Document généré le 24 avr. 2024 05:27

Revue des sciences de l'eau
Journal of Water Science

Étude de l'activité floculante de la caséine acide extraite de la crème de Cocos nucifera dans la clarification des eaux de surface

Study of flocculation power of Cocos nucifera acidic casein cream during the clarification of raw surface waters

Jacques Fatombi K., Roger Gérard Josse, Daouda Mama et Taofiki Aminou

Volume 22, numéro 1, 2009

URI : https://id.erudit.org/iderudit/019826ar
DOI : https://doi.org/10.7202/019826ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Fatombi K., J., Josse, R. G., Mama, D. & Aminou, T. (2009). Étude de l'activité floculante de la caséine acide extraite de la crème de Cocos nucifera dans la clarification des eaux de surface. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *22*(1), 93–101. https://doi.org/10.7202/019826ar

Résumé de l'article

La coagulation et la floculation sont deux étapes essentielles dans le traitement des eaux. Les graines de *Moringa oleifera* sont un floculant végétal qui introduisent des matières organiques dans les eaux clarifiées. C'est pour cela que nous avons testé le pouvoir floculant d'une caséine acide extraite de la crème de coco. Ce floculant comprend 83 % de matières organiques et 17 % de matières minérales. Les résultats des essais au jar-test effectués au laboratoire ont indiqué que son pouvoir floculant est supérieur à celui des graines de *Moringa oleifera* mais inférieur à celui du sulfate d'aluminium. Les concentrations des métaux usuels ont connu une réduction assez sensible au cours de la clarification soit 79 % pour l'aluminium, 54 % pour le cuivre, 58 % pour le fer et 80 % pour le zinc. Le pH a connu une légère baisse ce qui a entraîné une diminution du titre alcalimétrique complet (TAC). Les concentrations de la DCO et de la DBO ont légèrement augmenté.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 2009

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

RSE

ÉTUDE DE L'ACTIVITÉ FLOCULANTE DE LA CASÉINE ACIDE EXTRAITE DE LA CRÈME DE COCOS NUCIFERA DANS LA CLARIFICATION DES EAUX DE SURFACE

Study of flocculation power of Cocos nucifera acidic casein cream during the clarification of raw surface waters

*Jacques FATOMBI K., Roger Gérard JOSSE, Daouda MAMA, Taofiki AMINOU**

Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Chimie de l'Environnement et de l'Eau (LERCEE)
Faculté des Sciences et Techniques / Département de Chimie
Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, COTONOU (Bénin)

Reçu le 13 mars 2008, accepté le 23 mai 2008

RÉSUMÉ

La coagulation et la floculation sont deux étapes essentielles dans le traitement des eaux. Les graines de *Moringa oleifera* sont un floculant végétal qui introduisent des matières organiques dans les eaux clarifiées. C'est pour cela que nous avons testé le pouvoir floculant d'une caséine acide extraite de la crème de coco. Ce floculant comprend 83 % de matières organiques et 17 % de matières minérales. Les résultats des essais au jar-test effectués au laboratoire ont indiqué que son pouvoir floculant est supérieur à celui des graines de *Moringa oleifera* mais inférieur à celui du sulfate d'aluminium. Les concentrations des métaux usuels ont connu une réduction assez sensible au cours de la clarification soit 79 % pour l'aluminium, 54 % pour le cuivre, 58 % pour le fer et 80 % pour le zinc. Le pH a connu une légère baisse ce qui a entraîné une diminution du titre alcalimétrique complet (TAC). Les concentrations de la DCO et de la DBO ont légèrement augmenté.

Mots clés : Floculation, Caséine acide, crème de coco nucifera, Moringa oleifera, sulfate d'aluminium, turbidité, qualité de l'eau.

ABSTRACT

The clarification process is an important step during the treatment of raw waters. For this reason, under-developed countries have undertaken research on vegetable flocculants. In this context we determined the flocculation power of acidic casein from *Cocos nucifera* cream. This flocculant contains 83% organic matter and 17% mineral matter. The results of a clarification jar-test, carried out in the laboratory, indicated that the flocculant power is inferior to that of aluminium sulphate, but higher than *Moringa oleifera* seed powder. The metal concentrations present in raw water were significantly reduced by the treatment; 79% for aluminium, 54% for copper, 58% for iron and 80% for zinc. The pH and complete alkalimetric titer (CAT) values also slightly decreased. However, the Chemical Oxygen Demand and the Biochemical Oxygen Demand slightly increased.

Key words: Flocculation, acidic Casein, Cocos nucifera cream, Moringa oleifera, aluminum sulphate, turbidity, water quality.

*Auteur pour correspondance
Téléphone : 00 229 95400250
Courriel : *aminoutaofiki@yahoo.fr*

1. INTRODUCTION

L'élimination des matières colloïdales ou en suspension des eaux de surface au cours du processus de coagulation/floculation passe par l'utilisation des sels métalliques (BOISERT, 1997; VAN BENCHOSTEN et EDZWALD, 1990). Dans les pays développés, l'eau clarifiée est ensuite retraitée par des systèmes membranaires qui nécessitent des investissements lourds que les stations de traitement d'eau des pays en voie de développement, dont le Bénin, ne peuvent s'offrir. En zone rurale où les eaux de marre sont parfois utilisées pour satisfaire des besoins alimentaires, la recherche des produits de substitution aux coagulants chimiques, disponibles dans l'environnement immédiat de ces populations et nécessitant une utilisation simple, s'impose malgré un pouvoir coagulant moindre comparé à celui du sulfate d'aluminium. L'utilisation du *Moringa oleifera* ayant montré des limites par l'augmentation des matières organiques dans l'eau clarifiée lors de sa conservation (BAWA *et al.*, 2001; FATOMBI *et al.*, 2007a; ODILE *et al.*, 2000), nous nous sommes intéressés au *Cocos nucifera* dont certains composés extraits de sa noix (l'eau, le lait et les tourteaux) ont présenté des possibilités de floculation. Une étude du pouvoir floculant des dérivés de la noix de *Cocos nucifera* ne possédant pas les inconvénients relevés au niveau du *Moringa oleifera* est apparue opportune.

Nous avons montré au cours de nos précédents travaux sur la clarification des eaux de surface par les extraits de la noix de *Coco nucifera* que le lait, l'eau et les tourteaux de coco ont une activité floculante dépendante de leur nature et de la turbidité de l'eau brute. En effet, d'après nos résultats (FATOMBI *et al.*, (2007b)), le lait de coco possède une activité floculante supérieure à celle de l'eau de coco.

La crème qui résulte de l'extraction du lait de coco n'a pas été utilisée au cours de ces travaux, compte tenu de sa forte teneur en matières grasses et son état visqueux. Pour cette étude, la caséine précipitée en milieu acide, dénommée « *caséine acide* », est débarrassée de ses matières grasses et réduite en poudre avant son utilisation comme floculant.

La présente étude porte sur la mise en évidence du pouvoir floculant de cette *caséine acide*. La démarche utilisée a consisté à effectuer des essais de clarification des échantillons d'eau de surface avec cette caséine et à comparer les paramètres physico-chimiques de l'eau clarifiée à ceux obtenus à partir de la clarification au sulfate d'aluminium, d'une part, et par les graines de *Moringa oleifera*, d'autre part.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Produits et matériel

Les floculants utilisés pour ces travaux sont la poudre des graines de *Moringa oleifera,* de la *caséine acide* de la crème de coco et du sulfate d'aluminium pur ($Al_2(SO_4)_3$, 7 H_2O).

Les graines de *Moringa oleifera* ont été cueillies à Zian, un village situé au sud-est du Bénin et à 65 km de Cotonou. Les graines ont été réduites en poudre selon les méthodes de FOLKARD *et al.* (2002) et de SAMIA AL-AZHARIA (1989b). La poudre obtenue a ensuite subi une extraction pour éliminer ses matières grasses par la technique du soxlhet avec l'hexane. Les tourteaux résultant de l'extraction sont séchés et réduits en poudre. Cette poudre est désignée par poudre des graines de *Moringa oleifera*.

La caséine acide a été préparée par la méthodologie suivante : cent grammes de l'endosperme de coco séché finement haché ont été dispersés dans 500 mL d'eau distillée. Après dix minutes d'agitation, le mélange obtenu a été filtré à travers un tamis de porosité 80 µm. Le liquide blanchâtre recueilli est laissé en décantation pendant deux heures, donnant une phase aqueuse (lait de coco) et une phase organique (crème de coco). Dans 100 mL de la crème recueillie, nous avons ajouté goutte-à-goutte de l'acide chlorhydrique fumant jusqu'à précipitation de la caséine totale (MÉA-BATELIER, 1997). Le mélange obtenu a été centrifugé à 200 tours/min pendant 20 minutes. La caséine brute recueillie est séchée à 40 °C à l'étuve pendant 24 heures. Après séchage, on procède à l'élimination des matières grasses de cette caséine par une extraction à l'hexane (technique du soxlhet). Les cristaux résultant de cette extraction ont été réduits en poudre et constituent la *caséine acide* de la crème de coco utilisée comme floculant.

Le pH, la conductivité, la température, l'oxygène dissous, la turbidité, le carbone organique total (COT), le carbone total (CT) et le carbone inorganique (CI) ont été mesurés respectivement au pH-mètre WTW LF 340 MERCK, conductimètre WTW LF 320 MERCK, oxymètre HANNA, turbidimètre HACH 2100 AN et un COT-mètre SHIMADZU modèle TOC-5050A.

L'oxydabilité au permanganate de potassium, la DCO, la DBO et le TAC ont été déterminés respectivement selon les normes ISO 8467, NF T 90-101 (1988), NF EN 25814 (1992) et NF EN ISO 9963-1 en l'absence de normes béninoises correspondantes.

Les métaux (Fe, Cu, Zn, Al) ainsi que les ions sulfates ont été dosés par spectrométrie d'absorption moléculaire avec un spectrophotomètre de marque DR/4000 HACH.

2.2 Méthodes

2.2.1 Caractéristiques des floculants végétaux

Les floculants végétaux (graines de *Moringa oleifera* et la *caséine acide*) ont été caractérisés par les paramètres tels que matières organiques totales, carbone total et matières minérales.

La matière organique a été déterminée par la méthode de perte au feu de la matière sèche. Nous avons calciné 3,5 g de chaque floculant à 550 °C pendant deux heures dans un four de marque Optima (FRANÇOIS, 2004; KELLY *et al.*, 2002b; TCHOBANOGLOUS *et al.*, 1993).

Le carbone organique est dosé par la méthode Walkley-Black (BRAUN et JAAG, 1970; TCHOBANOGLOUS *et al.*, 1993). En effet, nous avons introduit dans un erlenméyer de 500 mL, 0,25 g de chaque floculant végétal, 10 mL de bichromate de potassium 1 N, 20 mL d'acide sulfurique concentré. Une heure plus tard, nous avons introduit dans le mélange 200 mL d'eau déminéralisée, 10 mL d'acide phosphorique concentré et dix gouttes de férroine. L'excès de bichromate de potassium a été dosé par une solution de sulfate ferreux 0,5 N. Les teneurs en carbone total sont calculées en tenant compte du fait que 76 à 77 % du carbone organique total sont oxydés (BRAUN et JAAG, 1970; FLYHAMMAR, 1997). Le taux de carbone organique mesuré peut être calculé suivant la formule citée plus bas.

Le pourcentage de carbone organique total est calculé par l'expression :

$$\% \ C = \frac{(A-B)\,x\,10\,x\,0,004\,x\,100}{m\ x\ A} \qquad (1)$$

où A = $V_{(FeSO4)}$ utilisé (mL) pour l'essai à blanc (10 mL de bichromate de potassium);
B = $V_{(FeSO4)}$ utilisé pour l'échantillon (mL);
m = masse de l'échantillon (g).

La matière minérale est la cendre résultant de la calcination de la matière végétale à 550 °C.

2.2.2 Estimation de l'activité floculante

Dans une série de béchers d'un floculateur numérique de marque Fischer contenant chacun 500 mL d'eau brute, des quantités croissantes de floculant (sulfate d'aluminium, poudre des graines de *Moringa oleifera* caséine acide) sont introduites. Le contenu de chaque bécher a été soumis à trente secondes d'agitation rapide (180 tours/min) puis trois minutes d'agitation moyenne (150 tours/min) et dix-sept minutes d'agitation lente (50 tours/min) (BOUCHARD et SERODES, 2002; HERNANDEZ 2006; SADIQ et RODRIGUEZ, 2004; SAMIA AZHARIA, 2001). Après deux heures de décantation, la dose optimale de chaque coagulant ou floculant est déterminée par la mesure de la turbidité de l'eau décantée ou filtrée. Les résultats de ces mesures ont donné des courbes de variation de la turbidité de l'eau en fonction de la dose du coagulant ou du floculant ajouté.

Les essais de clarification ont été effectués sur des échantillons d'eau de surface et sur des échantillons d'eau chargée synthétique.

Les eaux de surface ont été prélevées en octobre 2006 au barrage d'Okpara à Parakou (une ville du Bénin située à 410 km environ au nord de la ville de Cotonou) et utilisée pour l'approvisionnement en eau potable, après traitement par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB).

L'eau synthétique a été préparée au laboratoire par la dissolution de 5 g de kaolin (Anachemia, AC-5302) en poudre dans 1 L d'eau distillée. Le mélange a été agité pendant 30 min puis laissé en décantation pendant 24 h. La phase surnageante a été prélevée. Avec cette phase, des dilutions sont réalisées avec de l'eau du robinet pour obtenir des échantillons d'eau de turbidités variables (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995).

2.2.3 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

Quelques caractéristiques sont mesurées sur l'eau brute et sur les eaux décantées et filtrées. La filtration des eaux décantées a été effectuée sur du filtre plissé Whatman ø = 125 mm et de porosité 8 µm. La turbidité, le pH, la conductivité, la température, l'oxygène dissous, l'indice de permanganate, la DCO, la DBO, le COT, le CT, le CI, l'alcalinité, les ions sulfates, le fer, l'aluminium, le zinc et le cuivre ont été mesurés dans les eaux.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Paramètres des coagulants végétaux utilisés

Le tableau 1 permet de comparer les différentes matières constitutives de la *caséine acide* de coco et des graines de *Moringa oleifera*. On observe des différences importantes dont les plus significatives se situent au niveau des taux de matières

Tableau 1. Matières constitutives des floculants végétaux
Table 1. *Composition of vegetal flocculants*

Paramètres / Floculants	Matières minérales (%)	Matières organiques (%)	Carbone total (%)
Caséine Acide	17,43 ± 2,50	82,57 ± 0,86	27,69 ± 0,25
Moringa oleifera	6,00 ± 0,25	94,00 ± 0,88	38,97 ± 0,32

minérales et de carbone total. Le taux de matières organiques dans le *Moringa oleifera* est plus important que celui de la *caséine acide*. La *caséine acide* est plus riche en matières minérales que les graines de *Moringa oleifera*. Ainsi, les eaux traitées avec la *caséine acide* seront plus minéralisées que celles traitées avec les graines de *Moringa oleifera*. Cependant, la présence d'importantes quantités de matières organiques dans ces deux floculants végétaux peut entraîner de forts taux de matières organiques dissoutes dans l'eau traitée (ODILE *et al.*, 2000).

3.2 Essai de type « jar-test »

Les essais de clarification avec la méthode du type « jar-test » effectués avec le sulfate d'aluminium et les floculants végétaux ont permis de mettre en évidence des différences dans leur activité floculante. Les figures 1, 2 et 3 présentent les résultats des essais de clarification effectués avec les poudres de *Moringa oleifera*, la caséine acide et le sulfate d'aluminium.

Les doses optimales pour le sulfate d'aluminium sont 40 mg•L^{-1} pour les échantillons 1 et 2 et 50 mg•L^{-1} pour l'échantillon 3 avec des turbidités résiduelles respectives de 1,41 NTU (eau filtrée), 7,12 NTU (eau décantée) et 7,28 NTU (eau décantée).

Les deux floculants végétaux utilisés ont des doses optimales différentes : 120 mg•L^{-1} pour la caséine acide et 150 mg•L^{-1} pour les graines de *Moringa oleifera* avec des taux respectifs de réduction de la turbidité de l'eau brute de 96 % et 86 % pour le premier échantillon. Pour le second échantillon, nous avons obtenu 100 mg•L^{-1} pour la caséine acide et 300 mg•L^{-1} pour *Moringa oleifera* avec des turbidités résiduelles respectives de 28,8 NTU et 144 NTU pour l'eau décantée. Au niveau du troisième échantillon d'eau, une même dose optimale de 100 mg•L^{-1} est obtenue avec les deux floculants végétaux mais les turbidités résiduelles sont différentes : 38,5 NTU pour la caséine acide et 45 NTU pour le *Moringa oleifera* pour l'eau décantée.

Il apparaît donc que la caséine acide de la crème de coco est un floculant végétal ayant une activité floculante supérieure à celle des graines de *Moringa oleifera* et que cette activité

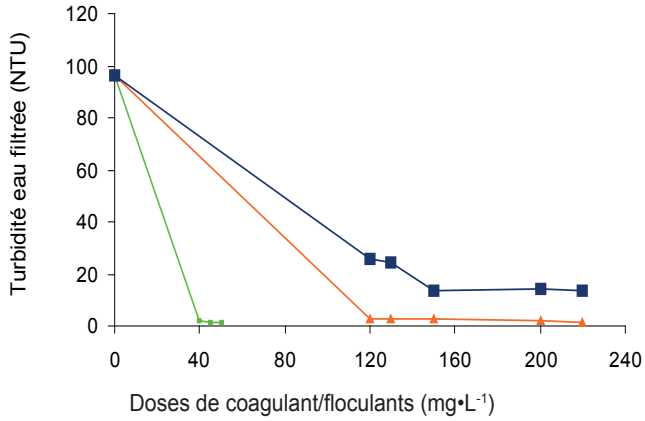

Figure 1. Essai de type « jar-test » avec les coagulants/floculants (Échantillon 1 : eau d'Okpara; turbidité initiale 96 NTU).
«Jar-test» trials with different coagulants/flocculants (Sample n° 1: Okpara water with initial turbidity 96 NTU)

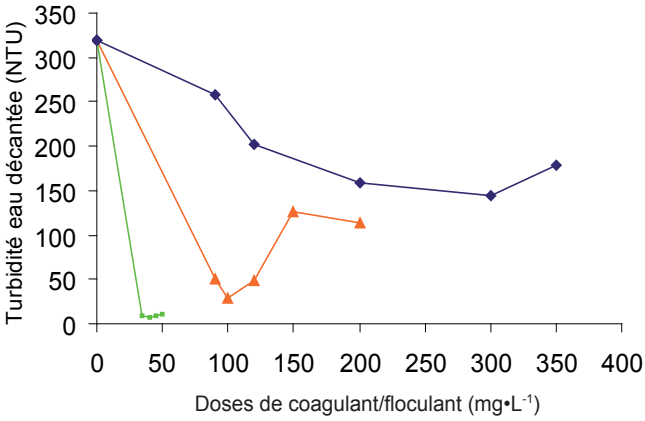

Figure 2. Essai de type « jar-test » avec les coagulants/floculants (Échantillon 2 : eau synthétique; turbidité initiale 319 NTU).
«Jar-test» trials with different coagulants/flocculants (Sample n° 2: synthetic water with initial turbidity 319 NTU)

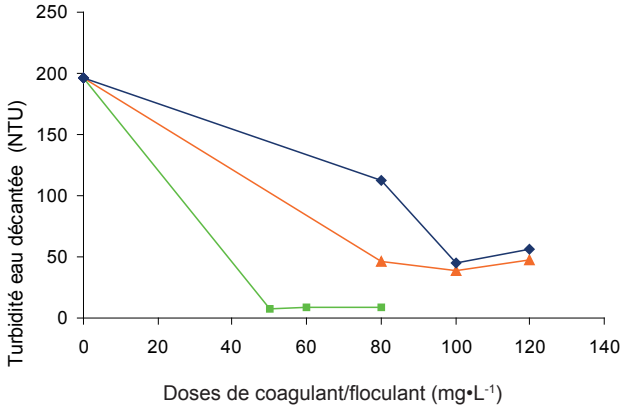

Figure 3. Essai de type « jar-test » avec les coagulants/floculants (Échantillon 3 : eau synthétique; turbidité initiale 196 NTU).
«Jar-test» trials with different coagulants/flocculants (Sample n° 3: synthetic water with initial turbidity 196 NTU)

dépend de la turbidité initiale de l'eau brute. Les turbidités résiduelles obtenues avec la caséine acide sont supérieures à celles dues à l'utilisation du sulfate d'aluminium. Par ailleurs, l'augmentation de la turbidité résiduelle observée au-delà de la dose optimale pour chaque coagulant ou floculant est due à une restabilisation des matières en suspension dans l'eau clarifiée à cause de l'excès de quantité de coagulant ou de floculant utilisé au cours du processus de clarification.

3.3 Paramètres physico-chimiques de l'eau clarifiée par la caséine acide

Afin d'observer l'effet de la caséine acide sur la qualité physico-chimique de l'eau traitée, quelques paramètres physico-chimiques de l'eau ont été suivis en fonction des doses de caséine. Les résultats obtenus sont indiqués sur les figures 4, 5 et 6.

On constate, à partir des résultats de la figure 4, que les valeurs de pH de l'eau traitée diminuent légèrement avec les doses croissantes de la caséine acide (5,29 à 4,97). Cette diminution est liée au caractère acide du floculant, compte tenu de son mode de préparation basé sur une acidification de la crème de coco. Durant la clarification, la température et la quantité de l'oxygène dissous n'ont pas varié. Par contre, il y a eu une forte minéralisation de l'eau traitée (134,7 µS•cm^{-1} à 280 µS•cm^{-1}). La caséine acide introduirait donc des sels minéraux dans l'eau traitée compte tenu de son fort taux de matières minérales (Tableau 1).

L'analyse de la figure 5 montre que les concentrations des métaux ont baissé par rapport à leur quantité dans l'eau brute. La plus forte diminution des métaux a été obtenue pour la dose optimale 120 mg•L^{-1} de coagulant à raison de 79 % pour l'aluminium, 54 % pour le cuivre, 58 % pour le fer et 80 % pour le zinc. Nous avons observé également une diminution de la concentration des sulfates de l'ordre de 67 % en passant de 9 mg•L^{-1} pour l'eau brute à 3 mg•L^{-1} en moyenne pour l'eau traitée.

Sur la figure 6, nous constatons que les valeurs de la DCO et de la DBO ont légèrement augmenté par rapport à celles de l'eau brute. En effet, à la dose optimale (120 mg•L^{-1}) les valeurs de la DCO et de la DBO passent respectivement de 259 mg•L^{-1} et 80 mg•L^{-1} pour l'eau brute à 286 mg•L^{-1} et 170 mg•L^{-1} pour l'eau traitée. Cependant, il y a eu une diminution des valeurs de l'oxydabilité au permanganate (18,5 mg•L^{-1} pour l'eau brute et 5,9 mg•L^{-1} pour l'eau traitée à 120 mg•L^{-1}) (Figure 6). La caséine acide réduit le taux de matières organiques.

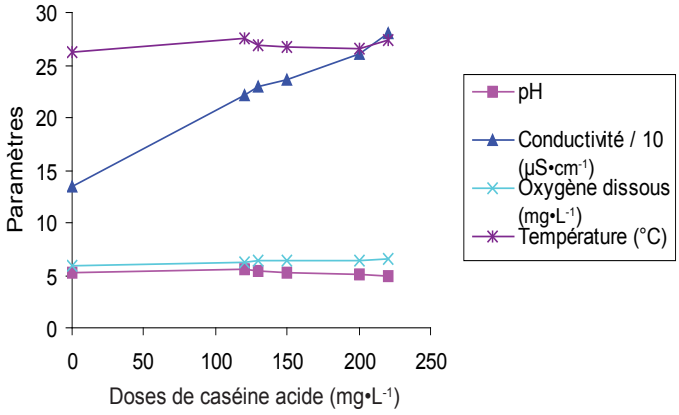

Figure 4. **Paramètres physiques de l'eau traitée par la caséine acide (Échantillon 1 : eau d'Okpara; turbidité initiale 96 NTU)**
Physical parameters of water treated by Cocos nucifera acidic casein cream (Sample n° 1: Okpara water with initial turbidity 96 NTU).

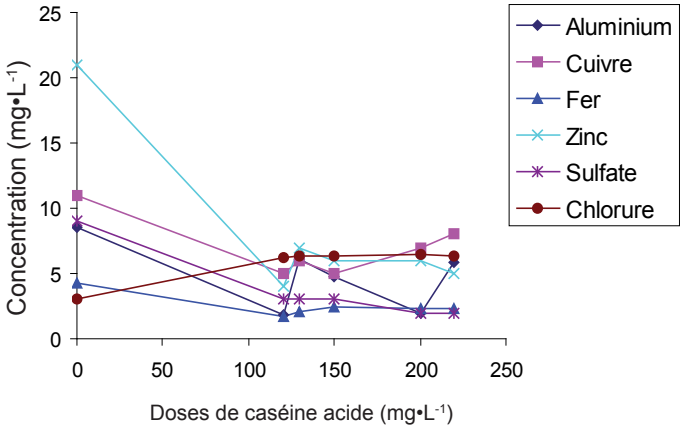

Figure 5. **Paramètres chimiques de l'eau traitée par la caséine acide (Échantillon 1 : eau d'Okpara; turbidité initiale 96 NTU)**
Chemical parameters of water treated by Cocos nucifera acidic casein cream (Sample n°1: Okpara water with initial turbidity 96 NTU).

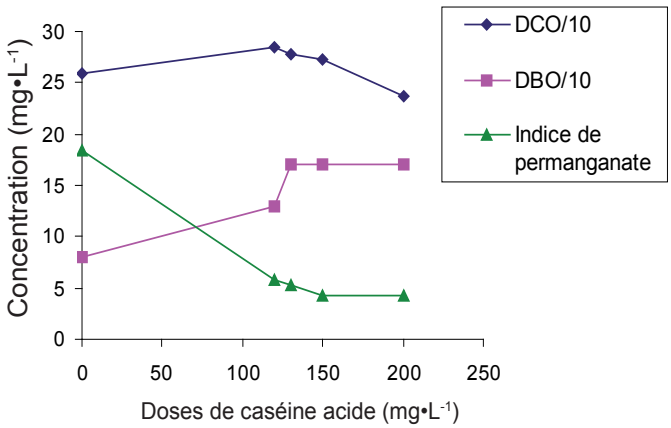

Figure 6. **Variation de la DCO, DBO et indice de permanganate en fonction de la dose de caséine acide (Échantillon 1 : eau d'Okpara; turbidité initiale 96 NTU).**
Variation of DCO, DBO and oxidizability by potassium permanganate as a function of Cocos nucifera acidic casein cream quantities (Sample n° 1: Okpara water with initial turbidity 96 NTU).

3.4 Paramètres physico-chimiques de l'eau clarifiée par la caséine acide, les graines de Moringa oleifera et le sulfate d'aluminium

Afin de déterminer les spécificités de la caséine acide, nous avons comparé les paramètres physico-chimiques de l'eau clarifiée par la caséine acide à ceux des eaux clarifiées par *Moringa oleifera* et le sulfate d'aluminium. Les résultats obtenus pour la mesure du pH et de la conductivité sont résumés dans les figures 7 et 8.

On constate sur les figures 7 et 8 que les différents traitements effectués ont affecté les valeurs du pH et de la conductivité. Une diminution du pH est observée suite au traitement à la caséine acide (Figure 7) alors que la variation du pH est faible lors du traitement aux graines de *Moringa oleifera*. La plus forte augmentation de la conductivité de l'eau a été observée lors du traitement à la caséine acide (Figure 8).

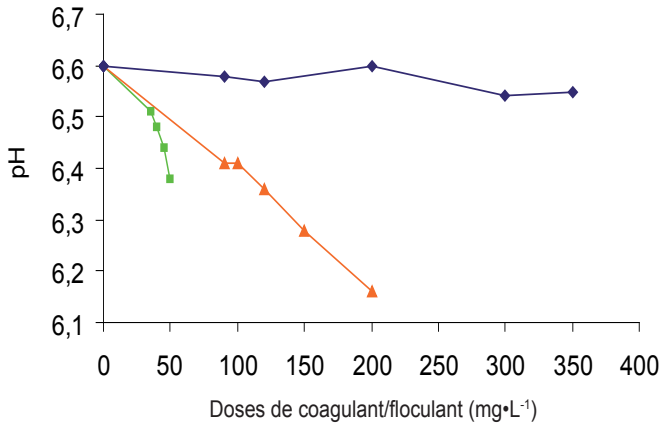

Figure 7. Variation du pH en fonction des doses de coagulants/floculants (Échantillon 2 : eau synthétique; turbidité initiale 319 NTU).
pH variation as a function of coagulant/flocculant doses (Sample n° 2: synthetic water with initial turbidity 319 NTU).

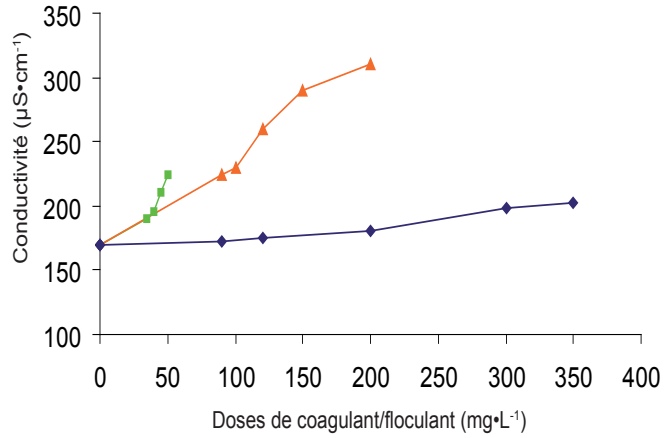

Figure 8. Variation de la conductivité en fonction des doses de coagulants/ floculants (Échantillon 2 : eau synthétique; turbidité initiale 319 NTU).
Conductivity values as a function of coagulant/flocculant doses (Sample n° 2: synthetic water with initial turbidity 319 NTU).

Compte tenu de la diminution du pH de l'eau observée au cours de la clarification par la caséine acide, nous avons vérifié son influence sur le titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau clarifiée (résultats non représentés). En effet, le TAC est resté invariable avec l'addition progressive de la poudre de *Moringa oleifera* pendant que les valeurs de ce même paramètre ont baissé en fonction des quantités de caséine acide ou de sulfate d'aluminium introduites.

Nous avons déterminé également la concentration des ions sulfates, l'indice de permanganate, la DCO, la DBO, le COT, le CT, le Cl et les métaux (Fe, Cu, Al et Zn) en fonction des doses de coagulants/floculants utilisées. Les résultats obtenus sont résumés sur les figures 9, 10 et 11.

Les figures 9, 10 et 11 font ressortir des résultats de l'action des différents coagulants/floculants utilisés vis-à-vis des métaux, des matières organiques et des ions sulfates. Les résultats des figures 10 et 11 ont été obtenus sur les eaux clarifiées à la dose optimale de chaque coagulant ou floculant conformément aux résultats des figures 1 et 3.

Il apparaît sur la figure 11 que les graines de *Moringa oleifera* sont plus efficaces pour l'élimination du fer (92 % de réduction), du zinc (66 % de réduction), du cuivre (60 % de réduction) et de l'aluminium (43 % de réduction). Par contre, les graines de *Moringa oleifera* font augmenter les concentrations des ions sulfates (50 % d'augmentation). En outre, nous avons observé pour les graines de *Moringa oleifera* une forte augmentation des valeurs de la DCO, de la DBO (100 % pour la DCO et 400 % environ pour la DBO) et de l'indice de permanganate dont les valeurs passent de 4,8 mg•L^{-1} (eau brute) à 16 mg•L^{-1} pour la dose de 400 mg•L^{-1} de *Moringa oleifera* (Figure 9). L'histogramme de la figure 10 indique que le COT de l'eau clarifiée par les graines de *Moringa oleifera* est supérieur à celui de l'eau brute alors que les valeurs de Cl et CT sont sensiblement égales à celles de l'eau brute. Ainsi donc, les graines de *Moringa oleifera* introduisent des matières organiques dans l'eau, ce qui confirme les résultats obtenus par les auteurs BAWA *et al.* (2001); FATOMBI *et al.* (2007a); ODILE *et al.* (2000).

En ce qui concerne le traitement au sulfate d'aluminium, on constate sur la figure 11 une augmentation des concentrations en ions sulfates (9 mg•L^{-1} pour l'eau brute et 15 mg•L^{-1} pour l'eau traitée) et en aluminium (0,085 mg•L^{-1} pour l'eau brute et 0,101 mg•L^{-1} pour l'eau traitée) liée à la présence de composés solubles. Ce traitement est efficace pour l'élimination du cuivre (plus de 99 % de réduction), du zinc (50 % de réduction) mais élimine peu le fer (15 % de réduction). Par contre les valeurs de la DCO et de la DBO de l'eau traitée sont sensiblement égales

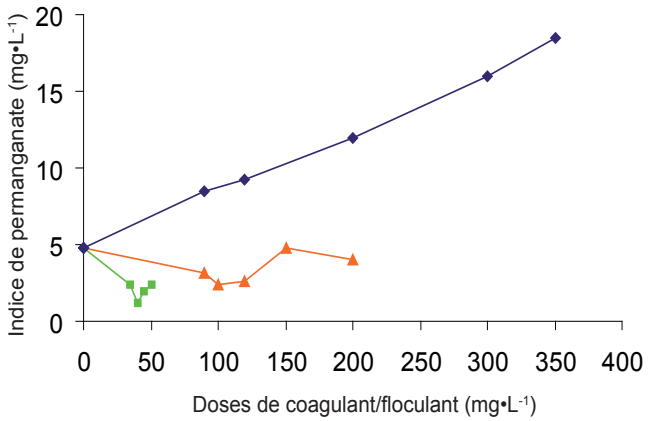

Figure 9. Variation de l'oxydabilité au permanganate de potassium (Échantillon 2 : eau synthétique; turbidité initiale 319 NTU).
Variation of oxidizability by potassium permanganate (Sample n° 2: synthetic water with initial turbidity 319 NTU).

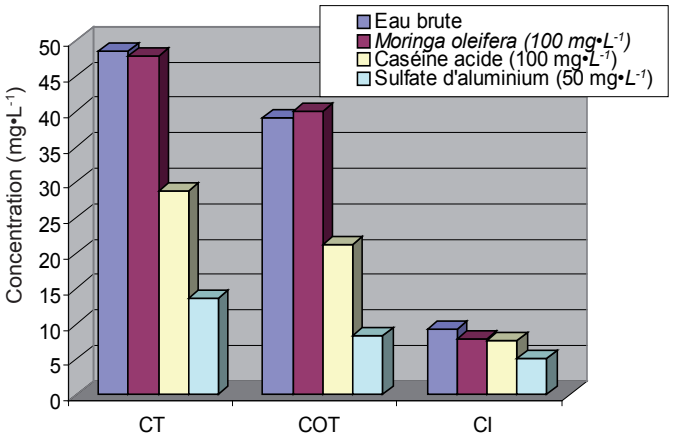

Figure 10. Carbone organique total (COT), Carbone inorganique (CI) et Carbone total (CT) d'eau (Échantillon 3 : eau synthétique; turbidité initiale 196 NTU).
Total organic carbon, inorganic carbon and total carbon (Sample n° 3: synthetic water with initial turbidity 196 NTU).

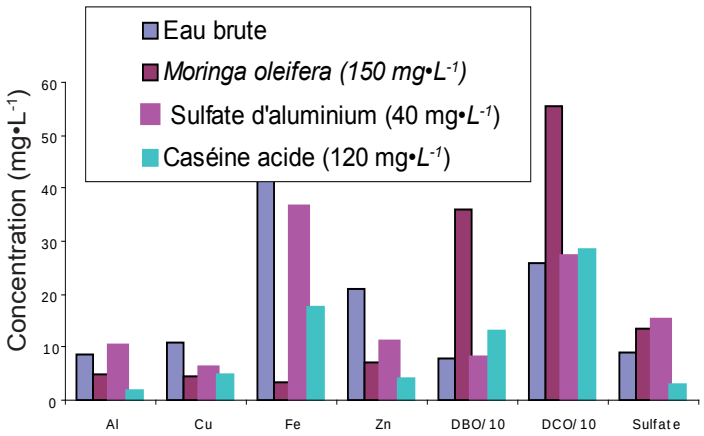

Figure 11. Paramètres chimiques de l'eau traitée par les coagulants (Échantillon 1 : eau d'Okpara; turbidité initiale 96 NTU).
Chemical parameters of water treated by different coagulants/ flocculants (Sample n°1: Okpara water with turbidity 96 NTU).

à celles de l'eau brute. Il y a eu également une diminution des valeurs de l'indice de permanganate (4,8 mg•L^{-1} pour eau brute à 1,2 mg•L^{-1} à la concentration de 40 mg•L^{-1}), une baisse considérable des valeurs de CT, COT et de Cl de l'ordre de 66 % environ (Figure 10). Le sulfate d'aluminium enlève des matières organiques de l'eau.

La clarification de l'eau avec la caséine acide a entraîné une réduction de l'oxydabilité au permanganate de l'ordre de 50 % (Figure 9), 33 % de réduction de CT, 50 % de COT et environ 25 % du Cl (Figure 10). Nous avons également observé une réduction de 13 % pour l'aluminium, 54 % pour le cuivre, 59 % pour le fer, 80 % pour le zinc et 67 % pour les sulfates. L'augmentation des valeurs de la DCO 10 % et DBO 62 % contre respectivement 100 % et 400 % pour le traitement avec les graines de *Moringa oleifera*, d'une part, la diminution de l'oxydabilité au permanganate et de COT, d'autre part, indiquent que la caséine acide de la crème de coco est un floculant végétal qui introduit moins de matières organiques dans l'eau que les graines de *Moringa oleifera*.

4. CONCLUSION

La caséine acide de la crème de coco contient plus de matières minérales que les graines de *Moringa oleifera*, de plus, elle est moins riche en matières organiques et carbone total que ces dernières. Son activité floculante est meilleure que celle des graines de *Moringa oleifera* et dépend de la turbidité de l'eau brute.

La clarification de l'eau par la caséine acide de la crème de coco a entraîné une réduction des taux des métaux usuels (fer, cuivre, zinc et aluminium). Il y a eu également une baisse de la concentration des ions sulfates, de l'indice de permanganate, du carbone total et du carbone organique total.

Nous avons observé néanmoins une augmentation de la conductivité, une légère diminution des valeurs du pH et du titre alcalimétrique complet de l'eau.

La caséine acide de la crème de coco introduit moins de matières organiques dans les eaux traitées que les graines de *Moringa oleifera*.

Dans nos travaux en perspective, la caséine acide de la crème de coco sera utilisée comme adjuvant de floculation en complément d'un coagulant de type sel métallique.

REMERCIEMENT

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de recherche « Étude comparée de l'action du chlore et des graines de *Moringa oleifera* lors de la désinfection des eaux de surface : cas de l'eau du fleuve Okpara à Parakou » financé par le Centre Béninois de Recherches Scientifiques et Techniques (CBRST) que nous remercions vivement.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAWA, L.M, G. DJANEYE-BOUNDJOU, Y. BOUKARI et A. SANI (2001). Coagulation of some humic acid solutions by *Moringa oleifera* lam seeds: effect on chlorine demand. AJOL : *Bull. Chem. Soc. Ethiopia*, 15, 119-130.

BOISVERT J.P., A. BERRAK et C. JOLICŒUR (1997). Phosphate adsorption in flocculation processes of aluminium sulphate and poly-aluminium-silicate sulphate. *Water Res.*, 31, 1939–1946.

BOUCHARD C. et J. SÉRODES (2002). *Production d'eau potable*. Notes de cours, Université Laval, 2002, 188 p.

BRAUN R. et O. JAAG (1970). *Methods of Sampling and Analysis of Solid Waste.* Eawag, Swiss Federal Institute for Water Supply, Seawage Purification and Water Pollution Control. Section for Solid Wastes. CH - 8600 Dübendorf, Switzerland, 72 p.

FATOMBI K.J., R.G. JOSSE, V. WOTTO, T. AMINOU et B. COULOMB (2007a). Paramètres physico-chimiques de l'eau d'Okpara traitée par les graines de *Moringa oleifera. J. Soc. Ouest-Afr. Chim.,* 023, 75-79.

FATOMBI K.J., R.G. JOSSE, B. YEHOUENOU, V. WOTTO et T. AMINOU (2007b). Traitement des eaux de surface par les coagulants à base de coco. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim., 023*, 81-87.

FLYHAMMAR (1997). Estimation of heavy metal transformation in municipal solid waste. *Sci. Total Environ.*, 198, 123-133.

FOILD N., H.P.S. MAKKAR et K. BECKER (2002). Potentiel du *Moringa oleifera* pour les besoins agricoles et industriels. Dans : *Saint-Sauveur, Appora, Besse et Fuglie. Potentiel de développement pour les produits de Moringa*. Acte de l'atelier International de Dar es Salam, 29 octobre - 2 novembre 2001, Tanzanie, (Cd-Rom) MONTPELLIER (Éditeur).

FOLKARD G., J. SUTHERLAND et R.S. AL-KHALILI (2002). La clarification de l'eau par coagulation en utilisant les graines du *Moringa oleifera*. Dans : L. Fuglie. *L'arbre de la vie, les multiples usages du Moringa.* CWS/CTA, Dakar, Sénégal, pp. 79-82.

FRANÇOIS V. (2004). *Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Étude de l'impact de la récirculation de lixiviats sur colonnes de déchets.* Thèse de Doctorat, Univ. Limoges, France, 185 p.

HERNANDEZ DE LÉON HECTOR RICARDO (2006). *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable.* Thèse de Doctorat, INSA, Toulouse, France,163 p.

JAHN, S.A.A. (1989b). Différents rôles des coagulants naturels dans la clarification de l'eau, dans les technologies appropriées à usage domestique et dans les installations communales d'épuration. Dans : *Proceedings of international seminar of the use of natural coagulants for water treatment*. Yogyakarta, Indonesia, 2-7 octobre, p 11.

JAHN, S.A.A. (2001). Drinking water from Chinese rivers: Challenger of clarification. *J. Water Supp. Res. Technol.,* AQUA 50.1., 15-27.

KELLY R.J., J.T. NOVAK., B.D. SHEARER et N. PRILLAMAN (2002b). Effects of enhancement techniques on the biological stabilization of municipal solid waste and the impact of plastic on measurements to determine waste stability. Dans : *Solid Waste Biodegradation Enhancements and the Evaluation of Analytical Methods Used to Predict Waste Stability*. Mémoire de maîtrise, Faculty of Virginia Polytechnic Institute, 72 p.

MÉA-BATELLIER F. (1997). *Identification, purification et mécanisme d'action d'éléments contenus dans le lait, agissant sur les spermatozoïdes équins.* Thèse, Université François Rabelais de Tours, France, 220 p.

NDABIGENGESERE A., K.S. NARASIAH et B. TALBOT (1995). Active agents and mechanisms of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera*. *Water Res.*, 29, 703-710.

ODILE G.N., P. JEAN et B. ALI (2000). Étude de l'activité floculante d'un complexe protéine mucilage végétal dans la clarification des eaux brutes. *J. Soc. Ouest Afr. Chim.,* 009, 43-57.

OKUDA T., A. BAES, W. NISHIJIMA et M. OKADA (2000). Isolation and characterization of salt solution

extracted active component from *Moringa oleifera* seed. *Water Res.,* 34, 405-410.

SADIQ, R. et M.J. RODRIGUEZ (2004). Disinfection by-products (BDPs) in drinking water and predictive models for their occurrence : a review. *Sci Total Environ.*, 321, 21-46.

TCHOBANOGLOUS G., H. THEISEN et A. VIGIL SAMUEL (1993). *Integrated solid waste management, engineering principles and management issues*. McGraw-Hill International Science Engineering, NY, USA, 978 p.

VAN BENCHOSTEN J.E. ET J.K. EDZWALD (1990). Chemical aspects using aluminum salts. Hydrolitic reactions of alum and polyaluminum chloride. *Water Res.*, 24, 1519–1526.