

UTILISATION DE LA GRAINE DE MORINGA : ESSAIS DE FLOCCULATION AU LABORATOIRE ET EN VRAIE GRANDEUR

RAPPORT DE JEAN ANTOINE FABY ET ALFRED ELELI, 1993
CIEH/EIER/OIEAU

Résumé réalisé par Emilie Chantrel et Armelle de Saint Sauveur, PROPAGE, et relu par M. Faby

L'étude se déroule au Burkina Faso en 1993. Les auteurs ont procédé à la récolte des graines, la préparation de la poudre de Moringa, des Jar-tests, des tests à échelle intermédiaire et enfin des tests en vraie grandeur dans la station de Poura qui fournit 600m³ d'eau par jour. Le test en station s'est déroulé sur 10h. La poudre de Moringa ne semble pas pouvoir remplacer le sulfate d'alumine seule mais les deux coagulants ensemble paraissent très efficaces.

PHASE I : RECOLTE DES GRAINES PREPARATION CONDITIONNEMENT

Cette étude sur les graines a pour objectif de déterminer le rendement des arbres en graines, les sites de cueillettes, le temps nécessaire pour la préparation du floculant, le développement de techniques de broyage adéquates et les conditions de stockage du floculant. Toutes ces étapes ont été réalisées dans un pays où le Moringa n'est pas cultivé pour la production de fruits ou de graines. De plus, les essais de floculation étant limités dans le temps, le matériel utilisé n'a pas été mis au point spécifiquement pour la préparation des graines. Les chiffres ci-dessous sont donc loin de refléter une situation d'optimum économique.

Les gousses arrivent à maturité en Mars-Avril et sont prêtes pour la cueillette. L'efficacité de cueillette est estimée à 0.1 à 0.3kg de graines par homme et par heure, ceci en fonction de la densité des graines sur les arbres et de l'éloignement des arbres entre eux sur le site (parfois les arbres sont isolés ou en haies). Le coût par kilo est de 1000FCFA (=20FF=3euros) mais pour des sites où un transport est nécessaire il peut aller jusqu'à 6000FCFA (120FF=18.3euros).

Nature des graines : sur les sites de bonne qualité les graines pèsent 330mg avant d'être décortiquées et de 230 à 310mg une fois décortiquées. Elles contiennent 5% d'eau et 46% d'huile. Cette composition, comme nous allons le voir pose des problèmes qui ont été résolus avec les moyens disponibles.

Le dégoussage est aisé lorsque les gousses sont mûres. En effet, lorsque les gousses sont sèches elles libèrent les graines en tombant (gaulage), sinon un simple battage suffit. Cette étape ne nécessite donc que très peu de main d'œuvre. Le décortiquage, qui consiste à enlever les trois ailettes et le tégument des graines revient environ à 1000FF(=152.5euros) par kilo de graines décortiquées (ou amandes), le rendement est de environ 80 à 120g d'amandes/h/personne soit 130 à 200g de graines traitées/h/personne.

Une poudre fine et homogène ($d_{60}/d_{10}=1.5$) semble la plus efficace. Différentes techniques d'obtention de poudre ont été testées. La méthode artisanale au pilon

domestique s'avère laborieuse et peu efficace. La méthode au moulin électrique qui se trouve communément au Burkina pour différentes farines donne une pâte molle non homogène. Les particules s'agglomèrent sans doute à cause de l'eau et de l'huile contenues dans les graines. La dernière méthode, la plus prometteuse consiste à insérer une par une (encore à cause de leur caractère gras) les graines dans un broyeur CYCLOTEC 1093 sample mill de TECATOR 0.6 kW. Une turbine brise les graines et un flux d'air transporte les fines particules. La poudre ainsi obtenue contient 90% de particules de taille inférieure à 0.1mm. Le broyeur est loué par le laboratoire d'écologie de Ouagadougou pour 1000FF/kg (=152.5euros), le rendement étant de 1kg/h. Cette méthode a été utilisée faute d'autres alternatives face à la composition problématique des graines.

La poudre ainsi obtenue s'agglomère. Afin d'éviter ceci, la poudre doit être stockée si possible étalée au soleil sans être soumise aux poussières ni au vent. Si ce mode de stockage délicat est impossible, il est préférable de constituer de petits paquets. Lorsque la poudre s'agglomère, une étape de désagglomération manuelle à raison de 2-3kg délayés/h/personne est indispensable.

La solution mère à ajouter à l'eau à traiter est obtenue en mélangeant la poudre à de l'eau lors d'une agitation pour éviter que la poudre décante. Lors de l'étude effectuée, les auteurs ont choisi une concentration de 20g/l pour la solution mère (2%).

PHASE II : ESSAIS DE CLARIFICATION D'EAUX BRUTES EN LABORATOIRE

1) Essais en jar test

Des essais de clarification, en jar test, d'eaux brutes en laboratoire sont effectués afin d'estimer la dose optimale de Moringa à utiliser. Les eaux brutes utilisées par les stations de potabilisation des eaux subissent des phases de coagulation, floculation, décantation d'un protocole répété à l'identique pour toutes les eaux. Des tests sur les eaux sont réalisés avant et après la clarification. Les résultats permettent de voir si la poudre de Moringa est adaptée à différents types d'eau en quantité raisonnable, d'estimer l'abattement de la turbidité, le pouvoir désinfectant du Moringa, s'il modifie la composition chimique et organoleptique des eaux et si il induit une pollution nouvelle.

Dans des récipients cylindriques contenant de l'eau à traiter le coagulant est ajouté pendant une phase d'agitation rapide (130tr/min) de 1 à 2min suivie d'une agitation modérée (40tr/min) de 20min. Les floccs décantent ensuite pendant une heure. Ces tests sur les eaux montrent qu'une solution mère filtrée perd en efficacité (la filtration élimine des particules de Moringa). Il apparaît que l'abattement de la turbidité n'est pas proportionnel à la quantité de Moringa. De plus, il varie en fonction des différentes eaux. Une eau faiblement turbide sera difficilement floculable. Au contraire, le Moringa serait un coagulant efficace pour des eaux dont la turbidité est comprise entre 5 et 200NTU. Son efficacité dépend de la nature des éléments à floculer, notamment de la nature des argiles. L'origine des arbres peut aussi faire varier cette efficacité.

La composition chimique évolue peu (conductivité et pH à peu près constant). Le taux de bactéries diminue fortement, notamment les coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux qui ne sont parfois même plus identifiés.

La dose de Moringa pour clarifier les eaux (toutes turbidités confondues) est 5 à 10 fois plus importante que celle requise avec le sulfate d'alumine. Celui ci permet également de diminuer la turbidité d'eaux faiblement turbides après floculation puis décantation. Le Moringa n'abaisse pas la turbidité des eaux trop faiblement turbides. En saison sèche, les eaux brutes, peu turbides ne peuvent pas être traitées avec les graines de Moringa. Ceci correspond également aux résultats des études de Mme Jahn.

2) Tests de cohésion des boues

Des tests de cohésion des boues ont été effectués sur les boues obtenues avec le jar test de l'eau de Ouagadougou qui a une turbidité de 75NTU avant son traitement avec 400mg/l de poudre de Moringa. Ces tests sont effectués dans une éprouvette. Le but est de déterminer le coefficient K de cohésion des boues.

Lors de l'utilisation de décanteurs à flux verticaux, l'eau floculée est introduite par le bas. La vitesse ascensionnelle de cette eau doit être la même que la vitesse de chute de la boue. Ainsi, la boue reste à une hauteur constante et le voile de boue formé constitue un filtre. L'eau floculée introduite par le bas est débarrassée de ses floccs et récupérée en haut du décanteur. Le coefficient de cohésion des boues est donc un paramètre important.

Le coefficient déterminé pour les boues de Moringa montre que la boue de Moringa est légère, constituées d'un floculant fragile, et certainement difficile à utiliser dans un décanteur floculateur à contact de boue. Des résultats prometteurs ont par contre été observés en associant le Moringa au sulfate d'alumine.

3) Tests à échelle intermédiaire

Des tests à échelle intermédiaire sont réalisés en fut de contenance de 300l avec 200l d'eau brute plus la solution mère. Le tout est agité rapidement (130tr/min) avec un agitateur à barreaux puis lentement (20tr/min) pendant 20min à l'aide de pales de bois. L'eau est ensuite transvasée dans une colonne de 2m de haut pour procéder à une décantation statique. Ceci sert à estimer le rendement de la décantation en fonction du temps et donc les caractéristiques de dimensionnement pour le décanteur (temps de séjour, vitesse de surverse, débit d'eau traitée et volume).

Le test pilote avec des eaux peu turbides (3,5NTU), permet d'analyser la décantation des particules de Moringa car la formation de floccs est presque inexistante. Les particules de Moringa décantent de façon libre avec une vitesse de chute quasiment constante de 5cm/h à 1m/h, contre 1.8 à 5.4m/h pour les floccs de sulfate d'aluminium. Deux heures de temps de séjour donnent des résultats satisfaisants (95% de matières en suspensions éliminés) pour la décantation. Ceci correspond à une vitesse de surverse de sécurité de 0.35 à 0.5m/h (toujours supérieure à 5m/h dans les décanteurs statiques existants).

Un test pilote avec des eaux plus turbides (75 et 154NTU) montre que la décantation nécessite 2 à 3h pour obtenir des résultats à peine suffisants (abattement de la turbidité de 70 à 75%). Il faudrait donc diminuer le débit de traitement pour utiliser le Moringa en tant que coagulant dans un décanteur classique. En effet, le temps de séjour nécessaire à la décantation est plus long pour un traitement au Moringa que pour un traitement avec un coagulant chimique. Les décanteurs statiques demandent plus de temps et plus de place pour une même quantité d'eau traitée.

La décantation est de meilleure qualité si elle se fait dans les fûts sans procéder au transvasement dans la colonne. Le transvasement de l'un à l'autre nuit aux floccs et la phase de floculation se poursuit dans les fûts, la floculation est alors plus complète.

PHASE III ESSAIS EN STATION DE TRAITEMENT A L'ECHELLE OPERATIONNELLE

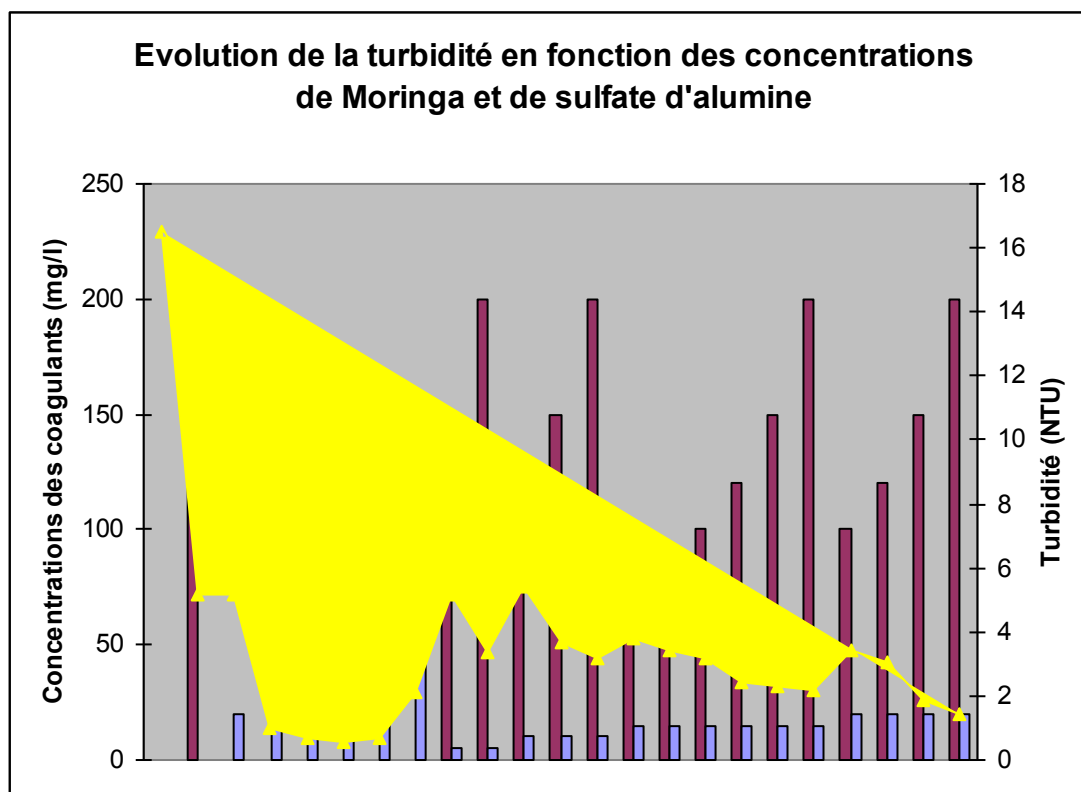
Ces essais ont été effectués sur une station dont les modes de fonctionnement n'ont pas été changés. Le Moringa se substitue au sulfate d'alumine, ceci constitue la seule modification apportée. L'eau brute de Poura présente une turbidité de 35,6NTU au moment du test.

Les essais montrent qu'une substitution de l'alun par le Moringa semble difficile à mettre en place mais des tests sur une association de Moringa et de sulfate d'alumine ont été réalisés et sont très intéressants.

Des tests sur une eau brute de 16.5NTU de turbidité montrent que le Moringa additionné de sulfate d'alumine (le rapport 1/4 est ici le plus économiquement efficace, soit 15mg/l de sulfate d'alumine et 60mg/l de Moringa) injectés ensemble, est un coagulant très prometteur. Après décantation, les eaux présentent une turbidité fortement diminuée de 3.8NTU après une heure contre 13.4NTU si le Moringa est introduit seul à raison de 60mg/l et 5.2NTU si le sulfate d'alumine est introduit seul à raison de 20mg/l.

Les tests effectués ont été réalisés afin de voir si l'injection de Moringa et de sulfate d'alumine devait se faire simultanément ou séparément. Il apparaît que les coagulants sont plus efficaces s'ils sont injectés ensemble. Ceci est un bon point pour le traiteur d'eau qui n'a alors qu'une solution à introduire et en une seule fois.

Le coefficient de cohésion des boues obtenu est de 2 à 3m/h ce qui est bien meilleur que dans les deux autres cas. Ce coefficient laisse penser que cette association peut être utilisée dans un flocculateur décanteur à contact de boue. Par contre, les boues contiennent alors de l'alumine, elles sont donc plus polluantes que des boues de Moringa.



Ce graphe montre que bien que les turbidités les plus faibles soient obtenues avec l'alun seul (à gauche) ou avec une association introduisant de grandes quantités de Moringa (à droite), la plus faible turbidité obtenue avec des doses minimales d'alun et de Moringa mélangés correspond à un peu moins de 4 NTU, avec 60 mg de Moringa et 15 mg/l d'alun (14^{ème} valeur à partir de la gauche). Il reste à étudier si les 60 mg de Moringa coûtent moins cher que les 25 mg d'alun économisés par rapport à l'utilisation seule du sulfate d'alumine avec une concentration de 40mg/l, qui produit une turbidité de moins de 2 NTU (4^{ème} valeur à partir de la gauche).

Résultats obtenus avec le Moringa seul

Floculation

Le Moringa est ajouté à hauteur de 22,8g/l d'eau à traiter. Il clarifie l'eau mais des particules subsistent entre les floccs, elles sont sans doute responsables de la turbidité résiduelle après décantation. Les floccs sont sensibles aux variations physiques notamment l'agitation. Une agitation trop forte les casse. Une eau dont la turbidité est supérieure à 100NTU est difficilement clarifiable. Il semble que chaque particule de Moringa a un pouvoir d'adsorption limité sur sa surface extérieure. La cinétique d'adsorption est rapide (15min). La floculation nécessite beaucoup de soin parce que les floccs sont fragiles et la préparation du flocculant est laborieuse (broyage, stockage, conservation), le Moringa peut donc difficilement remplacer le sulfate d'alumine.

Décantation

Les décanteurs de la station de Poura ont une contenance de 70m³, avec une vitesse de surverse de 0.65m/h. Au cours de l'étude ils fonctionnent en flux horizontal (dynamique) lorsque l'eau s'écoule ou en statique lorsque le débit de traitement est diminué pour obtenir une efficacité de traitement plus grande.

Le temps de séjour doit être de l'ordre de 3 à 4h minimum pour obtenir une turbidité de 5NTU ou moins. Il semble difficile de faire aussi bien qu'avec le sulfate d'alumine. La décantation est diffuse et libre avec peu d'agglomération durant la chute lente (2-3h).

Une décantation dynamique est trop peu efficace avec le Moringa, seule une décantation statique ou quasi statique est envisageable. Ces capacités de décantation ne permettent pas de remplacer le sulfate d'alumine par du Moringa. Des résultats acceptables peuvent être obtenus sur les eaux dont la turbidité est inférieure à 100NTU avec une floculation suivie d'une filtration sans décantation ou avec une décantation statique de 2-3h. L'abattement des germes suite à la décantation reste très limité

Filtration

La filtration se fait dans des filtres à sables, sur une surface totale de 7.4m² avec une vitesse de filtration de 4 à 6m/h. Après filtration l'eau (15-20NTU en sortie de décanteur) présente une turbidité de 0-5NTU. Le sulfate d'alumine rabaisse la turbidité à 1NTU. *Les normes OMS* exigent que l'eau atteigne une turbidité de 5NTU ou de 1NTU si elle doit subir un traitement de désinfection car les matières en suspensions sont un obstacle à l'action du chlore.

Après un traitement optimal des colloïdes, il subsiste 1 à 2NTU de turbidité résiduelle due aux très fines particules de Moringa.

Boues

L'état des boues est cohérent. Une boue obtenue après un traitement au Moringa est plus biodégradable et moins polluante qu'une boue obtenue après traitement au sulfate d'alumine.

Qualité bactériologique et chloration

La qualité bactériologique est à peine améliorée par la décantation mais un peu par la filtration. Le chlore n'agit pas toujours rapidement, les particules de Moringa qui subsistent protègent peut-être les bactéries nécessitant alors un temps de contact plus long. La présence de matière organique en suspension dans l'eau (sans doute les particules de Moringa) donne du chlore combiné dont le pouvoir désinfectant est moindre. Une pré chloration n'est pas envisageable avec un traitement au Moringa et la filtration doit être de bonne qualité pour éviter la formation de chlore combiné au cours d'une post chloration. L'eau testée (4.8NTU de turbidité) consomme 0.7mg/l de chlore en 2h et le résiduel de chlore combiné est de 0.3mg/l.

Le Moringa semble éliminer 50% des coliformes totaux et fécaux mais avoir une action nettement plus faible sur les streptocoques. La solution de Moringa utilisée lors de cette étude est contaminée, le décorticage et le broyage sont sans doute la cause de cette contamination.

Concentration de Moringa

La concentration en solution mère de Moringa n'est pas constante, les particules, qui ne sont pas dissoutes, ne se répartissent pas de façon homogène. Une agitation

constante dans le temps et dans l'espace peut-être à mettre en place pour remédier à ce problème qui rend la coagulation moins efficace.

Composition chimique de l'eau

Le fer diminue fortement, il est soit oxydé puis précipité soit adsorbé sur les particules de Moringa.

L'abattement de l'azote ammoniacal est de 50-60%. Des sulfates sont présents dans l'eau (15mg/l contre 19 avec le sulfate d'alumine), le Moringa serait-il source de sulfates, les eaux burkinabaises n'en possédant pas?

Les suspensions de Moringa dont les graines datent de plus d'un an décantent moins vite que les suspensions de graines récentes sur une eau peu turbide (2.3NTU) mais ont un pouvoir clarifiant 2 fois plus important que les solutions de graines récentes sur une eau turbide (154NTU).

TRAITEMENT DE L'EAU PAR LE MORINGA, AVANTAGES ET INCONVENIENTS.

Inconvénients

- La solution mère est difficile à préparer à partir de la poudre brute, un délayage de la poudre avant introduction dans l'eau claire est nécessaire.
- La solution mère présente des problèmes d'homogénéité
- La décantation dynamique est difficile et incomplète sans doute à cause de la faible densité des particules de Moringa
- Du chlore combiné se forme si filtration n'est pas parfaite car il reste alors des matières organiques, notamment des particules de Moringa
- Au cours de cette étude, la turbidité obtenue était trop importante pour procéder à une désinfection

En comparaison avec les flocculants chimiques

- Dose 4 à 5 fois plus importante que pour les flocculants chimiques
- Pas de phénomènes de pontage
- Floccs de faible taille et fragiles
- Stockage de la poudre des graines difficile

Avantages

- La turbidité colloïdale (<10µm) se transforme en turbidité particulaire (entités plus grosses donc sans doute plus facilement éliminées)
- Pas de modification des propriétés physico-chimique (pH notamment, des études sont à effectuées pour évaluer la nécessité d'ajout de chaux)
- Une filtration lente semble très efficace
- Pas d'incompatibilité avec le sulfate et les boues d'alumine
- Boues biodégradables et exemptes d'aluminium
- Possibilité de traitement en cuvée (décantation statique)