

Etude comparative des coagulants dans le traitement des eaux.

Haritiana Jeannelle Rakotoniriana*(1), Nambinina Richard Randriana (1), Jean de Dieu Ramaroson (2), Frédéric Randrianarivelo(1), Augustin Martial Herihajaniavo(1), Lala Andrianaivo(1).

(1) Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique, BP 1500 Antananarivo 101

(2) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Matériaux et Génie Civil, BP 6294, Antananarivo 101.

*auteur correspondant, email : tianajeannelle@yahoo.fr

Résumé

L'étude comparative des coagulants naturels de *Moringa oleifera* et du sulfate d'alumine nous a donné les résultats suivants pour les doses optimisées suivantes (20mg/L) pour le sulfate d'alumine et (1g/L) pour le *Moringa oleifera* : la turbidité diminue de 403 à 4NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique) avec l'utilisation de coagulant chimique $Al_2(SO_4)_3$, tandis qu'avec le principe actif, la turbidité est réduite de 403 à 5NTU, ces deux valeurs après le traitement sont toutes conformes à la norme de potabilité (5NTU). Concernant les conductivités après traitement avec le sulfate d'alumine, elles augmentent de 241 à 246mg/l, tandis qu'avec le traitement au coagulant naturel, la conductivité est de 241 à 243mg/l, autrement dit la contamination en sels minéraux est plus atténuée avec le coagulant naturel. Néanmoins, nous devons noter que ces valeurs après traitement sont toutes conformes à la norme de potabilité ($\leq 2000\mu S/cm$) micro-Siemens par centimètre. Pour la minéralisation, le traitement au sulfate d'alumine fait passer la minéralisation de 221 à 226mg/l, alors que celui du coagulant naturel, le traitement change la minéralisation de 221 à 223mg/ml, c'est-à-dire encore le *Moringaoleifera* est moins contaminant, sachant que la norme est de 500mg/ml. Pour la valeur de pH, il n'y a aucun changement lors du traitement au *Moringa*, tandis qu'avec le sulfate d'aluminium, sa valeur après traitement décroît de 7 à 6, mais la valeur finale est toujours incluse dans l'intervalle de la norme (6,5 à 9). En définitive, le fait que le *Moringa* est un coagulant qui ne modifie pas le pH de l'eau, présente un intérêt pratique considérable, car son emploi évite l'utilisation des rectificateurs d'acidité; tandis que l'utilisation du sulfate d'aluminium comme floculant nécessite encore d'un contrôle d'acidité au cours du traitement. Nous devons noter aussi à travers les paramètres de conductivité, de turbidité et de minéralisation que le coagulant naturel est plus performant que le coagulant chimique.

Mots clés : *Moringa oleifera*, sulfate d'alumine, coagulant, contamination.

Abstract

The comparative study of natural coagulants of *Moringa oleifera* and alum gave us the following results for the following optimized doses (20mg / L) for aluminum sulphate and (1g / L) for *Moringa oleifera*: the turbidity decreases to 403 4NTU (Nephelometric Turbidity Unit) with the use of chemical coagulant $Al_2(SO_4)_3$, while after treatment with the active ingredient decreases from 403 to 5NTU and these two values are all conform to the standard potability (5NTU). Regarding the conductivities after treatment with the aluminum sulphate, they increase from 241 to 246mg/l, whereas treatment with the natural coagulant, the conductivity is from 241 to 243mg / l, the contamination mineral salts is more attenuated with the natural coagulant. Nevertheless, we must note that these are all values after treatment in the standard of potability ($\leq 2000\mu S / cm$) micro Siemens per centimeter. For the digestion, treatment with alum passed mineralization from 221 to 226mg / l, while that of natural coagulant, treatment changes the mineralization from 221 to 223mg / ml, that is to say, the *Moringa oleifera* is less contaminant, knowing that the standard is 500mg/ml. To the pH value, there is no change in processing to *Moringa*, while with aluminum sulfate, its value after treatment decreases 7 to 6 he but still included in the range of the standard (6.5 to 9). Ultimately, the fact that *Moringa* is a coagulant which does not alter the pH of the water is of considerable practical interest because its use avoids the use of acidity rectifiers; while the use of aluminum sulfate as a flocculating still needs an acidity control during treatment. We must also note through the conductivity parameters, turbidity and mineralization as natural coagulant is more efficient than the chemical coagulant.

Keywords: *Moringa oleifera*, aluminum sulfate, coagulant, contamination

1. INTRODUCTION

Certes le floculant le plus utilisé actuellement dans le monde est le sulfate d'aluminium car c'est le moins cher des trivalents, toujours est-il son utilisation présente quelques inconvénients. Premièrement, son coût est relativement élevé, surtout pour les pays en voie de développement comme Madagascar (DGINSTAT, 2008). Deuxièmement sur le plan environnemental, son utilisation génère inévitablement une accumulation des résidus métalliques, et enfin est non le moindre, son emploi nous expose au risque élevé des maladies d'Alzheimer, puisque les résidus d'aluminium sont mises en cause par plusieurs scientifiques comme responsables de ladite maladie (Sylvie G., (1997). La clarification de l'eau avec la poudre de *Moringa* a été déjà effectuée depuis longtemps par de nombreux chercheurs (Macqueron G., 2010). Cependant, le phénomène avant la floculation avec cette poudre se passe comme suit : les principes actifs contenus dans la poudre se libèrent dans l'eau et rencontrent les colloïdes présents, ensuite ils engendrent un phénomène de floculation, (Ngassoum M. et al., 2014 ; Nbabigengesere A. et al., 1995).

Nous avons gardé cette hypothèse pour avoir un principe actif soluble dans l'eau en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction mais avec une méthode d'extraction conditionnée suivi d'une purification bien protégée. Par cette méthode, notre principe actif sera soluble dans l'eau et pourra rencontrer tous les colloïdes, ainsi la floculation sera optimisée. Tous ces faits évoqués nous incitent à apporter notre modeste contribution à la résolution des problèmes cités précédemment et afin d'améliorer la performance du coagulant naturel *Moringa oleifera*, qui pourrait être utilisé comme une alternative au coagulant chimique. De ce fait, la présente étude se propose les objectifs suivants :

- Améliorer l'efficacité du principe actif de *Moringa oleifera*
- Comparer l'efficacité des deux coagulants sulfate d'alumine et *Moringa oleifera*

2. MATERIELS

2.1. Présentation du matériel végétal de *Moringa oleifera*

Taxonomie de la plante

Famille : Moringaceae
Genre : *Moringa*
Espèce : *oleifera*
Origine : Inde
Nom : *Ananambo, Felimorongo, Morongo,*
vernaculaire *Tsialamiondrika*

2.2. Données sur l'eau brute et le *Moringa* utilisés à la floculation :

Origine de l'eau brute : l'eau brute à traiter provient du canal coulé vers la rizière d'Avaratrankatso.

Date de prélèvement : Mars 2013

Fiche technique de *Moringa* utilisé à la floculation (Degremont, 1978).

Noms vernaculaires : *Ananambo, Felimorongo, Morongo, Tsialamiondrika*

Origine : Tuléar (Madagascar)

Utilisation : Purification de l'eau

Le Sulfate d'alumine : C'est un coagulant de cristaux blanc dont la formule chimique est: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

3. METHODES

3.1. Choix de démarche

Nous pouvons imaginer que la présence d'huile dans une solution aqueuse entraîne un phénomène de flottation et une apparition de deux phases à cause de la propriété de l'huile, ainsi que de sa densité par rapport à l'eau. Ainsi si notre coagulant contient une certaine quantité d'huile, il est possible que cette quantité d'huile freine l'activité floculante de notre extrait et par conséquent, la décantation des floes sera imparfaite. Ce qui nous impose de procéder au préalable le déshuilage des graines avant d'utiliser le tourteau. Par ailleurs, comme nous voulons obtenir des protéines brutes non dénaturées dans le tourteau, il faudrait que notre extraction soit effectuée à froid ou à la plus faible température autant

que possible. De ce fait, la meilleure méthode d'extraction que nous avons imaginée pour qu'il n'y ait pas de dénaturation de protéine, est la méthode par pression suivie d'une extraction par solvant.

3.2. L'extraction par pression

Le rendement d'extraction est donné par la relation : $R = \frac{Qté\ d'\ huile\ obtenue}{Qté\ de\ matière\ première} \times 100$

- la quantité de matières premières utilisée : 500g
- la quantité d'huile obtenue : 96,3g

Calcul :

$$R = \frac{96,3}{500} \times 100 = 19,26\%$$

Donc d'après ce calcul, le rendement d'extraction de l'huile est : 19.26%.

3.3. L'extraction par solvant d'huile résiduelle

Le principe de récupération de restes d'huile, après l'extraction par pression, est très simple si on travaille à froid. Nous avons fait couler l'hexane (qui est le solvant d'extraction) sur le tourteau et laisser macérer pendant 24h dans une quantité d'hexane suffisante. Par diffusion, l'hexane se charge en huile et rencontre le tourteau presque entièrement déshuilé (Ngassoum et al., 2014). Chaque expérience a été répétée au moins trois fois avec le même mode opératoire et les valeurs ci-après sont les moyennes des résultats :

- la quantité de matière première utilisée : 403.7g
- la quantité d'huile obtenue : 32.45g.

La formule du rendement est donnée par :

$$R = \left(\frac{\frac{Q}{t\acute{e}}\ d'\ huile\ obtenue\ par\ solvant}{\frac{Q}{t\acute{e}}\ de\ matière\ première} \right) \times 100$$

Après application de la formule ci-dessus, nous obtenons :

$$R = \left(\frac{32,45}{403,7} \right) \times 100 = 8,04\%$$

D'après ce calcul le rendement d'extraction est : 8.04 %.

La teneur en huile totale est donnée par la relation :

$$R = \left(\frac{\frac{Q}{t\acute{e}}\ d'\ huile\ par\ pres^o + \frac{Q}{t\acute{e}}\ d'\ huile\ par\ solvant}{\frac{Q}{t\acute{e}}\ de\ matière\ première} \right) \times 100$$

$$R = \left(\frac{96,3 + 32,45}{500} \right) \times 100 = 25,75$$

En définitive, après avoir effectué deux extractions successives, la teneur en huile de graine de *Moringa oleifera* est de 25.75%.

3.4. Teneur en protéine du tourteau.

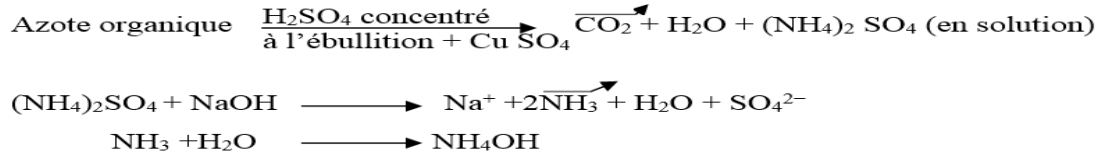
La méthode de Kjeldahl, permet de déterminer la teneur en protéine totale déduite à partir du pourcentage d'azote.

Principe

La minéralisation des échantillons transforme l'azote organique en azote ammoniacal. L'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré et à l'ébullition, agit comme un oxydant et détruit les substances organiques azotées. C et H se dégagent à

l'état CO₂ et H₂O, tandis que N est fixé à l'état ammoniac (sulfate d'ammonium). Cette dernière est déplacée par addition d'un excès de soude puis entraînée par la vapeur d'eau ; puis les vapeurs d'ammoniac sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans un bécher contenant de l'acide borique (H₃BO₃) fixant l'ammoniac et un colorant indicateur de pH (Audigie, 1991).

Nous pouvons schématiser les phénomènes qui se passent lors de l'expérience à l'aide des réactions chimiques suivantes :



La teneur totale en azote est donnée par la formule suivante :

$$\% N = \frac{V \times 0,14 \times 0,01}{M} \times 100$$

V : volume en ml de l'H₂SO₄ (0,01N) ayant titré le distillat.

M : masse en gramme de la prise d'essai.

Le pourcentage de protéines totales P% a été obtenu par multiplication du pourcentage de l'azote totale par le facteur de conversion 6,25 :

$$\boxed{P\% = \%N \times 6,25}$$

Nous présentons les résultats des essais dans le tableau 01.

Tableau 01: Teneur en protéine de tourteau

	1 ^{ère} expérience	2 ^{ème} expérience	3 ^{ème} expérience	Moyenne
V _{H2SO4} (ml)	21,20	21,30	21,50	21,35
%N	5,93	5,98	6,02	5,97
%P	37,06	37,33	37,62	37,34

Calcul

D'après le calcul, nous avons %N = 5.97% qui correspond en azote totale présente dans le principe actif de *Moringa oleifera* et le pourcentage de protéine total %P = 37.34%.

3.5. Extraction du principe actif des graines de Moringa

3.5.1. Choix de méthode

L'extraction du principe actif permet de recueillir dans une solution aqueuse les substances hydrosolubles contenues dans les graines de *Moringa*. Puisque le principe actif des graines de *Moringa* est constitué d'un flocculant protéinique et d'un autre flocculant non protéinique. La méthode que nous avons utilisée pour effectuer l'extraction est donc basée sur la technique d'extraction de protéine brute de certaine végétale; il s'agit d'une extraction à froid pour protéger les protéines (Ngassoum et al., 2014).

3.5.2. Mode opératoire de l'extraction

Le procédé d'extraction de notre principe actif est décrit par la figure 01 (organigramme) :

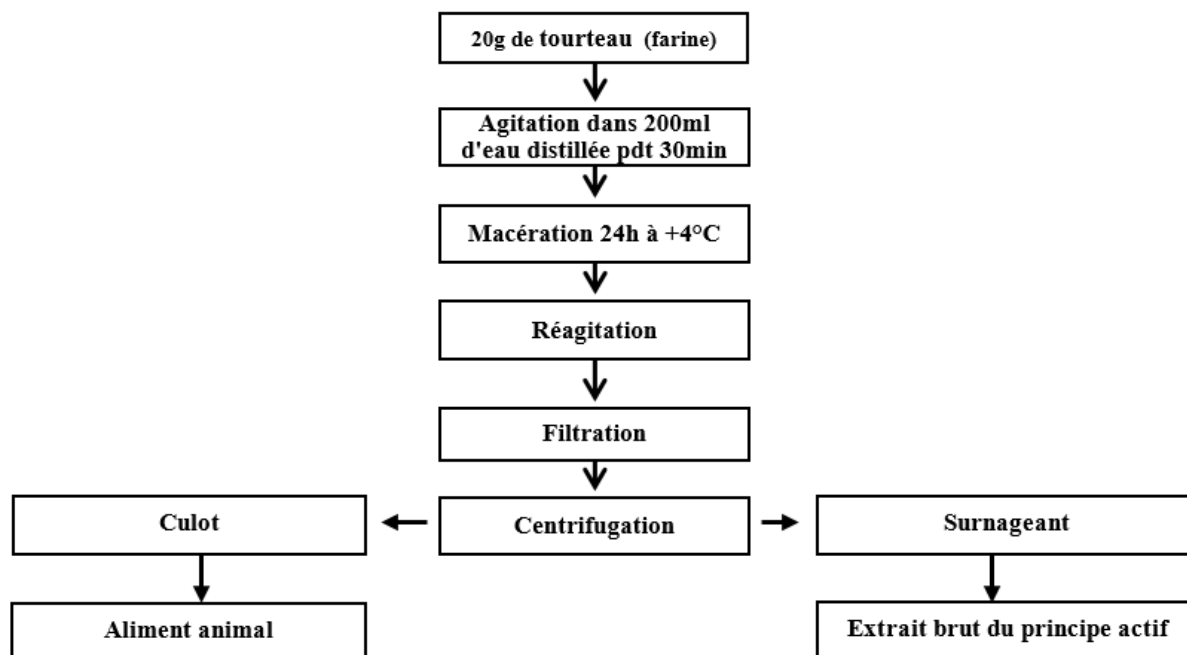


Figure 01: Procédé d'extraction du principe actif de *Moringa oleifera*

Pour 20g de tourteau, le volume de solvant utilisé est 200mL qui respecte le rapport poids/ volume =1/10. Après filtration et centrifugation, nous avons obtenu 174mL d'extrait brut limpide de coloration jaune.

3.6. Purification par traitement à la chaleur à faible température

3.6.1. But de la manipulation

Nous avons choisi cette méthode à cause de la propriété protéique et non protéique de notre principe actif, tandis que l'utilisation d'autre méthode utilisant un solvant comme l'éthanol et le sulfate d'ammonium nous permet de précipiter n'importe quelle protéine. Malheureusement, le principe actif contenu dans notre extrait brut n'est pas seulement des protéines. Notre but est alors d'obtenir une solution concentrée ou sous forme solide ou sous forme de gel contenant des macromolécules stables et solubles dans une solution aqueuse.

3.6.2. Mode opératoire

Nous avons évaporé le solvant d'extraction jusqu'à obtenir un rapport : poids/volume = 1, à température inférieure ou égale à 25°C, sous une basse pression, avec évaporateur rotatif.

Signification de l'utilisation du rapport : poids/volume = 1 : à cette quantité finale, presque les molécules stables et non volatiles restent en solution, en plus les protéines qui sont majoritaires, se précipitent partiellement.

Intérêt : à n'importe quelle masse de matière première utilisée, les valeurs des concentrations de solution en principe actif seront les mêmes si on applique cette méthode (Nbabigengesere, 1995).

Après traitement à la chaleur, nous avons obtenu 20mL de solution concentrée purifiée. Tandis que le volume de solution brute est de 174mL. Le rapport : poids / volume = 1 est respecté
 Masse de tourteau =20g ; volume de solution concentrée purifiée=20mL et on a 20/20= 1

3.7. Détermination de la concentration du principe actif

3.7.1. Principe

La détermination de concentration de l'extrait purifié consiste à réduire la solution concentrée en poudre ou en solide ou en gel et nous avons utilisé la méthode de dosage par pesée ; c'est à dire sécher le principe actif et peser après. Nous avons travaillé toujours dans le même domaine de température fixé précédemment ($\leq 25^{\circ}\text{C}$). L'évaporation totale de l'eau dans la solution purifiée nous conduit à obtenir un gel de masse 3g. Plus précisément, dans 20mL de solution concentrée renferme 3g de principes actifs protéiniques et non protéiniques.

3.7.2. Calcul de concentration

20mL de solution concentrée \longrightarrow 3g de principes actifs

$$C = \frac{3}{20} = 0.15 ;$$

Donc la concentration de solution concentrée purifiée de 20ml est de $C = 0.15 \text{ g/ml}$.

Calcul du rendement de purification

Le rendement est donné par la formule :

$$R = \left(\frac{Q_e}{Q_t} \right) \times 100$$

Application numérique :

Q_e = quantité de principe actif purifié = 3g



$$R = \left(\frac{3}{20} \right) \times 100 = 15\%$$

Q_t = quantité de tourteau sèche initiale = 20g

Donc le rendement de purification est de 15%.

3.8. Conservation du principe actif de *Moringa oleifera*

Le traitement par la chaleur à faible température est une technique utilisée pour une purification des extraits bruts, afin qu'il ne puisse pas engendrer des destructions ou modifications chimiques des substances purifiées. En cas d'existence de dénaturation de principe actif, elle sera plus faible et notre rendement sera inférieur à 15%. L'étape de conservation est importante puisque notre principe actif est à base de protéine naturelle et non pas synthétique, ce qui impose une conservation à la plus basse température autant que possible pour éviter sa dénaturation et également pour garder ses activités.

3.9. Etude comparative des coagulants

3.9.1. But de la manipulation

Notre étude se porte sur l'activité du principe actif de *Moringa oleifera* avec l'eau brute en comparant par le coagulant chimique sulfate d'alumine. Afin de mener à bien notre étude, nous n'aborderons que les paramètres physico-chimiques et organoleptiques de l'eau à traiter avant et après le traitement avec les deux coagulants.

3.9.2. Optimisation de la dose du coagulant naturel : *Essai de jar test*

Afin de connaître la dose optimale du coagulant nous avons adopté la méthode de jar test. En connaissant cette quantité, le résultat nous permet d'évaluer si notre coagulant convient bien ou non au traitement de l'eau brute à une certaine dose raisonnable et d'estimer l'abattement de la turbidité. Pour cela deux méthodes peuvent être appliquées pour connaître la dose optimale :

- soit par une simple observation : voir si dans une quantité minimum de coagulant, la formation de floc est maximale.
- soit par une mesure de turbidité: lorsque la dose de coagulant dans l'eau à traiter est optimale, la turbidité sera minimale (Boggio et al., 2009, Williams, 1984).

3.9.3. Application à la recherche de dose optimale de principe actif de *Moringa oleifera* : Jar test

Le protocole de travail se fait de la façon suivante :

5 récipients contiennent chacun 1L d'eau à traiter: eau prélevée dans un même endroit et à la même heure.

- Y introduire des quantités croissantes de coagulant:

- ✓ Récipient 1 :0,8g de coagulant
- ✓ Récipient 2 :0,9g de coagulant
- ✓ Récipient 3 :1g de coagulant
- ✓ Récipient 4 :1,1g de coagulant
- ✓ Récipient 5 : 1,2g de coagulant

- Agiter avec le flocculateur de 100 tours/mn pendant 2 min, suivie d'une agitation de 40 tours/mn pendant 20 min.

- Laisser reposer pendant 1 heure 30 pour décanter les floccs.

- Transvaser l'eau décantée dans un autre récipient pour pouvoir faire les mesures des différents paramètres (Rodier J., 1971, Williams S., 1984).

Comme notre coagulant est une solution de concentration 0,15 g/ml ; voici les relations en gramme et en volume (x_i) de flocculant à verser :

0,8g	→	$x_1 = 5,33\text{mL}$
0,9g	→	$x_2 = 6\text{mL}$
1g	→	$x_3 = 6,66\text{mL}$
1,1g	→	$x_4 = 7,33\text{mL}$
1,2g	→	$x_5 = 8\text{mL}$

3.9.4. Interprétation d'état de flocculation

Notons que l'augmentation de la quantité et des floccs formées sont présentées par : +, ++, +++

Avec : + représentant une petite quantité flocc; ++ une quantité moyenne de floccs et enfin +++ une grande quantité de floccs et nombreuses.

Le tableau 02 montre l'évolution de la formation des floccs par la méthode en Jar-test.

Tableau 02: Résultat de jar test

Numéro de récipient	Dose de coagulant (en g)	Quantité de flocculation
1	0.8	+
2	0.9	++
3	1	+++
4	1.1	+++
5	1.2	+++

La quantité de floccs formée est faible dans le récipient n°1 tandis que dans le récipient n°2, elle est moyenne ; et à partir du récipient n°3 elle devient importante. Ce qui signifie que à partir de la dose 1g/L de coagulant la quantité de floccs sera la même et importante. Ainsi, il n'y a plus lieu de choisir les doses en excès. Donc 1g est la quantité minimum de principe actif qui engendre un maximum de floccs pour 1L d'eau brute; donc nous allons noter que c'est la dose optimale de notre flocculant.

3.9.5. Clarification de l'eau brute avec la dose optimisée

Dans cet essai, nous voulons étudier les variations des paramètres physico-chimique et organoleptique de l'eau brute après un traitement avec une dose de 1g/L du nouveau coagulant. Les paramètres obtenus pour apprécier l'efficacité des coagulants sont: la température, le pH, la couleur, l'odeur, les MES (matières en suspension), la turbidité, la conductivité, la minéralisation ou la salinité.

3.10. Conditions expérimentales

Nous avons introduit 6,66ml de coagulant dans un litre d'eau brute. Les conditions expérimentales sont les suivantes :

- Agitation rapide de 100 tours/min pendant 2 min.
- Agitation lente de 40 tours/min pendant 20min.
- Décantation de floes pendant 1h 30.
- Siphonner l'eau décantée dans un autre vase et analyser l'eau traitée en mesurant les paramètres physico chimique.

La figure 02 représente le graphe du test de floculation au laboratoire.

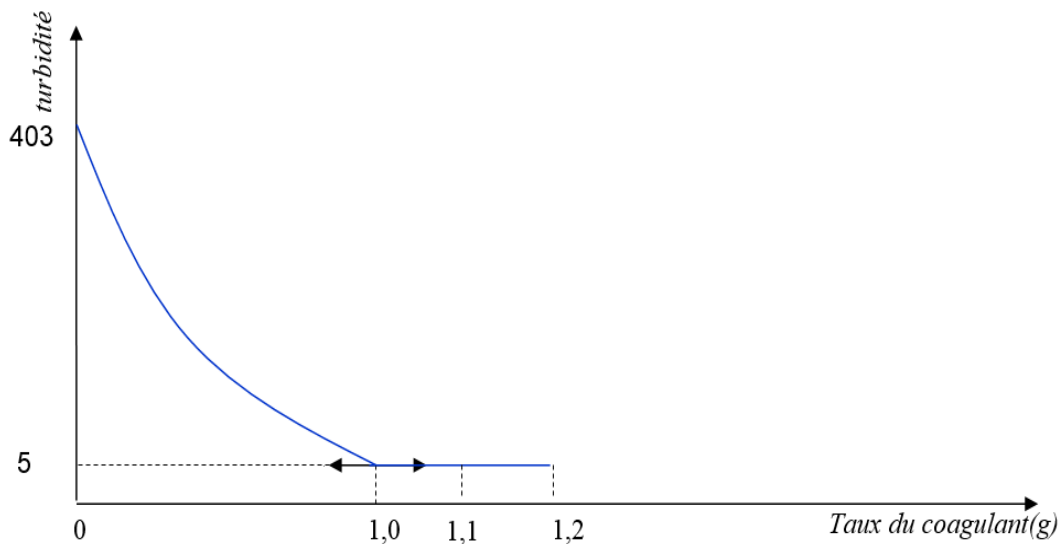


Figure 02: Courbe représentant la turbidité (NTU) en fonction de la concentration du coagulant (g/l)

Test de floculation par le coagulant chimique le sulfate d'alumine

La solution mère utilisée pendant le traitement de l'eau est de 10 g/L. La dose optimale pour le traitement est de 20 mg/L. La formule chimique du coagulant est: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Les conditions expérimentales de la floculation sont les suivantes:

- Agitation rapide de 100 tours/min pendant 2min.
- Agitation lente de 30 tours/min pendant 20 min.
- Décantation pendant 15 à 20 min.
- Siphonner ou transvaser dans un autre récipient l'eau décantée (Nbabigengesere, 1995):

4. RESULTATS

Les résultats des tests sont donnés dans le tableau 03, ils sont obtenus avec les doses optimisées pour chaque coagulant, chaque expérience a été répétée au moins trois fois et les résultats sont les moyennes des valeurs.

Tableau 03: Résultat de floculation avec le sulfate d'alumine et le principe actif de graine de *Moringa oleifera*

	Eau brute à traiter	Eau décantée au sulfate d'aluminium	Eau décantée au principe actif	Norme de potabilité
pH	7,1	6,3	7,1	6,5 à 9
Température (°C)	19	19	21	20 à 25
Odeur	mauvaise	absente	absente	Inodore
Couleur	marron	incolore	incolore	Incolore
MES (mg/l)	149.6	0	0	0
Turbidité (NTU)	403	4	5	5
Conductivité (µS/cm)	241	246	243	≤ 2000
Minéralisation (mg/l)	221	226	223	500

5. ANALYSES ET INTERPRETATIONS

La valeur de la turbidité diminue de 403 à 4NTU (Néphélobimétrie Turbidité Unité) avec l'utilisation de coagulant chimique $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, tandis que celle après traitement au principe actif diminue de 403 NTU à 5NTU et ces deux valeurs sont conformes à la norme de potabilité (5NTU) (OMS., 2006, Norme de potabilité, 2015)

Concernant les conductivités et les salinités après traitement par le sulfate d'alumine, elles augmentent de 241 à 246mg/l pour la conductivité et de 221 à 226 mg/l pour la salinité. Celles obtenues avec le *Moringa oleifera* croient de 241 µS/cm à 243 µS/cm pour la conductivité et de 221mg/l à 223 mg/l pour la salinité (O.M.S., 2006). Autrement dit, les résultats de traitement avec le sulfate d'alumine sont plus contaminants par rapport à ceux de *Moringa* vis à vis de la valeur de la conductivité et de la salinité. (OMS, 2006 ; Aquatechnique, 2013)

Pour la valeur de pH, il n'y a aucun changement lors du traitement au *Moringa*, tandis qu'avec le sulfate d'alumine, sa valeur après traitement décroît de 7 à 6, mais toujours incluse dans l'intervalle de la norme (Sarkar & Peace, 1994). En guise de conclusion, l'efficacité du *Moringa* comme coagulant ne modifie pas le pH de l'eau, ce qui évite l'utilisation des rectificateurs d'acidité; tandis que l'utilisation du sulfate d'aluminium comme floculant nécessite encore un rectificateur d'acidité au cours du traitement (OMS, 2006 ; Aquatechnique, 2013).

En récapitulant, les avantages du traitement de l'eau avec le coagulant naturel de *Moringa oleifera* sont multiples : la solution du coagulant est bien homogène, la décantation des floes est quasiment complète, la diminution de la valeur de la turbidité est importante, le principe actif possède aussi une propriété désodorisante, les erreurs éventuelles de dosages n'induisent pas de la toxicité, le *M. oleifera* ne contient pas des produits nocifs laissant des traces dans les boues et les eaux. Néanmoins, ses inconvénients sont dus à la faible vitesse de décantation des floes par rapport à celle du sulfate d'alumine (Shouci Lu, 1998). La concentration optimale en coagulant est supérieure (1g/l) par rapport à celle du sulfate d'aluminium (20 mg/l).

6. CONCLUSION

L'obtention du principe actif du *Moringa oleifera*, est soumise à l'extraction d'huile contenue dans la graine qui entrave son activité floculant et ralentit la décantation des floes. Ce qui nous a conduits à adopter deux méthodes d'extraction de l'huile : par pression et par solvant, afin d'améliorer le rendement. C'est seulement après cette opération qu'on peut extraire le principe actif du sous-produit c'est-à-dire des tourteaux. Son extraction se fait à froid et sa purification est effectuée suivant « la méthode de purification par traitement à la chaleur à faible température ». Le principe actif obtenu est à l'état liquide, sous forme de solution concentrée (en protéines et en d'autres substances non protéiques). Après avoir appliqué la dose optimale (1g de coagulant/l d'eau) pour le traitement d'une eau à forte turbidité, nous avons pu relever que les valeurs des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée se trouvent dans l'intervalle des normes de potabilité.

Par comparaison avec le coagulant chimique du sulfate d'alumine avec la dose optimale (20mg/l), nous avons remarqué que le pH de l'eau décantée avec ce principe actif reste inchangé, c'est un avantage important puisque son traitement ne nécessite plus de correcteur d'acidité. Les grands changements des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée nous permettent de conclure que le principe actif que nous avons extrait est un bon coagulant naturel. En effet, il présente de nombreux avantages sur les plans économique, social et environnemental par rapport au coagulant chimique. De plus, cette plante remplit complètement les conditions de coagulant utilisé pour le traitement de l'eau vis-à-vis de sa propriété. En effet, le coagulant ne doit pas présenter de toxicité, être facile à produire, et facile à doser. Les graines de *Moringa* répondent très bien à ces critères.

Le principe actif à l'état liquide nécessite une basse température donc il est conseillé que la conservation soit dans un équipement frigorifique. Aussi, nous proposons sa transformation en poudre. Etant donné que les protéines qui jouent un grand rôle à la floculation, cette mesure est bénéfique car elle facilitera sa conservation et sa distribution auprès de la population la plus nécessiteuse. Notre étude expérimentale ne prétend pas épuiser toutes les mesures de traitement de l'eau ; elle se limite seulement au processus de floculation et à l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau. Une étude sur le plan bactériologique pourra faire l'objet de recherche future pour compléter la présente. Il est souhaitable aussi de mener une étude comparative du coût de traitement des eaux avec les deux coagulants cités précédemment.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aliverti M.G. Brent R., (1963): « Les Merveilles de la chimie ». Editions Deux Coqs d'Or, Paris., pp10-65
2. Al-Kahtani, H.A. et al., (1993): Comparison of physical, chemical, and functional properties of *Moringa peregrina* (Al-Yassar or Aö-Ban) and soyabean proteins. *Cereal Chemistry* **70**, 619-626.
3. Anselme Nbabigengesere et al., (1998): Quality of water treated by coagulation using *Moringa Oleifera* seeds. *Water resources* Vol. 32 n°3, 781-791.
4. Anselme Nbabigengesere et al., (1995): Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa Oleifera*, *Water resources* Vol.29 n°2, 703-710.
5. Audigie C. et al., (1991): « Biochimie structurale ». 3^e édition. Paris, pp 5-96
6. Berger M.R. et al., (1984): Toxicological assessment of seeds from *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*, two highly efficient primary coagulants for domestic water treatment of tropical raw waters. *East African Medical Journal* **61**, 712-716.
7. Berger M.R. et al., (1984): Toxicological assessment of seeds from *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*, two highly efficient primary coagulants for domestic water treatment of tropical raw waters. *East African Medical Journal* **61**, 712-716.
8. Degremont, (1978): « Mémento technique de l'eau ». 8^e édition Paris, pp5-124
9. DGINSTAT/DES/SSES/COMEXT/Octobre (2008): Importation et coût du sulfate d'aluminium, page 1
10. Foidl N. et al., (2001): Potentiel de *Moringa oleifera* en Agriculture et dans l'industrie, Dar es Salaam, Tanzanie.
11. Fondation PROTA/Backhuys Publishers/CTA Wageningen, (2004): « Ressources végétales de l'Afrique tropical 2 Légume ». Pays-Bas, pp 7-84

12. Grégoire Macqueron, (2010) : Comment les graines de Moringa aident au traitement des eaux usées, Futur-Sciences, <http://www.futurasciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d>, consulté le 10 janvier 2014.
13. Jinming Duan, John Gregory, (2003): Coagulation by hydrolysing metal salts, *Advances in colloid and interface science* 100-102, 475-502.
14. OMS, (1985) : « Recommandation, Directive de Qualité pour l'eau de boisson vol1 », pp12-90
15. Rodier J., (1971): « Analyse chimique et physico chimique de l'eau, eaux naturelles, eau résiduaire ».4^e édition. DUNOD, pp 8-130
16. Rossini M. et al., (1999): Optimization of the coagulation-flocculation treatment: influence of rapid mix parameters. *Water resources* Vol. 33 n°8, 1817-1826.
17. Salunkhe D.K., (1982). Phytates in legumes and cereals. *Advances in Food Research* 28, 1-92.
18. SAINI, H.S. & WRATTEN, N. (1987). Quantitative determination of total glucosinolates in rapeseed and meal digests. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry* 70,141-145.
19. Sarkar G. & Peace R.W. (1994). The protein quality of some enteral products is inferior to that of casein as assessed by rat growth methods and digestibility-corrected amino acid scores. *Journal of Nutrition* **124**, 2223-2232.
20. Shouci Lu et al., (1998): Kinetics of fine particle aggregation in turbulence *Advances in colloid and interface science* 78, 197-235.
21. Smith C.A. et al., (1987): Rapid method for determining total glucosinolates in rapessed by measurement of enzymatically released glucose. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 38, 141-150.
22. Thompson L.U. (1993). Potential health benefits and problems associated with antinutrients with foods. *Food Research International* **26**, 131-149.
23. Van Soest P.J. (1965). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. *Journal of the Associations of Analytical Chemistry* **48**, 785-790.
24. Williams S., (1984). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC, Virginia, USA.

WEBOBGRAPHIE

25. Aquatechnique, (2013) : conductivité http://aquatechnique.pagespersoorange.fr/Techniques/page_%20conduc.htm, page1, date de consultation 02juin 2015.
26. Boggio et al., (2009) : Le pH, la dureté, la conductivité et la turbidité, ensaia.univ-lorraine.fr/.../terres_de_liens.pdf, page 1, date de consultation 15 janvier 2015
27. Cre L., (2009): La conductivité de l'eau, http://www.troussedeslacs.org/pdf/fiche_conductivite.pdf | page. 3, date de consultation, 17 Décembre 2014.
28. Ngassoum M. et al. (2014) : Extraction, purification et séchage de la molécule flottante des graines de Moringa Oleifera et application aux traitements des eaux de consommation, publication.lecames.org/index.php/svt/article/.../164
29. Norme de potabilité Malagasy, (2015): Décret n°2004-635 du 15/06/04). Paramètres, Organoleptiques, Odeur, Couleur, Saveur, Désagréable., <http://www.jirama.mg>
30. OMS, (2006): Normes de l'OMS sur l'eau potable - Lenntech, www.lenntech.fr/.../normes/normes-oms-eau-potable.h...
31. Sylvie G., (1997): L'aluminium et la maladie d'Alzheimer, www.larecherche.fr/.../aluminium-malad..., mensuel la recherche l'actualité des sciences, n°304 daté décembre à la page 36, consulté le 10 mai 2014.