

Effet d'un traitement couplant la coagulation-floculation par la poudre des graines de *Moringa oleifera* Lam. et la filtration sur sable fin associé au charbon de bois sur la purification des eaux de la rivière Kalamu à Kinshasa

[Effect of a treatment combining coagulation-flocculation with *Moringa oleifera* Lam seed powder and fine sand filtration combined with charcoal on the purification of water from the Kalamu River in Kinshasa]

Roger Kalonga Kalonga¹, Michel Mubiala Katala², and Daniel-Bienvenu Sifa Kwa Mungu²⁻³

¹Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Gestion des Ressources Naturelles. BP. 117 Kin XI, RD Congo

²Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Chimie et Industries Agricoles. BP. 117 Kin XI, RD Congo

³Direction de Protection de l'Environnement Minier du Ministère des Mines Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 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: Access to drinking water remains a major concern in the Democratic Republic of Congo, particularly in the city-province of Kinshasa where the populations are confronted with the optimal management of water points, the insufficiency of hygiene and sanitation, the low drinking water supply rates and the lack of appropriate water disinfection methods at the family level. Therefore, the integration of biological processes for the treatment of river water could be a sustainable alternative in improving the quality of drinking water, due to the availability and non-toxicity of the substances used. This study aims to test the effectiveness of *M. oleifera* seed powder in purifying the waters of the Kalamu River. The methodology adopted consisted in the treatment of water samples from the mentioned river by coagulation-flocculation with *M. oleifera* seed powder coupled with filtration on fine sand associated with charcoal. The procedure began with the preparation of the colloid solutions. To do this, each of the three different doses (0.5 g/l, 1g/l and 1.5 g/l) of *M. oleifera* seed powder was mixed with 100 ml of water from said river. Then, each solution of the colloids was added to 900 ml of water sample to be treated. After mixing and a rest period, the treated water samples were filtered. To assess the effectiveness of this process, the physicochemical parameters (turbidity, pH, dissolved oxygen, ammonium, nitrates, nitrites, phosphate, COD, BOD₅, electrical conductivity and total hardness) and microbiological (*E. coli*, Faecal streptococci and total Coliforms) of the treated water were evaluated after the filtration step. For all the treated water samples, the best dose was 0.5 g/l of *M. oleifera* seed powder because it significantly improved all the parameters analyzed up to the potability standards prescribed by the WHO.

KEYWORDS: Polluted waters, potability, parameters, physicochemical, microbiological.

RESUME: L'accès à l'eau potable demeure une très grande préoccupation en République Démocratique du Congo, particulièrement dans la ville province de Kinshasa où les populations sont confrontées à la gestion optimale des points d'eau, à l'insuffisance d'hygiène et d'assainissement, aux faibles taux de desserte en eau potable ainsi qu'au manque des méthodes appropriées de désinfection de l'eau à l'échelle familiale. De ce fait, l'intégration des procédés biologiques de traitement des eaux de rivière pourrait être une alternative durable dans l'amélioration de la qualité des eaux de boisson, du fait de la disponibilité et de la non-toxicité des substances utilisées. La présente étude vise à tester l'efficacité de la poudre des graines

de *Moringa oleifera* dans la purification des eaux de la rivière Kalamu. La méthodologie adoptée a consisté au traitement des échantillons d'eau provenant de ladite rivière par coagulation-floculation avec la poudre des graines de *M. oleifera* couplée à la filtration sur sable fin associé au charbon de bois. La procédure a débuté par la préparation des solutions des colloïdes. Pour ce faire, chacune des trois différentes doses (0,5 g/l, 1g/l et 1,5 g/l) de la poudre des graines de *M. oleifera* a été mélangée avec 100 ml d'eau provenant de ladite rivière. Ensuite, chaque solution des colloïdes a été ajoutée à 900 ml d'échantillon d'eau à traiter. Après le mélange et un temps de repos, s'en est suivie la filtration des échantillons d'eau traitée. Pour évaluer l'efficacité de ce procédé, les paramètres physicochimiques (turbidité, pH, Oxygène dissous, ammonium, nitrates, nitrites, phosphate, DCO, DBO₅, conductivité électrique et dureté totale) et microbiologiques (*Escherichia coli*, Streptocoques fécaux et Coliformes totaux) de l'eau traitée ont été évalués après l'étape de filtration. Pour tous les échantillons d'eau traitée, la meilleure dose a été de 0,5 g/l de la poudre des graines de *M. oleifera* car elle a permis d'améliorer sensiblement tous les paramètres analysés jusqu'aux normes de potabilité prescrites par l'OMS.

MOTS-CLEFS: Eaux polluées, potabilité, paramètres, physicochimiques, microbiologiques.

1 INTRODUCTION

La République Démocratique du Congo (RDC) est l'un des pays du monde à posséder un potentiel très élevé en ressources en eau. Ceci constitue un atout majeur pour son développement car l'eau est reconnue comme ayant une valeur économique, en plus de son caractère vital. Il s'avère que jusqu'à ce jour ce pays ne profite presque pas de cette opportunité mais fait plutôt face à d'énormes difficultés dans le secteur de gestion de l'eau [1]. Le rapport du Programme National Ecole et Village Assainis atteste que la RDC a un sérieux dilemme en matière de gestion d'eau parce que ce pays possède plus de 50 % des réserves d'eau du continent africain mais, malgré ce potentiel fabuleux, 33 millions de personnes en milieu rural n'ont pas accès à l'eau de qualité, seulement 52 % de la population a accès à un point d'eau amélioré et 29 % à des installations sanitaires améliorées [2]. En effet, dans les quartiers périurbains et les zones rurales de la RDC, l'éloignement des points d'eau constitue un problème pour l'alimentation en eau potable des populations qui n'ont pas accès à un réseau ou à un point d'eau individuel. A certains endroits, les femmes et les enfants doivent parcourir des longues distances à pied pour puiser l'eau nécessaire aux ménages.

Face à toutes les difficultés ci-dessus évoquées, l'intégration des techniques écologiques de traitement des eaux de rivières paraît une des solutions pouvant réduire le déficit d'approvisionnement en eau potable en RDC et toutes les maladies d'origine hydrique dont elle est la cause. Plusieurs auteurs, en RDC et dans certains pays d'Afrique, ont eu à faire face à cet épineux problème de disponibilité d'eau potable pour les ménages. Parmi ceux-ci, Ngbolua *et al.* [3] ont tenté de purifier l'eau de mare du plateau de Batéké avec *M. oleifera* et *Vetivera zizanioides*, tandis que Kaboré *et al.* [4] ont mis au point un dispositif qui a permis de purifier l'eau de puits par son traitement à partir d'un dispositif combinant la coagulation-floculation des impuretés provoquée par les tourteaux des grains de *M. oleifera* et la filtration sur une masse filtrante constituée de sable fin et de charbon de bois. Toutefois, la richesse du réseau hydrographique de la ville province de Kinshasa, comme du reste du pays, qui entre en contraste avec le besoin en eau potable que ressent la population kinoise, inspire l'initiation des travaux qui permettent à la population de se prendre en charge en matière de potabilisation de l'eau dont elle a besoin pour ses besoins domestiques. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude au cours de laquelle sera expérimenté un dispositif combinant la poudre des graines de *M. oleifera*, le sable fin et le charbon de bois pour le traitement des eaux de la rivière Kalamu afin d'en améliorer la potabilité.

Cette recherche part de l'hypothèse que l'utilisation d'un procédé couplant la coagulation-floculation à partir de la poudre des graines de *M. Oleifera* avec la filtration sur sable fin associé au charbon de bois permettrait la purification des eaux de la rivière Kalamu afin de les rendre potables pour une consommation humaine. Son principal objectif est de tester, dans la purification de l'eau de la rivière Kalamu, l'efficacité d'un traitement couplant la coagulation-floculation des impuretés de l'eau de ladite rivière par la poudre des graines de *M. oleifera* et sa filtration sur une couche constituée de sable fin associé au charbon de bois. D'une manière spécifique, la présente étude vise à (1) déterminer la meilleure dose de *M. oleifera* à utiliser pour purifier les échantillons d'eau de la rivière Kalamu prélevés dans le cadre de cette étude, (2) rendre la teneur en microorganismes indicateurs de pollution hydrique et les caractéristiques physicochimiques de l'eau traitée conformes aux normes internationales de potabilité des eaux de consommation humaine et (3) comparer l'efficacité de la poudre des graines de *M. oleifera* et celle d'un produit pharmaceutique très utilisé à Kinshasa dans la purification des eaux des rivières.

Il sied de souligner qu'une très grande partie de la population congolaise connaît un sérieux problème d'approvisionnement en eau potable, comme cela a été exposé plus haut. C'est dans ce contexte que sujet trouve son intérêt dans la mesure où les résultats trouvés à la fin de son expérimentation vont contribuer au bien-être de la population kinoise, essentiellement par

l'augmentation de la quantité d'eau potable disponible pour les différents besoins domestiques de cette dernière. La disponibilité et l'accessibilité des graines de *M. Oleifera* ainsi que sa non-toxicité justifient le choix de celles-ci.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉCHANTILLONNAGE

La rivière Kalamu, dans le tronçon situé entre les communes urbaines de Selembao et Bumbu dans la ville de Kinshasa, a été le site sélectionné pour le prélèvement des échantillons d'eau utilisée au cours de cette étude. Cette rivière prend sa source au quartier Cité verte situé dans la commune de Selembao. Les Coordonnées géographiques du point où les échantillons ont été prélevés sont les suivantes: 4,44° de latitude Sud et 15,25° de longitude Est.

2.2 MATÉRIEL

Eau à traiter: Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de 6 bidons initialement désinfectés de 5 litres chacun. Pour ce faire, les bidons ont été immergés dans la rivière à 5 cm de profondeur, maintenus les goulots tournés vers le haut jusqu'au remplissage, retirés de la rivière, fermés et conservés dans une glacière. Après cela, ils ont été transportés dans un véhicule puis stockés dans un réfrigérateur au laboratoire des aliments de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa pour le traitement et les analyses ultérieures.

Echantillons de *M. oleifera*: les graines de *M. oleifera* ont constitué le matériel biologique de cette étude. Elles ont été récoltées en février 2022, de 2 arbres de *M. oleifera* âgés de 6 ans et 7 ans se trouvant dans deux plantations personnelles, respectivement situées dans les quartiers Mbanza Lemba dans la commune de Lemba et des Officiers à Bandalungwa à Kinshasa. Ensuite, elles ont été gardées à la température ambiante au laboratoire susmentionné.

Sable fin: le sable utilisé dans cette recherche a été prélevé dans le fleuve Congo, au niveau du quartier Kinsuka pêcheur dans la commune de Ngaliema. Il a ensuite été séché à l'étuve de marque MEMMERT à 150°C pendant une heure et a été conservé au laboratoire, à un endroit sec pour éviter son humidification. Il est conseillé de choisir préférentiellement le sable fin dans les travaux de filtration d'eau. En effet, sa texture granulaire permet le passage d'eau et la rétention des particules minuscules que celle-ci transporte [4].

Charbon de bois: le charbon de bois utilisé dans cette recherche a été préparé à partir du broyage de la braise de cuisine achetée au marché de Mbanza Lemba en mars 2022. L'opération de broyage a été effectuée avec un moulin électrique de marque IKA MF10 Basic, jusqu'à atteindre des dimensions moyennes d'un millimètre de diamètre.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 PRÉPARATION DE LA SOLUTION FILTRANTE

Décorticage des graines: les graines ont été décortiquées manuellement, les amandes des graines de *M. oleifera* ont été mises dans un béccher et placées à l'étuve à 105°C pendant 12 heures. Le séchage des graines sauvegarde la qualité protéinique, facilite le broyage, évite l'effet pâteux et collant dû à l'huile [5].

Broyage des amandes des graines de *M. oleifera*: les amandes sèches ont été pesées à la sortie de l'étuve et après leur refroidissement pendant 30 minutes à l'air libre. L'opération de broyage a été réalisée grâce au moulin électrique de marque IKA MF10 Basic. Elle a abouti à l'obtention d'une poudre moyennement fine et amorphe (pâteuse) à cause de la teneur des graines en l'huile. Les amandes ont été conservées après chaque utilisation dans un bol en plastique à l'abri de la lumière et de l'humidité pour éviter toute forme de dégradation.

Préparation des solutions de la poudre des graines de *M. oleifera*: la démarche de purification de l'eau de rivière adoptée pour cette étude a commencé par une préparation préalable d'une solution concentrée de la poudre des graines de *M. oleifera*. Cette dernière devant servir au traitement proprement dit pour les échantillons d'eau de l'étude. La procédure suivie est la suivante: dix-huit bécchers contenant chacun 100 ml de l'échantillon d'eau à traiter ont été préparés pour l'expérimentation. Trois différentes doses de la poudre des graines de *M. oleifera* à tester ont été pesées grâce à une balance de précision de marque OHAUS et placées chacune dans trois bécchers. Les trois premiers bécchers ont reçu chacun 0,5 g de cette poudre de *M. oleifera*; les trois suivants en ont reçue 1 g et trois autres 1,5 g chacun. Les différents mélanges ont été homogénéisés par agitation pendant 2 minutes afin de favoriser l'extraction des protéines actives dans la coagulation-floculation. En plus de ces

préparations susmentionnées, trois autres béchers contenant 100 ml de l'échantillon de l'eau à traiter ont été mélangés avec un produit pharmaceutique à base de dichloroisocyanurate de sodium utilisé dans le traitement d'eau, symbolisé par "Aquaxx". Cela devait servir pour l'établissement d'une comparaison avec l'action de la poudre des graines de *M. Oleifera*. Enfin, les six derniers béchers de l'échantillon témoin n'ont reçu aucune dose de cette poudre.

En résumé, les différents échantillons d'eau récoltés dans le cadre de cette recherche ont été préparés de la manière suivante:

- Dans les six premiers béchers, six échantillons d'eau de 100 ml chacun n'ont reçu aucun produit de traitement afin de servir de témoins, c'est le T0 et le T1;
- Dans trois des béchers suivants, un lot d'échantillons a reçu une seule dose d'Aquaxx: 0,0086 g, c'est le T2;
- Dans les neuf derniers béchers contenant 100 ml d'eau à traiter (répartis en trois groupes de trois béchers), chaque groupe a reçu une des trois doses suivantes de poudre des graines de *M. oleifera*: T3 = 0,5 g; T4 = 1 g et T5 = 1,5 g

2.3.2 TRAITEMENT D'EAU AVEC LA POUDRE DES GRAINES DE *M. OLEIFERA* ET FILTRATION

L'opération de traitement d'eau avec la poudre des graines de *M. oleifera* s'est déroulée en deux grandes étapes à l'issue desquelles les échantillons d'eau traitée ont été récoltés en vue de la vérification de l'efficacité du traitement par des analyses physicochimiques et microbiologiques.

ETAPE 1. MÉLANGE

Dix-huit bouteilles en plastique de 1,5 l chacune, préalablement désinfectées à l'eau savonnée et rincées à l'eau distillée, ont reçu chacune 900 ml d'échantillon d'eau à traiter. Ensuite, les solutions de traitement préalablement préparées (T0 à T5) ont été placées dans chacune de ces bouteilles. L'opération a été suivie par l'homogénéisation du mélange par agitation. Cette dernière s'est déroulée en deux phases dont la première, plus rapide, s'est effectuée pendant une minute pour faciliter la dispersion des protéines actives et la seconde, plus lente, a pris cinq minutes pour favoriser la formation des floccs. Chaque mélange a été maintenu au repos pendant une durée d'une heure trente minutes pour permettre la précipitation des floccs formés.

A l'issue de ces mélanges et agitations, les trois bouteilles contenant 1000 ml des échantillons d'eau T0 ont été gardées comme tel, tandis que les quinze autres (de T1 à T5) sont passées au prochain traitement, c'est-à-dire, la filtration.

ETAPE 2. FILTRATION

Dans l'optique de rendre plus efficace l'effet du premier traitement (à la poudre des grains de *M. oleifera*), la filtration des échantillons d'eau de la rivière Kalamu traitées à l'étape précédente a été effectuée sur un dispositif constitué de quinze bouteilles en plastique de 750 ml. Le fond de chacune de ces bouteilles a été coupé (enlevé) et le couvercle, orienté vers le bas, a été percé d'un trou de 2 mm de diamètre. Ensuite, un tuyau correspondant à ce diamètre a été fixé afin de recueillir l'eau traitée pour l'utilisation. La matière filtrante était formée par 300 g de sable récolté dans le lit du fleuve Congo (dans le cadre de ce travail de recherche) placés dans le fond des quinze bouteilles ci-dessus décrites. Ce sable a été surmonté par 50 g de charbon de bois dont il a été question plus haut (dans la section des matériels). Enfin, une couche de 0,5 cm d'ouate stérile a été placée au fond de la couche filtrante de chaque bouteille, au niveau du goulot du dispositif filtrant afin de retenir les impuretés résiduelles et parfaire le traitement de l'eau. Il sied de noter que tous les traitements ont été répétés 3 fois (trois bouteilles).

Le principe qui régit ce dispositif est de faire couler l'eau de haut en bas à travers une couche filtrante. En effet, cette association (sable fin-charbon de bois) permet de renforcer l'effet du premier traitement en éliminant les particules solides et les germes indésirables résiduels. A la fin de la filtration, les échantillons d'eau provenant de chaque traitement ont été prélevés pour les analyses physicochimiques et microbiologiques.

2.3.3 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES

Les principales analyses physicochimiques qui ont été effectuées sur chaque mélange et sur le témoin après l'étape de la filtration ont été: les mesures (1) du potentiel hydrogène, (2) de l'Oxygène dissous, (3) des nitrates, (4) des nitrites, (5) de l'ammonium, (6) du phosphate, (7) de la Demande Chimique en Oxygène, (8) de la Demande Biochimique en Oxygène, (9) de la conductivité électrique, (10) de la dureté totale et (11) de la turbidité.

- En ce qui concerne la turbidité: elle est due à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux courantes [6]; une eau turbide est une eau trouble. Cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau parce qu'au cours de son parcours, l'eau des rivières se charge de quantités énormes de particules qui la troublent [7]. Dans cette recherche, la turbidité de l'eau a été analysée avec un turbidimètre de marque HACH DR. La valeur de turbidité obtenue exprimée en NTU
- Potentiel hydrogène (pH) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène contenus dans la substance [7]. Le pH a été déterminé en utilisant la sonde du pH-mètre de marque HANNA après son calibrage dans deux solutions tampons (à pH 4, ensuite à pH 8)
- Oxygène dissous (mg/l): la concentration en oxygène dissous est un paramètre utilisé pour mesurer la qualité du milieu aquatique. Sa concentration est liée aux paramètres physicochimiques et à l'activité biologique et il est très important pour la vie du milieu aquatique [8]. Cette analyse a été faite avec un appareil de marque HANNA. La lecture des résultats a été réalisée en pourcentage de Saturation en oxygène (% de saturation en O₂)
- Azote minéral: l'azote peut se présenter dans les eaux aussi bien sous forme minérale qu'organique. En général, s'agissant des eaux naturelles, ce sont les formes minérales qui sont de loin les plus importantes. L'azote minéral est constitué par l'ammoniaque qui se dissocie en ion ammonium, les nitrites, les nitrates [7]. La détermination de la teneur en ammonium a été faite avec un kit de marque MACHEREY-NAGEL qui est un multi paramètre; les nitrates ont été analysés avec un kit de marque MACHEREY-NAGEL, tandis qu'en ce qui concerne les nitrites, pour une prise d'essai de 10 ml, la valeur de la teneur en nitrates a été divisée par 4,43 pour trouver leur teneur [9]. Le résultat de chaque paramètre était exprimé en mg/l d'eau
- Phosphate (mg/l): cette analyse a été faite avec un kit de marque MACHEREY-NAGEL
- Conductivité électrique (µS/cm): la conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau. Cette analyse a été faite avec un appareil de marque HANNA. Après réglage de celui-ci, la sonde a été plongée dans les béchers des surnageant d'échantillons d'eau à analyser, ensuite la détermination est directe, la lecture des résultats a été réalisée micro siemens par centimètre (µS/cm)
- Dureté totale (mmol/L): La dureté est basée sur la concentration des sels (calcium et magnésium) dissous contenus dans l'eau. Cette analyse a été faite avec un kit de marque MACHEREY-NAGEL. Le résultat est exprimé en milli mole par litre
- Demande chimique en oxygène (DCO): La dégradation des matières organiques (d'hydrates de carbone, de matières protéiques, d'acides aminés, de lipides et autres substances de réserves) déversées dans les cours d'eau entraîne une consommation de l'oxygène dissout dans l'eau. L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la demande chimique en oxygène. Cette analyse a été faite avec un DCO-mètre de marque LCK-114. Elle s'exprime en mg/l
- Demande Biochimique en Oxygène (DBO): La demande biochimique en oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques [7]. Cette analyse a été faite avec un DBO-mètre de marque BODTrack. Le résultat a été obtenu directement sur l'afficheur et est exprimé en mg d'O₂/l

2.3.4 PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES

Sur le plan microbiologique, les échantillons d'eau traitée ont subi des analyses mettant en évidence la présence ou l'absence des germes indicateurs d'une pollution fécale (Streptocoques fécaux, Coliformes totaux et *Escherichia coli*) dont la présence indique un traitement inefficace de l'eau:

- Les streptocoques fécaux associés aux coliformes fécaux, sont considérés comme des bons indicateurs de pollution, aussi utilisés comme indicateurs d'efficacité de traitement, car ils sont nettement plus résistants que les coliformes et autres entérobactéries pathogènes [10]. Les Streptocoques fécaux ont été mis en évidence en suivant le protocole prescrit par la norme ISO 7899-1 [11];
- Les coliformes totaux ont été identifiées en se référant au protocole prescrit par la norme ISO 4831 [12];
- *Escherichia coli*: l'*E. Coli* est une bactérie qui fait partie du groupe des coliformes fécaux et constitue le seul membre de ce groupe que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales des humains et des animaux. Sa présence dans l'eau indique

une contamination récente par des matières fécales [13]. Les bactéries de l'espèce *E. coli* ont été déterminées en suivant le protocole prescrit par la norme ISO 7251 [14]

2.4 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

Les logiciels R et Excel ont été utilisés pour les analyses statistiques des données. Le calcul des moyennes et écarts-types, l'analyse des variances (ANOVA) ainsi que le test de comparaison multiple de Tukey, au seuil de signification de 5 %, ont été utilisés comme outils statistiques pour déceler les différences significatives entre les valeurs moyennes de tous les paramètres mesurés. Ces derniers ont été évalués suivant les normes de l'OMS [15] pour la qualité des eaux de boisson.

3 RESULTATS

Les résultats des analyses physicochimiques sont présentés dans les tableaux 1, tandis que ceux des analyses microbiologiques sont consignés dans le tableau 2.

3.1 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS

Le tableau 1 ci-dessous donne tous les résultats obtenus au cours des analyses physicochimiques des échantillons des eaux de la rivière Kalamu utilisée dans cette recherche, après leur traitement de purification comprenant la floculation-coagulation suivi par la filtration.

Tableau 1. Analyses physicochimiques des échantillons des eaux de la rivière Kalamu

Paramètres (unités)	Traitements					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
TU (NTU)	45,50 ± 0,29 _a	42,43 ± 0,31 _b	3,47 ± 0,05 _c	3,90 ± 0,01 _c	5,36 ± 0,02 _d	6,03 ± 0,12 _e
pH	6,98±0,02 _a	7,01±0,05 _a	6,78±0,01 _b	6,92±0,00 _c	6,96±0,00 _a	6,97±0,02 _a
OD (sat O ₂)	27,20 ± 0,29 _a	34,23 ± 0,26 _b	53,40 ± 0,28 _c	55,57 ± 0,31 _c	46,93 ± 0,05 _d	38,27 ± 0,19 _e
AM (mg/l)	23,50 ± 0,37 _a	20,10 ± 0,14 _b	1,46 ± 0,04 _c	1,63 ± 0,09 _c	11,97 ± 0,37 _d	12,47 ± 0,21 _d
NTA (mg/l)	62,10 ± 0,83 _a	61,20 ± 0,86 _b	8,30 ± 0,22 _c	7,53 ± 0,05 _c	26,10 ± 0,08 _d	38,60 ± 0,29 _e
NTI (mg/l)	5,74 ± 0,05 _a	4,51 ± 0,01 _b	0,11 ± 0,00 _c	0,12 ± 0,00 _c	2,15 ± 0,04 _d	2,43 ± 0,05 _d
PHP (mg/l)	6,21 ± 0,15 _a	4,63 ± 0,05 _b	0,33 ± 0,05 _c	0,37 ± 0,05 _c	1,57 ± 0,05 _d	2,29 ± 0,02 _e
CE (µS/cm)	565,23 ± 2,74 _a	551,33 ± 1,70 _b	246,50 ± 0,28 _c	248,63 ± 0,25 _c	525,13 ± 0,84 _d	568,50 ± 0,41 _a
DT (mmol/l)	4,92 ± 0,04 _a	4,57 ± 0,05 _b	0,77 ± 0,01 _c	0,84 ± 0,00 _c	2,78 ± 0,03 _d	3,60 ± 0,02 _e
DCO (mg/l)	70,70 ± 0,45 _a	66,73 ± 0,52 _b	28,99 ± 0,09 _c	28,87 ± 0,09 _c	34,36 ± 0,26 _d	36,02 ± 0,20 _e

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Légende:

T0 (Témoin sans floculant, ni filtration), T1 (sans floculant mais avec filtration), T2 (0,0086 g d'Aquaxx avec filtration), T3 (0,5 g de *M. oleifera* avec filtration), T4 (1 g de *M. oleifera* avec filtration) T5 (1,5 g de *M. oleifera* avec filtration); TU: turbidité; PH: potentiel hydrogène (pH); OD: Oxygène dissous; AM: ammonium; NTA: Nitrate; NTI: Nitrite; PHP: Phosphate; CE: Conductivité Electrique; DT: Dureté Totale; DCO: Demande Chimique en Oxygène

L'examen des résultats d'analyse des différents paramètres physicochimiques de l'eau de la rivière Kalamu traitée par coagulation-floculation et filtrée sur une couche constituée de sable fin associé aux charbons de bois, révèle ce qui suit:

- Turbidité: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont sensiblement réduit la turbidité par rapport au témoin. Cependant, seuls les T₂ et T₃ correspondent aux normes de l'OMS (0-5 NTU);
- Potentiel hydrogène (pH): Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau n'ont pas influencé le pH par rapport aux témoins. En effet, toutes les valeurs de pH, y compris celles des témoins, correspondent aux normes de l'OMS (6,5-8,5);
- Teneur en Oxygène dissous: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont sensiblement augmenté la teneur en oxygène dissous par rapport aux témoins. Cependant, seuls les T₂ et T₃ correspondent aux normes de l'OMS (50 % de saturation en O₂);

- Teneur en ammonium: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont sensiblement réduit la teneur en ammonium par rapport aux témoins. En effet, tous les traitements correspondent aux normes de l'OMS (15 mg/l);
- Teneur en nitrates: tous les traitements appliqués aux échantillons ont sensiblement réduit la teneur en ion nitrate par rapport aux témoins. A l'instar du paramètre précédant, tous les traitements correspondent aux normes de l'OMS (50 mg/l);
- Teneur en nitrites: tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont sensiblement réduit la teneur en ion nitrite par rapport aux témoins. Cependant, seuls les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (0-1,5 mg/l);
- Teneur en phosphates: tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont sensiblement diminué le phosphate par rapport aux témoins. Cependant, seuls les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (0,5 mg/l);
- Conductivité: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont sensiblement réduit la Conductivité électrique par rapport aux témoins. Cependant, seuls les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (125-400 μ S/cm);
- Dureté: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont eu l'influence sur la dureté par rapport aux témoins. Cependant, seulement les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (0,75-1,5 mmol/l);
- DCO: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont diminué la DCO par rapport aux témoins. Cependant, seulement les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (30 mg/l)

3.2 ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES ÉCHANTILLONS

Le tableau 2 ci-dessous donne tous les résultats obtenus au cours des analyses microbiologiques des échantillons des eaux de la rivière Kalamu utilisée dans cette recherche, après leur traitement de purification.

Tableau 2. Résultats des analyses microbiologiques des échantillons des eaux de la rivière Kalamu après leur traitement de purification

Paramètres (unités)	Traitements					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
DBO (mg/l)	7,71 \pm 0,18 _a	6,84 \pm 0,03 _b	0,64 \pm 0,04 _c	0,66 \pm 0,03 _c	1,25 \pm 0,04 _d	1,68 \pm 0,02 _e
EC (UFC/100ml)	253,67 \pm 2,05 _a	248,67 \pm 1,70 _b	0,00 \pm 0,00 _c	0,00 \pm 0,00 _c	10,67 \pm 0,47 _d	16,00 \pm 0,82 _e
SF (UFC/100ml)	356,00 \pm 0,82 _a	348,00 \pm 1,63 _b	0,00 \pm 0,00 _c	0,00 \pm 0,00 _c	10,33 \pm 0,47 _d	12,67 \pm 0,94 _d
CT (UFC/100ml)	2059,00 \pm 0,82 _a	2044,33 \pm 1,70 _b	0,00 \pm 0,00 _c	0,00 \pm 0,00 _c	39,00 \pm 0,82 _d	55,33 \pm 0,47 _e

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Légende:

T0, T1, T2, T3, T4 et T5: voir légende du Tableau 1; DBO: demande biochimique en oxygène; EC: *Escherichia coli*; SF: *Streptocoques fécaux*; CT: Coliformes totaux

L'analyse des résultats consignés dans le tableau 2 révèle ce qui suit:

- DBO: Tous les traitements appliqués aux échantillons d'eau ont diminué la DBO par rapport aux témoins. Cependant, seulement les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (1 mg/l)
- *Escherichia coli*: En analysant le tableau 2, il convient de remarquer que tous les traitements appliqués aux échantillons ont eu l'influence considérable sur la présence d'*E. coli* dans les échantillons d'eau par rapport aux témoins. Cependant, seuls les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (0 UFC/100ml)
- *Streptocoques fécaux*: Tous les traitements appliqués aux échantillons ont réduit considérablement la présence des *Streptocoques fécaux* dans les échantillons d'eau par rapport aux témoins. Cependant, seuls les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (0 UFC/100ml);
- Coliformes totaux: tous les traitements appliqués aux échantillons ont sensiblement réduit des coliformes totaux par rapport aux témoins. En effet, seulement les T2 et T3 correspondent aux normes de l'OMS (0 UFC/100ml)

4 DISCUSSION

Dans ce travail de recherche, les échantillons d'eau prélevés de la rivière Kalamu ont subi un traitement de purification comprenant la coagulation-floculation par la poudre des graines de *M. oleifera* et la filtration sur sable fin associé au charbon de bois. Au bout du processus, l'eau traitée a subi des analyses physicochimiques et bactériologiques afin que l'efficacité de ce

traitement soit vérifiée. En effet, plusieurs travaux effectués dans les zones tropicales indiquent que les graines de *M. oleifera* ont la capacité d'améliorer les paramètres physicochimiques de l'eau polluée mais aussi d'en diminuer le taux microbien car ces graines renferment des principes flocculant et précipitant les impuretés des eaux ainsi que des substances antimicrobiennes [4], [16].

4.1 EFFET DE LA POUDRE DES GRAINES DE MORINGA OLEIFERA ET DE L'AQUAAX SUR LES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau non traitée prélevés de la rivière Kalamu ont révélé que ces derniers présentaient des indices de pollution très sérieux en comparaison aux normes internationales. Ceci est probablement dû aux multiples usages et à la forte activité humaine dont le site fait l'objet. En effet, la Kalamu est une rivière où l'eau est utilisée pour les activités domestiques, agricoles ainsi que pour la consommation animale.

Cependant, en ce qui concerne l'acidité de tous les échantillons, y compris les témoins, le traitement au *M. oleifera* n'a pas eu un effet significatif sur sa variation. Ainsi, la composition chimique des eaux semble subir une faible évolution avec le traitement au *M. oleifera*. Cela est en accord avec les résultats obtenus par Folkard [17] qui indiquent que le traitement au *M. oleifera* influe peu sur le pH de l'eau.

Les traitements ayant associé les doses de 0,5g/l de *M. oleifera* et la filtration ainsi que l'usage de 0,0086g/l de l'Aquaax ont occasionné une baisse de la turbidité initiale de l'eau et l'ont ramené dans les normes de potabilité des eaux. Ces résultats peuvent être justifiés par le fait que les graines de *M. oleifera* contiennent un polypeptide basique, plus précisément un ensemble de poly-électrolytes cationiques actifs de 12 à 14 k Da [18]. Ces poly-électrolytes de charge positive neutralisent les colloïdes des eaux troubles car la majorité de ceux-ci est chargée négativement [4].

Selon Faby et Eleli [19], la dose des graines de *M. oleifera* nécessaire pour le traitement des eaux polluées se situe entre 0,075 et 0,2 g/l en fonction la turbidité initiale de l'eau. Les études de Kaboré et al. (2020) ont montré que pour les eaux moyennement turbides (35-100 NTU), la dose optimale de coagulant se situe entre 0,25 et 0,3g/l pour obtenir les valeurs répondant aux normes des eaux de boisson (OMS). Celles menées par Ngbolua et al. [3] ont montré que la dose optimale de coagulant est de 1,818 g/l pour les eaux turbides de 41-45 NTU. Cependant, les échantillons d'eau de la rivière Kalamu prélevés dans le cadre de cette étude qui avaient une turbidité initiale moyenne de 45,5 NTU, il a fallu utiliser 0,5g/l de coagulant pour sa purification. De ce qui précède, les valeurs de turbidité obtenues avec la dose de 0,5 g et la filtration qui s'en est suivie, se situent à cheval entre les trois travaux précités. Ceci peut s'expliquer par le fait que les doses requises dans le traitement des eaux au *M. oleifera* varient en fonction du taux de matières organiques présentes dans l'eau, de la turbidité initiale de celle-ci et de la nature des éléments à flocculer (argiles, etc...) [9].

En ce qui concerne les teneurs en ammonium, nitrates, nitrites et phosphate, les échantillons non traités ont présenté des valeurs sensiblement élevées. Ceci laisse supposer que la forte concentration de l'eau de cette rivière en tous ces éléments était due au maintien des habitudes comportementales des populations environnantes vis-à-vis de ce cours d'eau, à l'accentuation des pratiques domestiques favorisant la pollution de ces eaux, aux activités humaines et aux mauvaises pratiques agricoles comme l'affirment Belghiti et al. [20] en parlant de la pollution des eaux courantes. Par conséquent, la consommation de cette eau devrait être interdite, particulièrement aux femmes enceintes et aux nourrissons pour prévenir la méthémoglobinémie ou "Baby Blue Syndrome", dans lequel le sang perd sa capacité à transporter l'oxygène en quantité suffisante [21].

Les doses de 0,5g/l de *M. oleifera* et 0,0086g/l d'Aquaax, associées aux filtrations ont sensiblement réduit les valeurs des paramètres physicochimiques précités et les ont placés dans les normes de potabilité de l'OMS [15]. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Mamadou et al. (2015) qui ont comparé la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières traitées au *M. oleifera* consommées dans le bassin pétrolier de DOBA au Tchad.

Les T2 et T3 ont permis une baisse significative de la conductivité électrique et la dureté totale des échantillons d'eau qui étaient trop élevées au départ. Cela peut s'expliquer par le fait que les graines de *M. oleifera* sont composées d'une protéine positive qui attire les sels minéraux négatifs qui se trouvent dans l'eau brute [22]. L'amélioration de la conductivité qui rend compte de la minéralisation de l'eau est un paramètre physicochimique qui peut rassurer les consommateurs souffrant de maladies cardiovasculaires [3].

En ce qui concerne la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) et la teneur en Oxygène dissous, les deux traitements précités ont donné des bons résultats sur ces paramètres qui ont considérablement diminué pour les deux premières et augmenté pour le troisième. Cela pourrait être dû à l'effet purifiant des doses D₁ et D₂ qui ont été très efficaces pour corriger tous les paramètres physicochimiques des échantillons d'eau récoltés. Ces résultats

corroborent les travaux de Rakotoniriana et *al.* [23] et Kaboré et *al.* [4] qui ont pu établir que le traitement des eaux usées par la poudre des graines de *M. oléifera* était capable d'en améliorer les propriétés physico-chimiques.

4.2 EFFET DE LA POUDRE DES GRAINES DE M. OLEIFERA ET DE L'AQUAAX SUR LES PARAMÈTRES BACTÉRIOLOGIQUES

Les échantillons d'eau prélevés de la rivière Kalamu, dans le cadre de cette étude, ont présenté un niveau de contamination très élevés en ce qui concerne tous les paramètres de contrôle de la potabilité des eaux, c'est-à-dire, la présence de *E. coli* (240 UFC/100 ml), des *Streptocoques* fécaux (320 UFC/100 ml) et des Coliformes totaux (2035 UFC/100 ml). Ces valeurs indiquent que l'eau de la rivière Kalamu n'est pas potable du point de vue bactériologique. Belgheti et *al.* [20] expliquent que la forte contamination d'un cours d'eau en ces germes microbiens serait due à une pollution fécale d'origine animale ou humaine des riverains (fosse septique, élevage de bétail, utilisation des déchets des animaux comme fertilisant pour les terres agricoles avoisinant la rivière).

Les doses de *M. oleifera* et d'Aquaxx appliquées dans les T2 et T3 ainsi que les filtrations y associées ont permis d'éliminer la quasi-totalité des contaminants dans l'eau traitée par rapport aux témoins. En effet, l'efficacité d'un traitement d'élimination des microorganismes est fonction du degré de pollution initiale de l'eau à traiter, de ses caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques initiales. En outre, la réduction de la charge microbienne est aussi fonction du niveau de la turbidité d'un échantillon d'eau. Elle lui est proportionnelle [24]. En effet, étant donné que les microorganismes sont rattachés aux particules en suspension, leur sédimentation entraîne également celle des microorganismes.

A la fin de l'expérimentation, le classement des traitements selon leur influence positive sur la purification de l'eau suit l'ordre décroissant suivant: T2, suivi du T3, suivi du T4, suivi du T5, suivi du T1 et du T0. Les résultats relativement médiocres de T4 et T5 où les doses de *M. oleifera* ont été les plus élevées paraît curieux dans la mesure où les résultats de la purification des eaux de la rivière Kalamu devraient être proportionnels à la dose de produit utilisé. L'explication plausible qui peut être avancée pour expliquer cette situation est le dépassement du seuil optimal de la dose de *M. oleifera* requise pour ce traitement. Toutefois, une étude visant à déterminer la dose optimale MO en fonction des propriétés physico-chimiques des eaux à traiter est à envisager pour élucider ce mystère.

5 CONCLUSION

Cette recherche avait pour objectif général de tester l'efficacité d'un traitement de purification de l'eau de la rivière Kalamu par un procédé couplant la coagulation- floculation des impuretés par la poudre des graines de *M. oleifera* et la filtration sur sable fin associé au charbon de bois. Spécifiquement, il a été question de déterminer la meilleure dose de *M. oleifera* à utiliser pour effectuer cette purification, rendre la teneur en éléments indicateurs de pollution hydrique de l'eau traitée conformes aux normes internationales sur la potabilité des eaux de consommation humaine. Les analyses physico-chimiques ont montré que la dose de 0,5 g/l de *M. oleifera* associée à la filtration a donné le meilleur résultat en ce qu'elle a rendu tous les paramètres évalués dans les seuils réglementaires. Ces résultats permettent de confirmer l'hypothèse selon laquelle l'utilisation d'un procédé couplant la coagulation-floculation à partir de la poudre des graines de *M. Oleifera* avec la filtration sur sable fin associé au charbon de bois permet la purification des eaux de la rivière Kalamu afin de les rendre potables pour une consommation humaine. À partir de ces résultats prometteurs, il sera intéressant d'étendre la recherche sur des méthodes de réduction de la matière organique résiduelle dans l'eau traitée afin de la stabiliser ainsi que sur la durée de conservation; de renforcer la capacité des populations à l'élaboration du dispositif de filtration, en mettant un accent particulier sur l'hygiène des matériaux utilisés pour éviter une recontamination de l'eau traitée et d'établir les normes de potabilité de l'eau de consommation humaine pour la RDC.

REFERENCES

- [1] Banque Mondiale, Riche en eau, Pauvre en Accès: Diagnostic de la pauvreté et de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène en RDC: Résumé Exécutif. Diagnostic pauvreté et WASH. Banque Mondiale, Washington DC, 2017.
- [2] PNEVA. Atlas 2018. Accès à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement pour les communautés rurales et périurbaines de la République Démocratique du Congo. Programme National Ecole et Village Assainis, Ministère de la Santé de la RDC, Ministère de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Professionnel de la RDC, 2018. [en ligne] Disponible sur: <http://www.unicef.org> (30.04.2022).
- [3] K.Ngbolua A.L. Pambu, L.S. Mbutuku, N.H. Kongo, G.N. Bongo, M.N. Bimpendu, M.C. Falanga, Z.B. Gbolo & T.P. Mpiana. Etude comparée de l'activité floculante de *Moringa oleifera* et *Vetivera zizanoïdes* dans la clarification des eaux des mares au plateau de Batéké, République Démocratique du Congo. *IJISR*, 24 (2), 379-387, 2016.

- [4] A. Kaboré, I. Zongo, J. Sawadogo, B. Sawadogo, A. Doumounia, S.A. Kima & I.N. Nombré. Efficacité du traitement de l'eau des puits avec les tourteaux de *Moringa oleifera* par coagulation et filtration sur sable dans les ménages ruraux au Burkina Faso. *EWASH & TI Journal*, 4 (1), 307-314, 2020.
- [5] J.F. Cruz, D.J. Hounhouigan, M. Harvard & T. Ferré. *La transformation des grains*. Collection Agricultures tropicales en poche, Quae, Presses agronomiques de Gembloux, CTA, Versailles, Gembloux, Wageningen, 2019.
- [6] P. Le Cloirec, Y. Andrès, C. Faur & C. Gérente. La biosorption dans le traitement des eaux chargées en ions métalliques. In: Gregorio C., et Pierre-Marie B., Ed. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. Presses Univ. Franche-Comté, pp. 237-264, 2007.
- [7] CREPA. Guide pour le contrôle et suivi de la qualité des eaux usées: Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ouagadougou, Burkina Faso, ASDI, DDC, DANIDA, 2007.
- [8] O. Passafume, L. Oriol, O. Jolly, N. Garcia, E. Grosteffan & P. Rimmelin-Maury. *Détermination de l'Oxygène dissous par la méthode Winkler*. Service d'Observation en Milieu Littoral (SOMLIT), France, 2020.
- [9] J. Rodier, B. Legube & N. Merlet. *L'analyse de l'eau, contrôle et interprétation: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 10^e Ed. Paris, Dunod, 2005.
- [10] F. Berne & C. Jean. *Traitement des eaux*, Édition TECHNIP, 1991.
- [11] ISO 7899-1. Qualité de l'eau – Recherche et Dénombrement des Entérocoques Intestinaux – Partie 1: Méthode Miniaturisée (Nombre le Plus Probable) pour les Eaux de Surface Résiduaires. Organisation Internationale de Normalisation. Genève, Suisse, 1998.
- [12] ISO 4831. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs – Horizontal Method for the Detection and Enumeration of Coliforms – Most Probable Number Technique. International Standard Organisation. Geneva, Switzerland, 2006.
- [13] G. Leyral, C. Bonnefoy & F. Guillet. *Microbiologie et qualité dans les industries agroalimentaires*. Doin, Paris, 2002.
- [14] ISO 7251. Microbiologie des aliments – Méthode Horizontale pour la Recherche et le Dénombrement d'*Escherichia coli* Présumés – Technique du Nombre le Plus Probable. Organisation Internationale de Normalisation. Genève, Suisse, 2005.
- [15] OMS. *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. 4^e éd. Intégrant le premier additif. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 2017.
- [16] M. Arbonnier. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest*. 2^e éd. Paris, France; CIRAD-MNHN, 2002.
- [17] G. Folkard. Development of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala* tree to provide valuable products: coagulant for water/wastewater treatment and vegetable oil. Technical report for period 1, University of Leicester, UK, 1997.
- [18] N. Foidl, H.P.S. Makkar & K. Becker. *Potentiel de Moringa oleifera en agriculture et dans l'industrie*. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale. Dar Es-Salaam, Tanzanie, 2001.
- [19] J.A. Faby & F. Eleli. *Utilisation de la graine de Moringa: essais de floculation au laboratoire et en vraie grandeur*, 1993. [en ligne] disponible sur: <http://www.genevaundcover.ch> (5.5.2022).
- [20] M.L. Belghiti, A. Chahlaoui, D. Bengoumi & R. El Moustaine. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, 14, 21-36, 2013.
- [21] T. Maoudomba, G. Ndoutamia & A. Ngakou. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières traitées au *Moringa oleifera* consommées dans le bassin pétrolier de DOBA au Tchad. *Larhyss Journal*, 24, 193-208, 2015.
- [22] N. Benkaddour. Contribution à l'étude de l'efficacité de la graine de *Moringa Oleifera* dans la dépollution des eaux d'Oued Safsaf, 2016. [en ligne] disponible sur: <http://www.fac.umc.edu.dz> (15.04.2022).
- [23] H.J. Rakotoniriana, N.R. Randriana, J.D. Ramarason, A.M. Herihajaniavo & L. Andrianaivo. Etude comparative des coagulants dans le traitement des eaux. *Madia-Hary*, 4, 67-77, 2015.
- [24] J. Bratby. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. Second Edition. London, IWA Publishing, 2006.