera*

DC (°F)			DM (°F)			DT (°F)			CE (µS/cm)		
SP	SS	P	SP	SS	P	SP	SS	P	SP	SS	P
180,6 ^a	140,9 ^b	0,001	243,1 ^a	213,0 ^b	0,021	423,8 ^a	353,9 ^b	0,006	6141,2 ^a	5068,0 ^b	<0,001

(Dureté Calcique: DC, Dureté Magnésienne: DM, Dureté Totale: DT et Conductivité: CE). Pour chaque paramètre, les valeurs qui ont des lettres différentes dans une même ligne sont significativement différentes selon le test T pour échantillons appariés au seuil de probabilité $p = 5\%$

En ce qui concerne les échantillons d'eaux, la comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques (dureté et conductivité) obtenues, par le test T pour échantillons appariés, a révélé pour l'ensemble des paramètres, l'existence des différences significatives pour les échantillons prélevés en saison pluvieuse et pour ceux de la saison sèche (tableau 2), les valeurs élevées des paramètres physico-chimiques en saison

pluvieuse pourraient être attribuées aux apports en stalactites et stalagmites dans la rivière par le ruissèlement, du fait que, la rivière traverse les zones Karstiques. Les résultats (tableaux 1 et 2) ont montré que les eaux de la rivière MUTIMI sont extrêmement dures aussi bien pour les échantillons prélevés en saison pluvieuse que pour ceux de la saison sèche, selon la norme de l'OMS (l'eau est trop dure pour TH>40).

Tableau 3 : Valeurs moyennes de dureté et de conductivité (CE) des eaux prélevées en saisons de pluie (SP) et sèche (SS) avant(Av) et après (Ap) traitement au *M. oleifera*

	DC (°F)		DM (°F)		DT (°F)		CE (µS/cm)		
	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	P
SP	180,6 ^a	8,7 ^b	243,1 ^a	4,8 ^b	423,8 ^a	13,4 ^b	6141,2 ^a	195 ^b	<0,001
SS	140,9 ^a	6,7 ^b	213,0 ^a	4,0 ^b	353,9 ^a	10,7 ^b	5068,0 ^a	120 ^b	<0,001

(Dureté Calcique: DC, Dureté Magnésienne: DM, Dureté Totale: DT)

Pour chaque paramètre, les valeurs qui ont des lettres différentes dans une même ligne sont significativement différentes selon le test T pour échantillons appariés au seuil de probabilité $P = 5\%$.

La comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques (dureté et conductivité) obtenues, par le test T pour échantillons appariés, a révélé pour l'ensemble des paramètres, l'existence des différences significatives avant et après traitement au *M. oleifera* (tableau 3). En comparant les des

moyennes des paramètres physico-chimiques (dureté et conductivité) trouvées après traitement pour les deux saisons, il ressort du test T pour échantillons appariés que les valeurs de dureté et de conductivité sont similaires entre la saison pluvieuse et la saison sèche (tableau 4).

Tableau 4 : Valeurs moyennes de paramètres physico-chimiques des eaux prélevées en saisons pluvieuse(SP) et sèche (SS) après (Ap) traitement au *M. oleifera* (Dureté Calcique: DC, Dureté Magnésienne: DM, Dureté Totale: DT et Conductivité: CE

DC (°F)			DM (°F)			DT (°F)			CE (µS/cm)		
SP	SS	P	SP	SS	P	SP	SS	P	SP	SS	P
8,7 ^a	6,7 ^a	0,835	4,8 ^a	4,0 ^a	0,773	13,5 ^a	10,7 ^a	0,587	195,0 ^a	120,0 ^a	0,093

Pour chaque paramètre, les valeurs qui ont des mêmes lettres dans une même ligne ne sont pas significativement différentes selon le test T pour échantillons appariés au seuil de probabilité $p = 5\%$

Le traitement des échantillons d'eau à une dose de $300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de *M. oleifera*, et après 2H de décantation a permis d'atteindre la dureté totale acceptable, selon la norme de l'OMS pour l'eau douce ($7 \leq \text{TH} \leq 15$), aussi bien pour les échantillons prélevés en saison pluvieuse ($13,5^\circ\text{F}$) que pour ceux de la saison sèche ($10,6^\circ\text{F}$). Les réductions moyennes de l'ordre de 95 % en DC, 96% en DT, 97% en CE et 98 % en DM, ont été enregistrées. En accord avec nos résultats Une baisse très significative des concentrations en magnésium a été observée par Kabore et al (2013) pour les eaux de Burkina Faso, pour les deux saisons. Les graines sèches de *M. oleifera* contiennent des huiles essentielles et des métabolites secondaires, composés des structures chimiques nécessaires à la chélation, l'adsorption et l'absorption des ions métalliques, y compris les métaux lourds (Ma Ali et al., 2008 ; Jayaprakash et al, 2015). Selon Folkard et al. (1992), la dose de graines sèches de *M. oleifera* nécessaire pour le traitement se situe entre 75 et $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, selon la turbidité initiale de l'eau. Les études menées par Kabore et al (2013) ont montré que selon la turbidité de l'eau, la dose optimale de coagulant se situe entre 250 et $8000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ pour obtenir des valeurs répondant à la norme de potabilité des eaux de boisson. La présente étude a permis de constater qu'au-delà de $300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, la turbidité de l'eau de la rivière Mutimi traitée reste uniformément élevée suite à un excès des matières organiques du coagulant qui affectent même sa qualité organoleptique. Fatombi et al. (2009) ont montré que les graines sèches de *M. oleifera*

contiennent près de 94 % de matières organiques et entraînent une augmentation du taux de matières organiques dans l'eau traitée (entre 100 à 400 %). Toutefois Folkard & Sutherland (1992), Folkard (1997) ont montré que la réduction des minéraux n'est pas uniquement proportionnelle à la dose, mais tient compte aussi de la qualité de la graine, de la variété de *M. oleifera*, soit de la concentration en structures chimiques actives. La durée de décantation comprise entre 1,5 et 2H a permis une élimination très significative de la dureté des eaux. Bien que la durée de décantation de 24H pourrait améliorer les valeurs de dureté, les riverains de la Mutimi ne pourraient pas supporter cette longue durée d'attente, mais aussi, cette durée pourrait affecter la qualité organoleptique des eaux traitées (odeur, goût, aspect) du fait de la présence des matières organiques issues des graines sèches de *M. oleifera*. Parallèlement, Jahn (1988a) a conseillé une décantation de 1-2H, suivie d'une filtration en vue d'éliminer les particules résiduelles en suspension. La coagulation-chélation avec des graines sèches de *M. oleifera* est basée sur l'adsorption et la neutralisation dans l'eau de particules chargées négativement (colloïdes) par des charges positives des protéines actives et de métaux par les huiles essentielles, les flavonoïdes et les alcaloïdes contenant des structures chimiques chélatantes (MA Ali et al., 2008 ; Vikashni et al., 2012 ; Mpundu M.M. et al., 2013 ; Jayaprakash et al., 2015). Ce mécanisme pourrait expliquer la réduction de la DC, de la DM et de la DT avec les colloïdes pour ces échantillons ($P < 0,001$). Le test de

corrélation entre la DC, DM et DT par rapport à la CE a montré une tendance significativement positive ($P < 0,0001$). Les

corrélations (r) obtenues ont été de 0,991 pour la DM, 0,998 pour la DC et 0,989 pour la DT (Tableau 3).

Tableau 3 : Corrélation Dureté – Conductivité ($P < 0,0001$).

<i>Sources de corrélation</i>	<i>R</i>
<i>DT x CE</i>	<i>0,989</i>
<i>DC x CE</i>	<i>0,998</i>
<i>DM x CE</i>	<i>0,991</i>

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude avait pour but d'évaluer et de réduire le degré de dureté de l'eau de la rivière Mutimi par coagulation-chélation des ions calcium ou magnésium à l'aide de la poudre extraite des graines sèches de *M. oleifera*, en vue de la rendre potentiellement apte à la lessive et d'autres tâches ménagères des riverains. L'analyse des échantillons au laboratoire montre que l'eau de la rivière Mutimi présente une dureté totale (DT) très élevée, à cause de la présence de fortes teneurs en Ca et Mg qui proviennent des zones karstiques. Le traitement de l'eau de la rivière Mutimi à la dose de $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de poudre obtenue de graines sèches de *M. oleifera*, et après 2H de décantation permet d'atteindre la DT acceptable, selon la norme de l'OMS pour l'eau douce ($7 \leq \text{TH} \leq 15$), aussi bien pour les échantillons prélevés en saison pluvieuse ($13,5^\circ\text{F}$) que pour ceux de la saison sèche

($10,6^\circ\text{F}$). La dureté totale de l'eau de la rivière Mutimi est réduite de 96,8 % en saison de pluie et 97% en saison sèche par un traitement aux extraits de *M. oleifera* pendant plus ou moins deux heures. Les huiles essentielles, les flavonoïdes et les alcaloïdes contenus dans les graines de cette légumineuse pourraient absorber ou adsorber les ions métalliques contenus dans l'eau et réduire ainsi la dureté de l'eau de la rivière Mutimi, afin de rendre cette eau plus apte à la lessive et à d'autres tâches ménagères des populations riveraines. Sur base de nos résultats, nous avons pu confirmer l'usage des plantes traditionnelles pour adoucir de l'eau. Nous pensons que d'autres études devraient identifier les huiles essentielles, les flavonoïdes et les alcaloïdes particuliers qui absorbent ou adsorbent les ions métalliques contenus dans l'eau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Caritas développement Goma, 2015. Moringa Oléifera : une plante dont les feuilles améliorent l'état nutritionnel des PVV. 3e Edition caritas. PP20-25.
- Desjardins R., 1997. *Le traitement des eaux*. Presses Internationales Polytechniques, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal, Canada. Deuxième édition revue et enrichie. 540 p.
- Dianou D., Savadogo B., Zongo D., Zougouri T., Poda J.N., Bado H. et Rosillon F., (2011). Qualité des eaux de surface dans la vallée du Sourou : cas des rivières Mouhoun, Sourou, Débé et Gana au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 : 1571-1589
- Faby J.A. et Eleli A., 1993. *Utilisation de la graine de Moringa, essais de floculation au laboratoire et en vraie grandeur*. CIEH/EIER/Oieau. Série hydraulique urbaine et assainissement. Ouagadougou, Burkina Faso. 132 p.
- Fatombi K.J., Josse R.G., Mama D. et Aminou T., 2009. Étude de l'activité floculante de la caséine acide extraite de la crème de *Cocos nucifera* dans la clarification

- des eaux de surface. *Rev. Sci. Eau*, 22: 93-101.
- Folkard G., 1997. *The development of the Moringa oleifera and stenopetala tree to provide valuable products: coagulant for water/wastewater treatment and vegetable oil*. Rapport à la Commission Européenne, DG 12, projet de recherche N° TS3CT94-0309, période 1995-1997.
- Folkard G. et Sutherland J., 1992. *Development of robust water treatment systems incorporating natural coagulants*. Field study report, January-March 1992, Thyolo, Malawi. 16 p.
- Folkard G. et Sutherland J., 2002. Development of a naturally derived coagulant for water and wastewater treatment. *Water Suppl.*, 2: 89-94.
- Hossam A. et Alghamdi A., 2011. Enhancement of quality of secondary industrial wastewater effluent by coagulation process: A case Study. *J. Environ. Protec.*, 2: 1250-1256
- Jahn S.A.A., 1988a. Using *Moringa* seeds as coagulants in developing countries. *J. AWWA*, 80: 43-50
- Jahn S.A.A., 1988b. Chemotaxonomy of flocculating plant materials and their application for rural water purification in developing countries. *Acta Univ. Ups. Symb. Bot. Ups.*, 28: 171-185
- Jayaprakash M., Senthil Kumar R., Giridhanan L., Sujitha SB., Sarkar S.K. & Jonathan MP., 2015. Bioaccumulation of metals in fish species from water and sediments in macrotidal Ennore Creek, Chennai, SE coast of india: A metropolitan city effect. *Ecotoxicology and environmental safety* 120:243-255
- Kabore A., Savadago B., Rosillon F., Straore A. & Dianou D., 2013. Optimisation de l'efficacité des graines de moringa oleifera dans le traitement des eaux de consommation en Afrique subsaharienne : Cas des eaux du Burkina Faso. *Revue des sciences de l'eau*, 26(3) : 209–220
- Ali M.A., Sayeed M.A., Roy R.K., Yeasmin S., Khan A.M., 2008. Comparative study on characteristics of seeds oils and nutritional composition of seeds from different varieties of Tobacco (*Nicotiana tabacum*L) cultivated in Bangladesh. *Asian journal* vol 3: 203-2012
- Mpundu M.M. M., Useni S.Y., Ntumba N.F., 2013. Évaluation des éléments traces métalliques dans les légumes feuilles vendus dans les marchés de la zone minière de Lubumbashi. *J. Appl. Biosci.*, 66:5106– 5113
- OMS, 2005. Les effets de l'environnement sur la santé de la mère et de l'enfant. OMS, fév. 2005, aide-mémoire N° 284, Genève, Suisse. PP 24-27
- OMS/UNICEF, 2000. *Global water supply and sanitation assessment report*, Genève, Suisse, 77 p.
- Royer J., 2004. Physique-chimie. Ed Hatier, paris. PP160-175.
- Rudolf H., 2015. L'eau, la dureté de l'eau, l'adoucissement de l'eau, les essais d'Anticaro. Muhlestrasse, profatec AG. PP 5-14
- Santé Canada, 2013. Critères pour la qualité de l'eau de surface. 3e Edition Québec. PP510-526
- Traore I., 2003. Impact des facteurs géographiques sur le développement des Schistosomiasis dans la vallée du Sourou. Mémoire de Maîtrise en Géographie. Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 118 p.
- Vikashni N., Matakite M., Kanayathu K. et Subramaniam S., 2012. Water purification using *Moringa oleifera* and other locally available seeds in Fiji for heavy metal removal. *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, 2: 125-129.