

Optimisation du pouvoir épuratoire des graines de *Moringa oleifera* dans le procédé de potabilisation des eaux au Burkina Faso

Frédéric Anderson KONKOBO^{1*}, Mamounata DIAO²,
Noëlle Edwige ROAMBA¹, Roger DAKUYO²,
Paul Windinpsidi SAVADOGO^{2,3}; Mamoudou Hama DICKO².

Résumé

Le traitement des eaux destinées à la consommation, par des produits chimiques, pose un véritable problème de santé publique de nos jours. Ainsi la présente étude vise à déterminer une méthode de traitement à base d'un coagulant et d'un floculant naturel non toxique. Pour se faire, des échantillons d'eau de surface ont été traités avec différentes doses d'extraits de graines de *Moringa oleifera* et de sève de cactus. Les résultats ont montré que 0,9 g/l de solution de graines de *Moringa oleifera* a permis d'obtenir un abattement de la turbidité de 99% après 12 h de décantation. En outre, l'utilisation simultanée des graines de *Moringa* (0,9 g/l) et de 0,1 ml d'un floculant chimique a permis de réduire le temps de décantation de 12 h à 15 min. La substitution du floculant chimique par l'extrait de cactus (à 0,6 ml), a également permis d'obtenir pour la même concentration de 0,9g/l en *Moringa*, une turbidité conforme à la norme OMS (≤ 05 NTU) au bout de 15 min de décantation. Ce dernier traitement qualifié de « traitement bio », a montré son efficacité et constitue ainsi une alternative durable, surtout pour les populations rurales n'ayant pas accès à l'eau potable.

Mots clés : Eau potable, Turbidité, coagulant/floculant, *Moringa oleifera*, cactus.

Optimization of the purification capacity of *Moringa oleifera* seeds in the water purification process in Burkina Faso.

Abstract

The treatment of water intended for consumption, by chemical products, poses a real problem of public health nowadays. Thus, the present study aims to determine a treatment method based on a coagulant and a non-toxic natural flocculant. To do so, surface water samples were treated with different doses of *Moringa oleifera* seed extract and cactus sap. The results showed that 0.9 g/l of *Moringa oleifera* seed solution resulted in 99% turbidity abatement after 12 h of settling. In addition, the simultaneous use of

¹Université Joseph KI ZERBO, Laboratoire de Biochimie, Biotechnologie, Technologie alimentaire et Nutrition (LABIOTAN) 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso. mamoudou.dicko@ujkz.bf

²Laboratoire Sol-Eau-Plante, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 01 BP 476 Ouagadougou 01 Burkina Faso.

³ Université Joseph KI ZERBO, Laboratoire de Physique et Chimie de l'environnement (LPCE), Burkina Faso. Email auteur pour toute correspondance : andersonkonkobo@gmail.com

*Auteur correspondant : mamoudou.dicko@ujkz.bf

Moringa seeds (0.9 g/l) and 0.1 ml of a chemical flocculant reduced the settling time from 12 h to 15 min. Substitution of the chemical flocculant by cactus extract (at 0.6 ml), also allowed to obtain for the same concentration of 0.9g/l *Moringa* seeds, a turbidity in compliance with the WHO standard (≤ 05 NTU) after 15 min of decantation. This last treatment qualified as "biotreatment", has shown its effectiveness and thus constitutes a sustainable alternative, especially for rural populations without access to drinking water.

Key words: Drinking water, Turbidity, coagulant/flocculant, *Moringa oleifera*, cactus.

Introduction

En dépit des progrès réalisés ces dernières décennies à travers le monde, de nombreuses régions sont toujours confrontées à de graves problèmes d'approvisionnement en eau potable. C'est ainsi qu'au Burkina Faso comme dans beaucoup d'autres pays africains en voie de développement, l'accès à l'eau potable constitue un enjeu important pour les populations, notamment pour celles vivant en milieu rural et semi urbain (Kaboré *et al*, 2013). Malheureusement, les réserves en eau souterraine de notre pays sont discontinues à cause de la pauvreté du sol latéritique qui ne retient pas l'eau. Pour ainsi faire face à cette rareté de l'eau qui de plus s'est accentuée au fil des années avec l'explosion démographique, l'état burkinabé a alors mis en œuvre la construction de nombreuses retenues d'eau communément appelé "barrage" pour mobiliser les eaux de surface, en vue de pallier un tant soit peu le manque criard d'eau qui frappe nos populations (Dicko, 2016).

Cependant, une fois mobilisées, les eaux de surface sont rarement potables car sont plus ou moins polluées par divers rejets d'origine urbaine, industrielle, et agricole ; d'où la nécessité de subir une série de traitements avant toute consommation (Zoungrana et Combelem, 2016). Ainsi, parmi les principales étapes d'une filière classique de traitement d'eaux de surface figure une étape cruciale appelée clarification qui repose sur le phénomène de coagulation-floculation et qui utilise très généralement le sulfate d'aluminium comme coagulant car se trouvant être le moins cher des trivalents (Rakotoniriana *et al*, 2015).

Malheureusement, l'utilisation du sulfate d'aluminium dans la clarification des eaux présente quelques inconvénients considérables tant sur la santé que sur l'environnement. Premièrement, son coût qui est relativement bas reste cependant élevé pour les pays en voie de développement comme le nôtre ; deuxièmement, sur le plan environnemental, son utilisation génère inévitablement une accumulation de résidus métalliques ; et enfin troisièmement, son emploi nous expose à un risque élevé de contraction de la maladie d'Alzheimer car les résidus d'aluminium qui subsistent dans l'eau sont mis en cause par plusieurs études scientifiques comme responsables de cette maladie (Rakotoniriana *et al*, 2015).

De ce fait, l'intégration de procédés biologiques de traitement des eaux de surface pourrait être une alternative durable du fait de la disponibilité et de la non toxicité d'un tel traitement (Kaboré, 2011.). C'est ainsi que des études sur la clarification des eaux avec des coagulants naturels dont les graines de *Moringa* ont été déjà effectuées pendant longtemps par de nombreux chercheurs.

Toutefois, les études menées au Burkina Faso qui qu'ayant prouvé l'efficacité des graines de *Moringa* dans le traitement des eaux, envisagent cependant difficilement sa substitution aux coagulants chimiques dans le traitement à grande échelle (Nacoulma *et al*, 2000). L'un des facteurs entravant justement son utilisation est le temps de décantation des floccs qui apparaît plus long qu'avec le sulfate d'aluminium. Cela nous a alors incités à apporter notre modeste contribution à la résolution de ce problème par une optimisation du traitement en utilisant successivement les graines de *Moringa* et la sève de cactus pour réduire le temps de traitement. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude, dont l'objectif général est d'évaluer l'efficacité du traitement à base de coagulants naturels et de déterminer les conditions optimales de traitement. Pour se faire, il s'est agi plus spécifiquement de comparer l'efficacité des graines de *Moringa* à celle de sulfate d'aluminium, et d'optimiser ces deux coagulants par ajout d'un flocculant chimique, puis naturel.

I. Matériels et Méthodes

1.1. Échantillonnage des eaux de surface

Les échantillons d'eau ayant fait l'objet de notre étude sont les eaux brutes provenant du barrage de Loumbila (12°29 N, 01°24 W). Cependant ils n'ont pas été directement prélevés à la source car n'ayant pas subi de prétraitement à ce niveau. Ils ont été prélevés sur le site même de la station de Paspanga grâce à des conduits qui acheminent l'eau depuis le barrage jusqu'à la station. Ces eaux ont au préalable subi un dégrillage et un dessablage durant leur acheminement jusqu'à la station. Elles sont alors aptes à subir le traitement de clarification conformément à la procédure classique de traitement d'eau de surface. Les échantillons ont ainsi été collectés dans des bidons de 20 l, puis conservés dans un réfrigérateur à +4 °C au laboratoire.

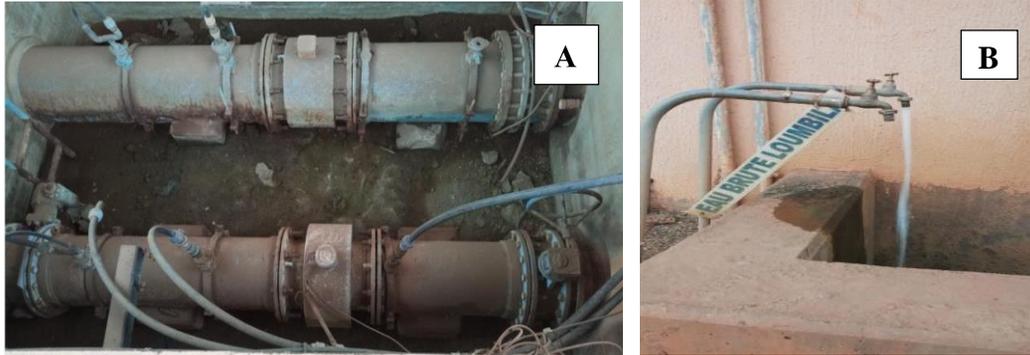


Figure 10: Conduits d'arrivés d'eau (A). Robinet de prélèvement d'eau de Loumbila(B)

1.2. Préparation de la solution coagulante de graines de *Moringa*

Le bio-coagulant utilisé dans cette étude est une solution aqueuse préparée à partir de la poudre graines de *Moringa oleifera*. Pour se faire, les graines mûres et sèches obtenues au Centre National de Semences Forestières (CNSF) ont été décortiquées puis broyées selon la technique décrite par Folkard et Sutherland (2002). Environ 200 g de la poudre ont été ensuite dissouts dans 2 litres d'eau distillée (soit 100 g/l), réfrigérée et bien agitée, puis laisser reposer pendant quelques minutes. Cela permet de recueillir les substances hydrosolubles contenues dans les graines de Moringa, qui possède une capacité de coagulant. On obtient ainsi une solution mère de concentration 100 g/l.

1.3. Extraction de la sève de cactus (*Opuntia ficus-indica*)

L'extraction du flocculant organique de cactus a été réalisée en plusieurs étapes. Les raquettes de cactus ont été d'abord coupées puis nettoyées, et 30 g ont été mélangés à 1 litre d'eau distillée afin de faciliter son broyage dans un mixeur. Le broyat a été ensuite filtré à l'aide d'un tamis et recueilli dans un bocal. On obtient alors une solution mère d'extrait de cactus de concentration 30 g/l relativement stable et pouvant conserver sa capacité de floculation pendant plusieurs jours en dehors de tout système de conservation.

1.4. Préparation de la solution mère de sulfate d'aluminium et de *synthofloc*

- La solution mère de sulfate d'aluminium a été préparée à partir de 10 g de sulfate d'aluminium en pastille que l'on a dissout dans 1 litre d'eau distillée. Le mélange a été ensuite

agité pendant 1 h pour permettre au sulfate d'aluminium de dissoudre convenablement dans la solution. On obtient alors une solution mère de sulfate d'aluminium de 10 g/l.

- Le synthofloc a été préparé par dissolution de 1 g de sulfate d'aluminium polymérisé dans 1 litre d'eau distillée ; soit une solution mère de 1 g/l.

1.5. Démarche méthodologique

1.4.1. Détermination de la dose optimale des coagulants : essais de jar test

1 l d'eau brute a été introduit dans chaque bécher d'un flocculateur à commande électrique de six postes (FC6S Jar-Test Velp Scientifica) auquel ont été ajoutés d'abord des volumes croissants de coagulant (chimique ou naturel), afin de déterminer la dose optimale de graines de *Moringa* ou de sulfate d'aluminium à utiliser pour le traitement. L'ensemble a alors été soumis à forte agitation à 150 tours/min pendant 5 min. Lorsque le coagulant utilisé réduit significativement le pH, on utilise de la chaux comme correcteur d'acidité afin de rehausser celui-ci.

Ensuite, ces eaux traitées avec les coagulants ont été soumises ou non à un second traitement en utilisant un volume constant de synthofloc (flocculant chimique), ou d'extrait de cactus (flocculant biologique). Les béchers sont alors placés sous agitation plus lente à 45 tours/min pendant 10 min suivie d'une décantation pendant au moins 15 min.

1.4.2. Détermination du temps minimum de décantation

Pour la détermination du temps minimum de décantation, nous avons procédé à la coagulation en fixant la dose de *Moringa* ou de sulfate d'aluminium, mais en faisant varier le temps de décantation jusqu'à obtention d'une turbidité ≤ 5 NTU.

1.4.3. Optimisation de la floculation : comparaison de l'effet de l'extrait de cactus et du synthofloc

Le synthofloc et l'extrait de cactus, de par leurs natures visqueuses semblables, ont été utilisés respectivement comme adjuvants chimique et biologique pour optimiser la floculation des coagulants formés par l'action isolée du sulfate d'aluminium et du *Moringa*. Pour se faire, dans des béchers contenant l'eau à traiter, des volumes constants de solution de *Moringa* ou de sulfate d'aluminium ont été ajoutés suivis d'une phase d'agitation rapide (150 tours/min) de 5 min. Ensuite des volumes croissants d'extrait de cactus ou de synthofloc ont été ajoutés à ces eaux, ainsi suivis d'une nouvelle agitation à 45 tours/min pendant 10 min, puis d'une décantation d'au moins 15 min.

1.4.4. Évaluation de l'efficacité des deux coagulants et des deux adjuvants

Afin d'évaluer et de comparer l'efficacité des différents coagulants et adjuvants sur la clarification des eaux de surface, quelques paramètres physicochimiques et microbiologiques ont été déterminés sur les échantillons d'eau ayant subi les traitements.

1.4.5. Détermination des paramètres physicochimiques de l'eau

Les paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés dans le cadre de notre étude sont la turbidité, le pH, la conductivité, la température, le Titre Alcalimétrique (TA), le Titre Alcalimétrique Complet (TAC), la dureté Total (TH), la dureté Calcique (Tca²⁺), ainsi que la teneur en ions Na⁺ et K⁺.

La turbidité des eaux a été mesurée avec un turbidimètre (néphélomètre) de laboratoire WTW Turb 550 IR conformément à la norme française NF ISO 7027 (2000). Le pH a été mesuré suivant la méthode électrochimique à l'aide d'un pHmètre/thermomètre (330i WTW) équipé d'une électrode combinée Sen Tix 41 conformément à la méthode NF 10523 (1994). La conductivité, de même que la température a été mesurée à l'aide d'un conductimètre couplé à un thermomètre de marque WTW. Le TA et le TAC ont été déterminés par titrimétrie conformément aux normes françaises NF T 9963 : 1996. Les concentrations en calcium, magnésium et la dureté totale ont également été déterminées par titrimétrie selon les normes françaises, NF T 90-016 : 1984 pour le calcium-magnésium et NF T 90-003 : 1984 pour la dureté totale. Les ions Na⁺ et K⁺ sont déterminés grâce à un Photomètre de flamme.

1.4.6. Détermination des paramètres microbiologiques des eaux

L'eau traitée à travers nos différents coagulants et flocculants devant être exempte de germes, un accent particulier est mis sur les analyses microbiologiques. Ainsi, les principaux germes indicateurs de contamination fécale ont été retenus pour cette étude conformément à la réglementation en vigueur. Il s'agit de *Escherichia Coli*, des coliformes totaux, et des streptocoques. Ces germes ont tous été déterminés suivant la méthode de filtration sur membrane et étalement sur des milieux de culture spécifiques suivant la norme française NF EN ISO 9308-1 (2000). Ainsi, pour la recherche des coliformes totaux et de *Escherichia coli* c'est le milieu *Chromocult coliform Agar ES* qui a été utilisé pour une température d'incubation de 37°C et pour les streptocoques c'est le milieu *Enterrococcus agar* qui a été utilisé à la température de 44°C.

1.4.7. Analyse statistique

Les données obtenues dans l'application de nos différents traitements ont fait l'objet d'analyse statistique. C'est ainsi que le logiciel XLSTAT (Version 2016) a été utilisé pour l'analyse des variances (ANOVA) afin de comparer les valeurs moyennes des différentes variables considérées dans chaque cas de l'étude.

Le test de Turkey a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les variables considérées au seuil de 5% ($P > 0,05$).

II. Résultats et discussion

2.1. Influence de la dose de coagulant sur la turbidité

Des eaux de turbidité initiale 352,80 NTU ont été utilisées pour des essais de coagulation- floculation avec des doses croissantes de sulfate d'aluminium et d'extrait des graines de *Moringa oleifera*. Les variations de la turbidité résiduelle sont consignées sur les figures 2 et 3. Ces résultats montrent que le sulfate d'aluminium et les graines de *Moringa oleifera* sont des coagulants tous deux efficaces dans l'abattement de la turbidité des eaux brutes quoi qu'à des degrés différents. Pour la même eau de turbidité 352,80 NTU, il a fallu plus de coagulant de *Moringa oleifera* (0,9 g/l) que de sulfate d'aluminium (0,05 g/l) pour obtenir la plus faible turbidité.

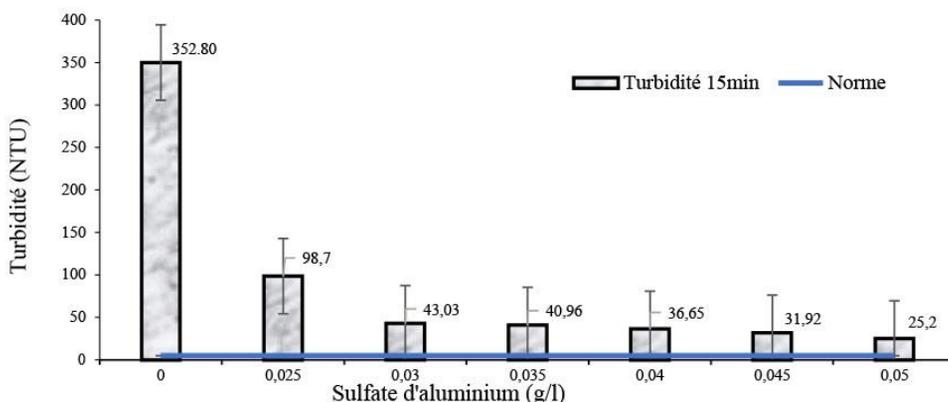


Figure 2 : Évolution de la turbidité de l'eau en fonction de la concentration en sulfate d'aluminium.

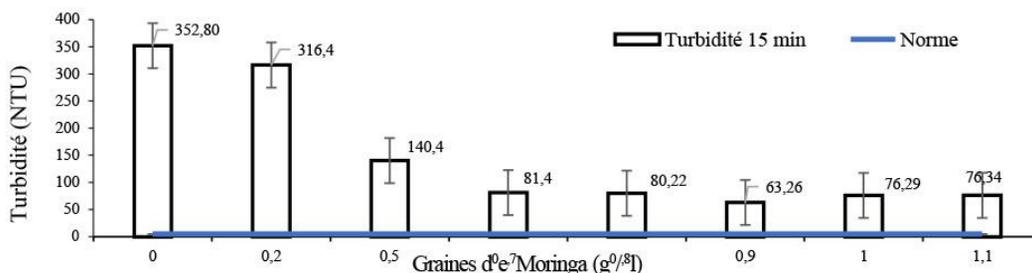


Figure 3: Évolution de la turbidité de l'eau en fonction de la concentration en graines de *Moringa oleifera*

2.2. Influence du temps de décantation sur la turbidité

Les résultats consignés dans la figure 4 montrent que l'abattement de la turbidité dépend également du temps de décantation. Il est important pendant les quinze premières minutes et faible après trente minutes de décantation. Une turbidité conforme à la norme est obtenue au bout de 90 min avec 0,05 g/l de sulfate d'aluminium. Par contre avec 0,9 g/l d'extrait de graines de *Moringa oleifera*, il a fallu attendre 12 h de décantation pour obtenir une turbidité conforme à la norme. Il apparaît ainsi que la turbidité de l'eau décroît plus vite avec la dose optimale de sulfate d'aluminium malgré sa faible concentration qu'avec celle de *Moringa oleifera*.

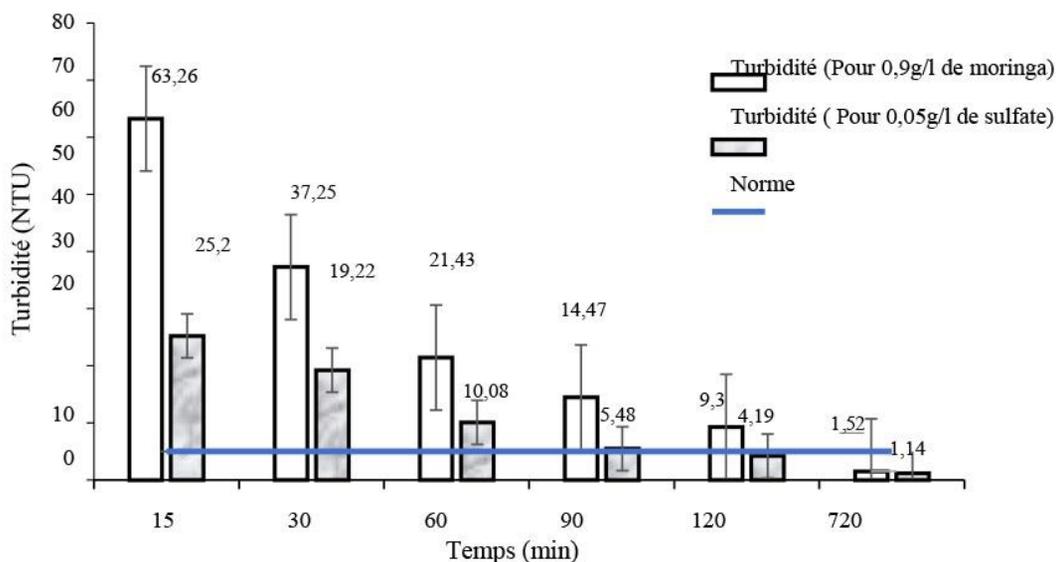


Figure 4: Comparaison de la turbidité entre les traitements de *Moringa oleifera* et de sulfate d'aluminium en fonction du temps

2.3. Optimisation par ajout de synthofloc

Les figures 5 et 6 montrent que les combinaisons sulfate d'aluminium/synthofloc et *Moringa*/synthofloc, permettent d'obtenir un abattement considérable de la turbidité au bout de 15 min de décantation. L'ajout de 0,1 ml de synthofloc entraîne une baisse considérable de la turbidité pour des concentrations de plus en plus croissante en ces coagulants. La meilleure turbidité pour les graines de *Moringa* (4,01 NTU) est obtenue pour la même concentration optimale initiale de 0,9 g/l ; alors que pour le sulfate d'aluminium, celle-ci décroît jusqu'à atteindre la valeur de 4,56 NTU, après laquelle il y a une légère hausse. Cette valeur de la turbidité est ainsi obtenue pour une concentration de 0,04 g/l de sulfate d'aluminium qui représente une nouvelle concentration optimale pour ce coagulant.

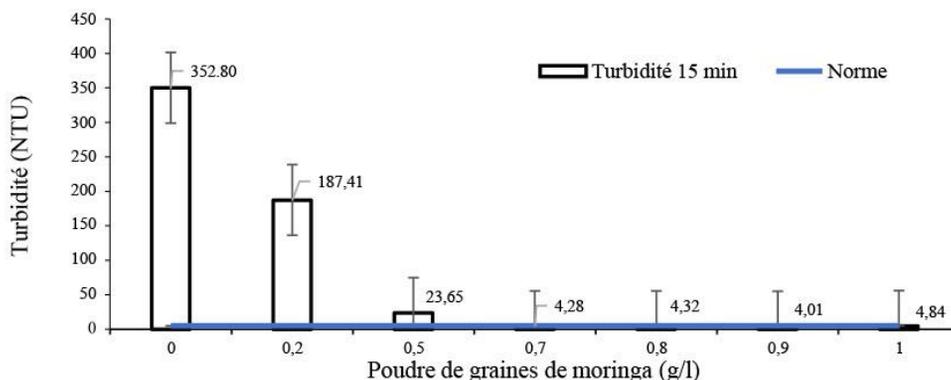


Figure 5: Evolution de la turbidité en fonction de la concentration en *Moringa oleifera* additionné ausynthofloc.

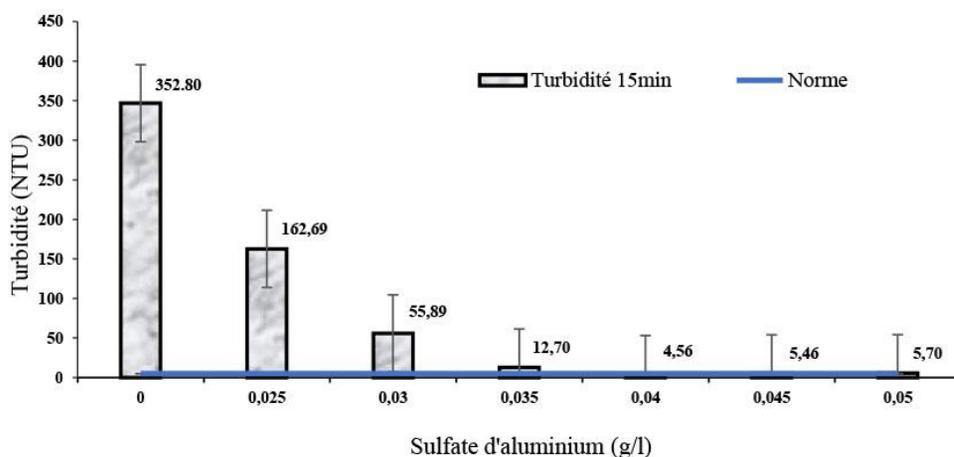


Figure 6: Evolution de la turbidité en fonction de la concentration en sulfate d'aluminium additionné ausynthofloc.

2.4. Optimisation des traitements par addition de l'extrait de cactus

Le suivi de la turbidité par les tests de coagulation-floculation effectués avec des doses égales d'extrait de *Moringa* combinés à des doses croissantes d'extrait de cactus a montré que l'abattement de la turbidité est dose-dépendante (Figure 7). Plus la dose en extrait de cactus augmente, plus la turbidité de l'eau décroît. C'est alors qu'après application de 0,6 ml d'extrait de cactus, on obtient une eau claire de turbidité 4,19 NTU ainsi conforme à la norme (≤ 5 NTU).

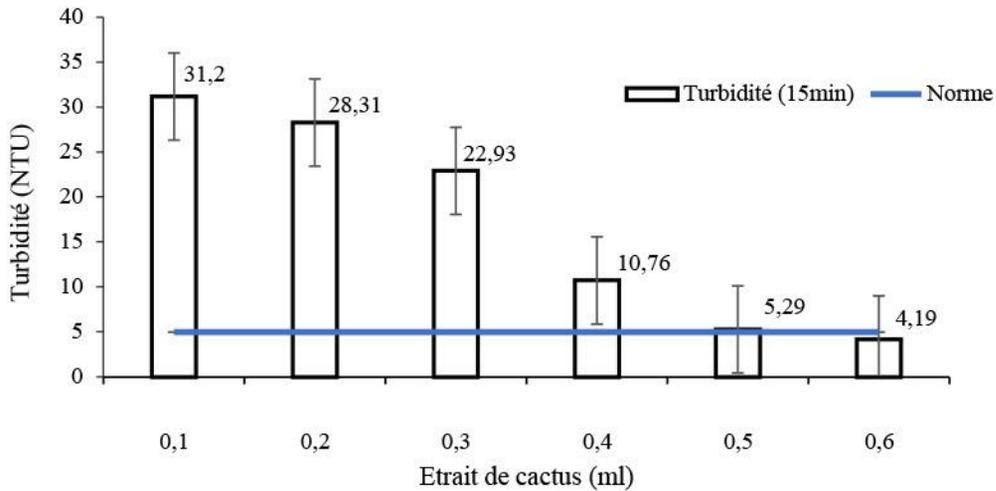


Figure 7: Evolution de la turbidité en fonction du volume d'extrait de cactus appliqué au traitement de *Moringa oleifera*

2.5. Comparaison de l'efficacité du synthofloc et de l'extrait de cactus comme floculant

En appliquant la dose optimale d'extrait de cactus (0,6 ml) à la dose optimale initiale de sulfaté d'aluminium (0,05 g), nous obtenons après 15 min de décantation une eau de turbidité conforme à la norme. En comparant cette valeur à celle de la turbidité de l'eau traitée avec le *Moringa* additionnée à l'extrait de cactus qui était de 4,19 NTU (Figure 8), il apparaît que l'utilisation de ce nouveau floculant rend plus efficace l'action des deux coagulants autant que le synthofloc.

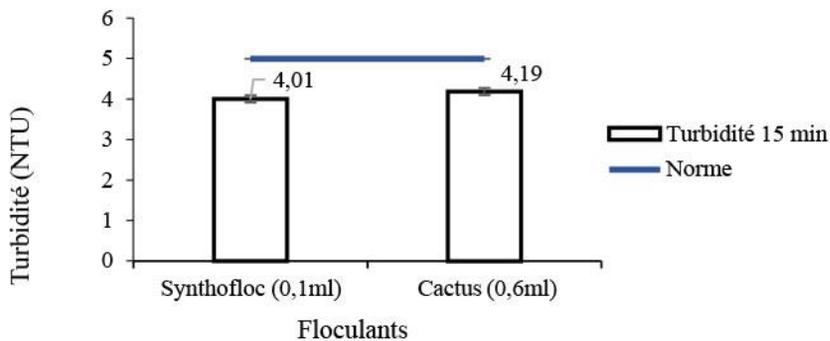


Figure 8 : Comparaison de l'efficacité du Synthofloc et de l'extrait de jus de cactus en tant que floculant.

2.6. Effets des traitements sur l'évolution des paramètres physicochimiques

Pour évaluer l'efficacité des traitements nous avons suivi l'évolution de certains paramètres physico-chimiques des eaux que nous avons comparés avant et après traitement. L'analyse de ces paramètres a été réalisée en triplicata et les moyennes ainsi obtenues sont consignées dans le tableau 1.

L'analyse des variances (à $p > 0,05$) montre que les traitements appliqués ont un effet significatif sur presque tous les paramètres physicochimiques des échantillons d'eaux analysés sauf pour la température et le TA où les variations ne sont pas significatives.

Pour les autres paramètres analysés, les variations sont significatives quel que soit le coagulant et le floculant appliqué au traitement.

Pour la valeur de pH, il n'y a aucun changement lors du traitement avec les graines de *Moringa oleifera*, tandis qu'avec le sulfate d'aluminium, sa valeur après traitement décroît significativement, sauf pour le traitement sulfate/synthofloc ou la chaux a été utilisée comme correcteur d'acidité.

Pour ce qui est des autres paramètres telle la teneur en calcium, sodium et la dureté totale, il est ressorti que leurs teneurs sont plus faibles dans les eaux traitées avec les graines de *Moringa oleifera* comparativement à celles traitées avec le sulfate d'aluminium.

Le TAC et la teneur en potassium sont au contraire plus élevés dans les eaux traitées avec les graines de *Moringa oleifera* comparativement à celles traitées avec le sulfate d'aluminium.

2.7. Effet des traitements sur l'évolution des paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont également été réalisées en triplicata et les moyennes des indicateurs sont présentées dans le tableau 2. Les indicateurs microbiens (*Escherichia Coli*, coliformes totaux) des échantillons d'eau ont varié significativement selon le coagulant et/ou le floculant appliqué à leur traitement. Cette variation est significative pour tous les traitements à base de graines de *Moringa oleifera* et d'extrait de cactus selon l'analyse ANOVA au seuil de probabilité de 5% ($P > 0,05$). Par contre, pour les autres traitements à base de coagulants et floculants purement chimiques (Sulfate d'aluminium et/ou synthofloc), la variation n'est pas significative.

Par ailleurs, les streptocoques étant initialement absents de l'eau brute, aucune variation n'a été alors constatée quel que soit le traitement appliqué.

Tableau 1 : Variation des paramètres physicochimiques en fonction des différents traitements appliqués

Traitements	Turbidité (NTU)	pH	Conductivité (µS/cm)	Température (°C)	TA (meq)	TAC (meq)	TH (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)
Eau brute	352,33 ^a	6,86 ^a	60,24 ^f	24,13 ^{ab}	0 ^a	0,60 ^d	0,45 ^e	0,11 ^e	5,88 ^f	1,22 ^e
<i>Moringa</i> seul	1,52 ^d	6,71 ^a	88,15 ^e	25,36 ^a	0 ^a	0,74 ^c	0,56 ^{de}	0,15 ^{de}	7,05 ^d	1,35 ^e
Sulfate seul	1,14 ^d	5,82 ^b	206,62 ^c	24,03 ^{ab}	0 ^a	0,82 ^c	0,92 ^{ab}	0,50 ^b	6,49 ^e	14,49 ^e
<i>Moringa</i> +Synthoflo c	4,01 ^b	6,84 ^a	105,61 ^d	23,96 ^{ab}	0 ^a	0,77 ^c	0,61 ^d	0,20 ^{cd}	8,72 ^c	4,81 ^d
Sulfate+Synthofloc	4,56 ^b	6,60 ^a	109,10 ^d	24,30 ^{ab}	0 ^a	1,02 ^b	0,78 ^c	0,24 ^c	4,87 ^g	1,25 ^e
<i>Moringa</i> + Cactus	4,19 ^b	6,83 ^a	226,07 ^b	23,533 ^b	0 ^a	1,30 ^a	1,00 ^a	0,63 ^a	12,48 ^a	15,51 ^b
Sulfate + Cactus	2,35 ^c	6,12 ^b	244,08 ^a	23,96 ^{ab}	0 ^a	1,14 ^b	0,83 ^{bc}	0,59 ^a	9,77 ^b	17,06 ^a
Pr > F	5,44E-37	1,10E-05	3,83E-23	7,58E-02	P <0.005	2,17E-10	2,25E-09	6,58E-13	4,98E-19	2,74E-22
Significatif	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Normes	≤ 05 NTU	6.5 - 8.5	≤ 500	-	-	-	-	-	-	-

Au niveau de chaque colonne, les valeurs qui ont une même lettre en commun ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey(HSD) au seuil de

Tableau 2 : Variation des paramètres microbiologiques en fonction des différents traitements appliqués

Traitements	Escherichia Coli (UFC/100ml)	Coliformes totaux (UFC/100ml)	Streptocoques (UFC/100ml)
Eau brute	3,33 ^b	242 ^a	0 ^a
<i>Moringa</i> seul	228 ^a	244 ^a	0 ^a
Sulfate seul	0 ^b	0 ^c	0 ^a
<i>Moringa</i> + Synthofloc	0 ^b	123 ^b	0 ^a
Sulfate + Synthofloc	0 ^b	0 ^c	0 ^a
<i>Moringa</i> + Cactus	0 ^b	138 ^b	0 ^a
Sulfate + Cactus	0 ^b	147 ^b	0 ^a
Pr > F	1,57E-18	2,05E-11	4,63E-01
Significatif	Oui	Oui	Non
Normes	0	0	0

Au niveau de chaque colonne, les valeurs qui ont une même lettre en commun ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey (HSD) au seuil de 5%.

Discussion

L'efficacité des graines de *Moringa oleifera* à clarifier l'eau du barrage de Loumbila a été comparée à celle du sulfate d'aluminium, en vue de trouver une alternative aux conséquences néfastes de l'utilisation de ce dernier sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Plusieurs études (dont celles de Kaboré *et al* ; Fatombi *et al* ; Adeniran *et al* etc..) ont déjà été menées sur l'utilisation des graines de *Moringa* à clarifier les eaux brutes. En effet, ces graines moulues, ajoutées à l'eau agissent comme coagulant primaire et peuvent clarifier n'importe quelle eau peu importe son degré de turbidité Konkobo *et al* (2019). .

Cependant, aucune étude n'avait encore jusque-là mis en évidence l'effet cumulé du *Moringa* et du synthofloc ou du *Moringa* et de l'extrait de cactus dans l'amélioration du processus de clarification. Des études d'optimisation ont certes été menées, mais ont cependant concerné l'ajout de *Bombax costatum*, un agent de floculation naturel (Nacoulma *et al*, 2000) ; et aussi la silice activée qui à l'instar du synthofloc est aussi un polymère de synthèse (Tambo, 1991).

A l'issue des traitements effectués sur les eaux du barrage de Loumbila (de turbidité 352,80 NTU) avec des doses croissantes des différents coagulants, les résultats ont montré que la turbidité diminue avec l'augmentation de la dose de sulfate d'aluminium. Par contre, avec les graines de *Moringa oleifera* comme coagulant, l'abattement de la turbidité dépend de la dose jusqu'à 0,9 g/l. Au-delà de cette dose, la turbidité a tendance à augmenter. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Kaboré *et al* (2013). Cependant, des résultats contraires ont été obtenus par G. Folkardet Sutherland (2002). Cet auteur a montré que l'abattement n'est pas seulement proportionnel à la dose de *Moringa* mais dépendrait également de la qualité des graines c'est-à-dire de la concentration des protéines réactives contenues dans les graines. En effet, celles-ci contiendraient un polypeptide basique, plus précisément un ensemble de poly-électrolytes cationiques actifs de 12 à 14 kDa constituée de plusieurs acides aminés dont principalement l'acide glutamique, la proline, la méthionine et l'arginine (Katre *et al*, 2008). Ces poly-électrolytes de charge positive neutralisent ainsi les colloïdes des eaux troubles dont la majorité est chargée négativement. A très faible dose de coagulant, le faible niveau de réduction de la turbidité pourrait s'expliquer par l'existence de disproportion entre les charges négatives de particules colloïdales et les charges positives du coagulant. Cela se traduit par une forte adsorption de charges négatives qui empêche l'apparition des floes. Il faudra donc une égalité entre ces différentes charges pour obtenir un abattement optimum de la turbidité.

Dans notre étude, la dose de 0,9 g/l de *Moringa* a été la dose optimale. Au-delà de cette dose, on observe une augmentation de la turbidité. Cela peut être expliqué par la re-stabilisation des particules colloïdales, provoquée par le surdosage du coagulant. Ce

dernier se trouvant en excès, joue un rôle inverse, en neutralisant toutes les particules, ces dernières se retrouvent chargées positivement et des forces de répulsion sont une autre fois exercées entre elles. On aura donc une eau très chargée en coagulant avec une mauvaise clarification.

La dose de 0,9 g/l de *Moringa* contre une dose 0,025-0,03 g/l de sulfate d'aluminium a été nécessaire pour obtenir un abattement d'environ 80%. De cette comparaison, il en ressort selon l'analyse statistique que la différence d'abattement pour ces deux (02) coagulants n'est pas significative quoi que la différence de dose entre les coagulants de *Moringa* et de sulfate d'aluminium soit significative. Nous déduisons donc que les graines de *Moringa* pourraient être aussi efficaces comme coagulant que le sulfate d'aluminium dans la clarification des eaux.

Le besoin d'utiliser plus de *Moringa* que de sulfate d'aluminium a été obtenu également par d'autres auteurs comme Rakotoniriana *et al*, (2015) qui ont trouvé des doses optimales de 0,02 g/l pour le sulfate d'aluminium et de 1 g/l pour *Moringa oleifera* pour l'obtention des turbidités finales de 4 NTU pour le premier et de 5 NTU pour le second coagulant.

Aussi Nacoulma *et al* (2000) dans une autre étude ont également trouvé des résultats similaires. Pour une eau de 90 NTU, la dose optimale en sulfate d'aluminium se situait entre 0,03 et 0,035 g/l pour une réduction de la turbidité à une valeur inférieure à 5 NTU ; alors que celle du *Moringa* était autour de 0,4 g/l pour une réduction à 12 NTU.

Ces résultats s'expliquent par le fait que le principe actif des graines de *Moringa* (le polypeptide basique) n'est pas le seul constituant de ces graines. L'extrait brut protéique n'étant pas séparé du reste de la fraction non protéique, devient alors moins actif et implique ainsi plus de poudre qu'il n'en faudrait que si le principe actif était isolé. Ainsi, des interactions protéiques seraient sans doute la cause de cette baisse d'activité floculante des graines de *Moringa* (Folkard *et al*, 1997). Cent (100) kg de graines de *Moringa* donneraient environ 1 kg de polyélectrolyte (principe actif presque pur) selon Konkobo *et al* (2019). Le sulfate d'aluminium, contrairement au *Moringa* a une proportion en alumine (principe actif) plus importante, laquelle a d'ailleurs un poids moléculaire plus élevé.

Le suivi de l'évolution de la turbidité en fonction du temps de décantation a montré que l'abattement de la turbidité dépend du temps de décantation. Une turbidité conforme à la norme est obtenue au bout de 90 min avec 0,05 g/l de sulfate d'aluminium ; contre 12 h avec 0,9 g/l d'extrait de graines de *Moringa*. Kaboré *et al* (2015) ont trouvé un temps de décantation optimal plus élevé (24 h) pour le traitement d'une eau turbide de 9,06 NTU avec 0,3 g/l de *Moringa*.

L'optimisation des traitements par ajout du synthofloc aux coagulants de *Moringa* et de sulfate d'aluminium a permis de réduire considérablement le temps de décantation à 15

min. Le synthofloc, qui est un polymère chimique permet en action conjuguée avec la dose optimale de coagulant d'agglomérer les micros floccs après coagulation en de plus gros floccs appelés macro floccs. Ces macro floccs de masse ainsi plus importante décantent beaucoup plus rapidement réduisant alors le temps de décantation.

La comparaison des traitements avec les coagulants de *Moringa* et le sulfate d'aluminium optimisé au synthofloc révèle ainsi une amélioration significative du temps de décantation par rapport aux mêmes traitements sans synthofloc. Ainsi nous obtenons en 15 min au lieu de 12 h de décantation des turbidités certes moins basses, mais tout de même conformes à la norme. L'utilisation d'un flocculant permet ainsi d'améliorer les performances du procédé de coagulation/floculation. Ces résultats sont comparables à ceux de l'étude menée par Tambo (1991), sur l'optimisation de la coagulation/floculation en utilisant la silice en plus du sulfate d'aluminium. D'autres études menées par Abid *et al* (2009) ont également montré l'impact positif de l'utilisation d'un polymère en plus du sulfate d'aluminium sur la coagulation/floculation.

La variation cependant de la concentration en sulfate d'aluminium au cours de notre étude qui est passée de 0,05 à 0,04 g/l s'explique du fait de l'ajout de la chaux. Cet ajout avait pour but de rehausser le pH de l'eau dont la chute avait été entraînée par le sulfate d'aluminium qui on le sait modifie le pH contrairement aux graines de *Moringa oleifera*. Le synthofloc n'étant efficace que pour un pH compris entre 6 et 7, cette adjonction dans le traitement au sulfate d'aluminium était nécessaire, d'où la modification du pH optimal d'action du flocculant, et donc également celui de la dose optimale du coagulant.

Les essais de substitution du synthofloc par l'extrait de cactus en tant que flocculant ont révélé des résultats satisfaisants. Pour un volume de 0,6 ml d'extrait de cactus nous sommes parvenus à obtenir les mêmes effets escomptés qu'avec le synthofloc. La différence avec ce nouveau bioflocculant est qu'il ne nécessite pas de correcteur d'acidité (chaux) comme le synthofloc car semble agir à n'importe quel pH. Abid *et al* (2009) ont montré dans leur étude l'efficacité de l'utilisation de l'extrait de cactus comme flocculant dans la clarification des effluents industriels en obtenant une eau de turbidité inférieure à 2 NTU qui au départ était de 100 NTU.

Nacoulma *et al* (2000) dans leur étude ont également trouvé des résultats satisfaisants presque similaires aux nôtres en utilisant l'extrait d'une autre plante : le *Bombax Costatum*. Elle affirme ainsi que l'utilisation de mucilages de végétaux comme adjuvant de floculation améliore nettement aussi bien la turbidité, que le temps de décantation dans le traitement de clarification des eaux brutes.

L'effet des traitements (traitements à base de graines de *Moringa* et de sulfate d'aluminium uniquement, puis optimisés par le synthofloc et par l'extrait de cactus) sur quelques autres paramètres ont permis d'approfondir nos comparaisons.

Pour le pH, il n'y a eu aucun changement significatif pour les différents traitements où nous avons utilisé les graines de *Moringa* comme coagulant (optimisé ou non), alors qu'avec le sulfate d'aluminium, la valeur de ce paramètre décroît significativement sauf pour le cas du traitement avec le synthofloc parce qu'on y a ajouté de la chaux.

En conclusion, nous retenons que l'efficacité du *Moringa* comme coagulant ne modifie pas le pH de l'eau, ce qui évite ainsi l'utilisation de rectificateurs d'acidité (chaux); tandis que l'utilisation du sulfate d'aluminium comme coagulant nécessite encore un rectificateur d'acidité au cours du traitement si l'on veut que le pH de l'eau soit conforme à la norme.

Nos résultats corroborent ceux de Kaboré (2011) qui indique dans son étude que le traitement à base de *Moringa* influe peu sur le pH de l'eau dont la variation n'est pas statistiquement significative. Ngbolua *et al*, (2016) indiquent également les mêmes observations en ce qui concerne la variation du pH pour les eaux de mares du plateau de Batéké (RDC), traitées à base de graines de *Moringa*. Rakotoniriana *et al*, (2015) ont aussi des résultats similaires aux nôtres car ils ont trouvé lors de leur étude qu'il n'y a aucun changement significatif du pH lors du traitement au *Moringa*, tandis qu'avec le sulfate d'aluminium, sa valeur après traitement décroît de 7 à 6.

Les analyses microbiologiques ont révélé une absence de streptocoques dans les eaux après les différents traitements. Cela s'explique par leur absence même dans l'échantillon d'eau brute initiale. Les coliformes totaux dont *Escherichia coli* par contre initialement présents dans l'échantillon d'eau brute ont vu leur croissance augmenter par le traitement à base de *Moringa* dont le temps de décantation a duré 12 h. Cela peut s'expliquer par le fait que le temps de décantation étant long, la matière organique présente dans les graines de *Moringa* a eu le temps de se propager dans l'eau et à ainsi servir à la prolifération de ces bactéries déjà existantes et ayant échappé au traitement. A cet effet, Kaboré (2015) a montré dans son étude que le traitement à base de graines de *Moringa* a induit une augmentation de la concentration en matières organiques dans les eaux traitées et expliquait cela du fait du taux élevé de matières organiques dans le coagulant. Fatombi *et al* (2009) ont également montré dans le même sens que les graines de *Moringa oleifera* contiennent près de 94 % de matières organiques et entraînent donc une augmentation du taux de matières organiques dans l'eau traitée (entre 100 à 400 %). Les autres traitements à base de *Moringa* dont le temps de décantation était réduit à 15 min ainsi que les traitements à base de sulfate d'aluminium ont présenté un abattement de 100% de *E coli*. Cela s'explique pour le sulfate d'aluminium par le fait que celui-ci ne contient pas de matière organique et pour les graines de *Moringa* par le fait que le temps de décantation trop court (15 min) ne permettrait pas une prolifération des microorganismes.

Pour les autres coliformes on constate que les traitements au sulfate d'aluminium ont également entraîné un abattement de 100% de ces indicateurs microbiens. Cependant,

ceux-ci sont légèrement présents pour les traitements à base de *Moringa* et encore lorsque l'on utilise l'extrait de cactus comme flocculant, on assiste à une prolifération plus importante due au fait que ce bioflocculant est également riche en matière organique.

Conclusion

Cette étude a montré une aptitude des graines de *Moringa* à servir de coagulant et une possibilité d'utilisation de l'extrait de cactus en tant que flocculant.

Une comparaison de la capacité de clarification des graines de *Moringa* à celle du sulfate d'aluminium montre que ces deux coagulants sont tous deux (02) efficaces quoi qu'à des degrés différents, puisqu'en en termes de dose, il a fallu plus de coagulant de *Moringa* qu'il n'en faut de sulfate d'aluminium pour traiter une même eau.

Aussi, la comparaison de quelques autres paramètres physicochimiques autre que la turbidité nous a ainsi permis de montrer que le pH de l'eau décantée avec les graines de *Moringa* reste pratiquement inchangé, ce qui est un avantage important car son traitement ne nécessite plus donc de correcteur d'acidité contrairement au sulfate d'aluminium.

Cependant, les indicateurs microbiens ont montré que le traitement à base de sulfate d'aluminium présente plus d'avantages car élimine tous les microorganismes pathogènes initialement présents dans l'eau, alors que les traitements à base de graines de *Moringa* comme coagulant ou même d'extrait de cactus comme flocculant engendrent une augmentation de la matière organique dans l'eau qui avec le temps induit une prolifération des bactéries.

Nous retenons ainsi au terme de l'étude que certes les graines de *Moringa* forment un bon coagulant, mais le sulfate d'aluminium est meilleur pour le traitement de l'eau à grande échelle. Cependant, nous pensons que si un certain nombre de préoccupations étaient prises en compte le couple graines de *Moringa*/cactus pourrait être une alternative bio, et plus efficace que le sulfate d'aluminium dans la clarification des eaux de surfaces. Il s'agit notamment d'une identification des différents composés contenus dans les graines de *Moringa* ainsi que dans l'extrait de cactus, d'une purification du principe actif pour chacune de ces substances naturelles et de leur synthèse pour obtenir un produit plus maniable et plus accessible.

Références bibliographiques

Abid A., Zouhri A., Ider A (2009). Utilisation d'un nouveau bio-floculant extrait de cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation. *Afrique science* 05(3) : 25–35.

Adeniran KA, Akpenpuun TD, Akinyemi BA, Wasiu RA (2017). Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as a coagulant in domestic wastewater treatment. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development* 9(3) : 323-328.

Dicko D (2016). *Etude de l'influence des caractéristiques de l'eau brute et de l'eau traitée sur l'efficacité de la chloration : cas de la station de traitement de Paspanga de l'ONEA au Burkina Faso*. Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Assainissement (2IE), Burkina Faso, 88p.

Fatombi KJ, Josse RG, Mama D, Aminou (2009). Étude de l'activité floculante de la caséine acide extraite de la crème de *Cocos nucifera* dans la clarification des eaux de surface ». *Revue Science de l'Eau* 22 : 93-101.

Fisch F, Suarez M, Mermoud N (2004). *Flo antibacterial peptide from the tropical tree Moringaoleifera: A template for novel antibacterial agents*. University of Lausanne, Suisse.

Folkard G, Sutherland J (2002). Development of a naturally derived coagulant for water and wastewater treatment. *Water Supply* 2(5- 6):89-94.

Kaboré A (2011). *Étude du pouvoir floculant et des qualités épuratoires des graines de Moringaoleifera dans le traitement des eaux brutes de consommation en Afrique subsaharienne : Cas des eaux du Burkina Faso*. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 98p.

Kaboré A, Savadogo B, Rosillon F, Traoré AS, Dianou D (2013). Optimisation de l'efficacité des graines de *Moringa oleifera* dans le traitement des eaux de Consommation en Afrique sub- saharienne : cas des eaux du Burkina Faso. *Revue des Sciences de l'Eau*, 26(3) : 209-220.

Kaboré A (2015). *Optimisation des qualités épuratoires des graines de Moringa oleifera dans le traitement domestique des eaux de consommation en Afrique sub-saharienne : Cas des eaux du Burkina Faso*. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 197p.

Katre UV, Suresh CG, Khan MI, Gaikwad SM (2008). Structure-activity relationship of a hemagglutinin from *Moringa oleifera* seeds. *International Journal of Biological Macromolécules* 42 : 203-207.

Konkobo Frédéric Anderson, 2019. *Etude comparative de l'activité floculante de coagulants naturels et chimiques dans la clarification des eaux de surface au BURKINA FASO : Cas du barrage de Loumbila*. Mémoire de Master, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 67p.

Nacoulma OG, Piro J, Bayane A (2000). Etude de l'activité floculante d'un complexe protéine-mucilage végétale dans la clarification des eaux brutes ». *Journal Société Ouest Africaine de Chimie* 9 : 43-57.

Ngbolua KN, Pambu AL, Mbutuku LS, Nzapo HK, Bongo GN, Muamba NB, Falanga CM, Gbolo ZB, Mpiana PT (2016). Etude comparée de l'activité floculante de *Moringa oleifera* et *Vetivera zizanoides* dans la clarification des eaux de mare au plateau de Batéké, République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research* 24(2) : 379-387.

Rakotoniriana HJ, Randriana NR, Ramaroson JD, Randrianarivelo F, Herihajaniavo AM, Andrianaivo L (2015). « Etude comparative des coagulants dans le traitement des eaux ». *MADA-HARY* 4 : 67-77

Tambo N. (1991) Basic concepts and innovative turn of coagulation/flocculation. *Water Supply* 9 : 1-10.

Zougrana DT, Combelem O (2016). Déterminants de la participation des populations riveraines à la protection des retenues d'eau en milieu urbain : Cas des barrages no 1, 2 et 3 de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. *Journal Ouest-Africain des Sciences de Gestion* 1(2) :72-96.