

Valorisation d'un nouveau bio floculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension

A. Abid*, A. Zouhri, A. Ider et S. Kholtei

Laboratoire des Procédés de Valorisation des Ressources Naturelles, des Matériaux et Environnement,
Département de Chimie Appliquée et Environnement.
Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan 1^{er} B.P. 577, Settat, Maroc

(reçu le 13 Mai 2009 – accepté le 21 Juin 2009)

Résumé - Le cactus est un arbre originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Il appartient au genre *Opuntia*, c'est une plante xérophytique succulente capable d'emmagasiner une grande quantité d'eau et ne présente aucun danger vis-à-vis de la santé humaine [1]. Cette dernière présente également des valeurs considérables dans les domaines: cosmétique, médicinale et alimentaire [2, 3]. Par ailleurs, la présente étude consiste à utiliser un nouveau floculant naturel biodégradable à base de jus de cactus marocain dans un procédé physico-chimique (coagulation-floculation), pour traiter des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension, et aussi pour tester l'efficacité de ce jus vis-à-vis des autres produits couramment utilisés dans le traitement des eaux usées. Les essais ont été réalisés sur des échantillons préparés au laboratoire et sur d'autres issus d'une unité de traitement de surface (bains de laitonnage). L'étude comparative avec un floculant industriel (floculant à base d'acrylamide et acrylate de sodium), a montré une très bonne compétitivité avec un fort pouvoir de floculation pour le jus de cactus. L'association des deux étapes de neutralisation et de coagulation avec la chaux suivie d'une étape de floculation en utilisant comme agent floculant le nouveau produit extrait des cactus marocains puis d'une décantation, a montré un effet très significatif sur l'élimination du zinc, du cuivre et de la matière en suspension. Le pourcentage d'abattement des métaux dépasse 95 % pour le cuivre et le zinc. Pour la solution riche en argile, la turbidité passe de 900 - 1000 NTU à des valeurs avoisinantes de 1 NTU.

Abstract - The cactus tree is native of the arid and semi-arid areas in Mexico. It belongs to the genus *Opuntia*, a succulent plant xérophytique which can store a large amount of water and doesn't affect the human health [1]. Furthermore, it presents considerable values in different domaines such as cosmetics, medicine and food [2, 3]. The main aim of this study is to use a new biodegradable flocculent with a Moroccan cactus juice in a physico -chemical process (flocculation coagulation) in order to treat liquid solutions charged with zinc, copper and suspended matter. We also study the efficacy of this juice compared to the other products usually used for waste water treatment. The tests were done on pseudo-industrial samples prepared in the laboratory and on other ones stemmed from a surface treated unit. The comparative study with an industrial flocculent (flocculent based on acrylamid and sodium acrylic), has showed a great competitiveness with a strong ability of flocculation for the cactus juice. The association of the neutralization's treatment stage and the coagulation one combined with lime, followed by a flocculation then a decanting operation, has showed a significant effect on the elimination of zinc and copper that may exceed 95 %. Concerning the solution which is full of clay, the turbidity goes from about 900 NTU to approximately 1 NTU.

Mots clés: Cactus - Bio floculant – Traitement - Eaux usées - Métaux - Matière en Suspension - Coagulation-floculation.

* ab1az1@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale, en particulier dans les pays en voie de développement. Parmi ces sources de pollutions, la production des eaux usées industrielles, souvent rejetées dans le milieu récepteur (mer, rivières, sols) sans traitement préalable, provoque une dégradation de la qualité physico-chimique et biologique de ce milieu et génère de nombreuses maladies hydriques [4, 5].

Dans ce cadre et pour une vraie stratégie de développement durable de l'environnement, nous nous sommes intéressés à la valorisation d'un nouveau produit naturel biodégradable, en tant que floculant avantageux dans le procédé de traitement physico-chimique 'coagulation-floculation' des rejets liquides chargés en matière en suspension, en cuivre et en zinc. Le bio floculant utilisé est extrait du cactus qui pousse dans le centre du Maroc à une distance de 70 km au sud de Casablanca.

Le zinc et le cuivre sont des éléments essentiels pour tous les organismes vivants, y compris l'homme. A forte dose, ces métaux peuvent provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac, des irritations de la peau, des vomissements, des nausées et de l'anémie. D'importantes quantités de ces métaux peuvent aussi être trouvées dans le sol, parmi les problèmes posés, l'impact d'une accumulation progressive et continue de ces métaux dans les sols sur leur fonctionnement bio-géochimique [6, 7].

Par ailleurs, de nombreux travaux ont été menés afin d'éliminer par voie physico-chimique ces métaux et la matière en suspension présents dans les effluents industriels [8-11]. Les procédés suivis par ces auteurs ont nécessité plusieurs étapes de traitement ainsi que l'utilisation des produits chimiques qui pourront avoir des effets néfastes sur la santé humaine, tels que le chlorure de fer, le sulfate d'alumine et les polymères chimiques [4].

La présente étude, qui s'inscrit dans la suite de ces travaux, se propose d'une part à améliorer la technique de la 'coagulation-floculation' en réduisant le nombre des étapes suivies et d'autre part à substituer les produits chimiques par le jus de cactus comme floculant naturel et biodégradable, pour traiter des effluents liquides chargés en métaux, tels que les rejets des bains de laitonnage riches en zinc et en cuivre et les eaux chargées en matières en suspension difficilement décantables (argile Sanmix).

Une étude comparative avec un floculant industriel [12] a été effectuée dans le cas de traitement du rejet industriel chargé en cuivre et en zinc et dans le cas des eaux chargées en matière en suspension afin de mettre au point l'efficacité de jus de cactus en tant que floculant concurrent.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Echantillonnage

Notre étude a été réalisée sur trois types d'échantillons d'eaux polluées. Le premier échantillon et le second sont des solutions pseudo industrielles de sel de zinc et de cuivre, puis d'argile préparées au laboratoire. Le troisième échantillon est une solution issue d'un rejet industriel d'une unité de traitement de surface chargée en cuivre et en zinc (bains de laitonnage) [13]. Le prélèvement du rejet du bain de lavage a été effectué pendant la production en pleine activité.

2.2 Préparation de jus de cactus

Les feuilles de plantes utilisées dans le traitement des eaux polluées ont été broyées après nettoyage. L'extrait aqueux de plante recueilli par tamisage sur un filtre de diamètre 500 microns, a été dilué à 10 % dans de l'eau, puis homogénéisé par agitation pendant 15 à 20 minutes.

Le jus de cactus obtenu est relativement stable. Il peut conserver sa capacité floculante en dehors de tout système de conservation pendant plusieurs jours. Ce produit est un liquide visqueux de coloration verte, de pH = 6,5, miscible à l'eau, de densité volumique 1.008 kg/l et contient environ 96 % d'eau. Son analyse réalisée par spectroscopie UV a donné le spectre ci-dessous (Fig. 1).

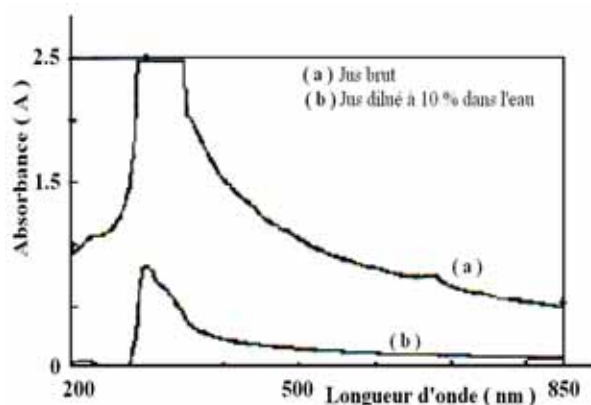


Fig. 1: Spectre d'absorbance UV de jus de cactus vers 300 nm.
(a) Jus brut, (b) Jus dilué à 10 % dans l'eau

2.3 Description du procédé de traitement

Le traitement des eaux polluées par le procédé physico-chimique 'coagulation - floculation' a été réalisé à l'aide d'un système Jar-test (Model ISCO RPM/OPM) selon deux principales étapes:

- Ajustement de pH et coagulation

Afin d'ajuster le pH de la solution, nous avons utilisé la soude ou la chaux. Cette dernière contribue généralement à la coagulation [8]. En parallèle, le chlorure de fer a été utilisé en tant que coagulant dans certains essais. Cette étape se produit sous une agitation rapide de 100 tr/mn pendant une minute.

- Floculation

Après l'ajustement de pH de coagulation - floculation et pour accélérer la décantation de la matière en suspension, nous avons ajouté l'un des deux floculants: soit le jus de cactus ou le floculant industriel pour favoriser la formation des macro floes. L'ajout de floculant se fait sous une agitation de 80 tr/mn pendant 30 secondes suivi d'une agitation lente de 40 tr/min et une décantation pendant 30 mn.

2.4 Méthodes d'analyses physico-chimiques

L'étude expérimentale et l'ensemble des analyses ont été réalisés à l'aide du matériel suivant:

- Turbidimètre de marque HANNA LP2000-11,
- pH-mètre Accumet Basic de marque AB15,
- Spectrophotomètre UV-Visible type UV-160 mode SHIMADZU,
- Spectroscopie d'absorption atomique avec flamme d'air - acétylène (UNICAM 929).

Les analyses physico-chimiques des eaux usées ont été effectuées, à température ambiante, selon les méthodes décrites par Rodier en 1996 [14] et ont porté sur les paramètres suivants: pH, cuivre et zinc.

Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre X , exprimé en pourcentage, est basé sur la formule suivante:

$$\% \text{ Abatement } (X) = \frac{(C_i(X) - C_f(X))}{C_i(X)} \times 100$$

C_i : Concentration initiale de X dans l'eau usée

C_f : Concentration finale de X dans l'eau usée traitée.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Evaluation du pouvoir floculant de jus de cactus

Afin de déterminer la combinaison adéquate de travail (coagulant / jus de cactus) pour le traitement par coagulation-floculation, nous avons réalisé des essais sur deux types de produits chimiques (chlorure de fer et chaux). Ces derniers sont couramment utilisés dans le traitement physico-chimique des effluents industriels [8, 9].

Le traitement de la solution pseudo industrielle par coagulation-floculation a été réalisé sur deux combinaisons notées respectivement 1 et 2 (chlorure de fer / jus du cactus et chaux / jus du cactus).

Les teneurs retenues en métaux sont de 50 ppm pour le cuivre et de 50 ppm pour le zinc. Les différents essais de traitement ont été réalisés dans une zone de pH comprise entre 7 et 12 correspondant à la précipitation de cuivre et de zinc [15].

Pour chaque essai réalisé sur un litre de solution; le pH est ajusté dans la combinaison 1 avec la soude suivi d'une coagulation avec 5 ml d'une solution de chlorure de fer à 40g/l et dans la combinaison 2 avec la chaux suivi immédiatement d'une étape de floculation par 0,2 ml de jus de cactus (**Tableau 1**).

Le choix de ces doses a été dicté par les résultats de nombreux travaux réalisés pour le traitement des rejets industriels [16, 10].

L'analyse du **Tableau 1** montre que dans les deux types de traitement, la formation des floccs est très rapide et optimale à pH 9. En dehors de cette zone et pour des pH inférieurs à 9, le traitement par la combinaison 1 (chlorure de fer / jus de cactus) en présence de la soude est plus avantageuse.

Pour les valeurs de pH supérieurs à 9, le traitement nécessite uniquement l'utilisation de la chaux qui agit simultanément en tant qu'ajustant de pH et de coagulant suivi de l'ajout de jus de cactus.

Tableau 1: Conditions de traitement des différents échantillons en utilisant le FeCl₃, 6H₂O ou la chaux

Ajustant de pH	Soude						chaux					
Coagulant	FeCl ₃ , 6H ₂ O						chaux					
Floculant	Jus de cactus						Jus du cactus					
pH	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
Forme des flocu.	G	G	G	G	G	M	M	G	G	G	G	G
Temps (mn)	2	1	1	3	5	8	9	7	1	1	1	3

T: Temps de formation des floccs, G: grande, M: moyenne

3.2 Evaluation du pouvoir épuratoire du jus de cactus

3.2.1 Traitement d'une eau chargée en cuivre et en zinc

Pour évaluer le pouvoir épuratoire du jus de cactus, nous avons suivi l'évolution des concentrations en ions de zinc et de cuivre dans des solutions pseudo industrielles et dans des rejets industriels en utilisant comme agents floculants le nouveau produit extrait des cactus marocains et le floculant industriel (**Tableau 2**).

Le pH 9, considéré comme pH de floculation optimum pour une bonne précipitation de zinc et de cuivre, est adopté.

Tableau 2: Evolution des concentrations en ions de Zn et de Cu dans les différents échantillons traités

Floculant	Coagulant	[Zn]	[Zn]	% Elimination	[Cu]	[Cu]	% Elimination
		Avant Traite Ment (ppm)	Avant Traite Ment (ppm)		Avant Traite Ment (ppm)	Avant Traite Ment (ppm)	
① Jus de Cactus	Chaux	50	1.7	96.6	50	0.9	98.2
	FeCl ₃	50	1.8	96.4	50	0.8	98.4
② Jus de Cactus Floculant Industriel	Chaux	52	2.5	95.2	27	1	96.3
	Fe Cl ₃	52	2.7	94.8	27	1.2	95.5
	Chaux	52	2.3	95.5	27	1.5	94.4
	FeCl ₃	52	2.3	95.5	27	1.2	95.5

① Solution pseudo industrielle _ ② Rejet industriel

Les résultats du **Tableau 2** montrent que dans le cas de la solution pseudo industriel, l'élimination des éléments polluants cuivre et zinc avoisine 97 % pour les deux combinaisons de traitement (chlorure de fer / jus du cactus, chaux / jus du cactus).

Pour l'échantillon industriel considéré, on a travaillé avec les fortes teneurs en cuivre et en zinc. Les concentrations des rejets de laitonnage varient en fonction de l'activité journalière de l'usine, elles sont de 5 à 27 ppm pour le cuivre et de 9 à 52 ppm pour le zinc.

Les tests réalisés montrent d'une part des résultats semblables pour les deux combinaisons étudiées et d'autre part, à partir du traitement avec le jus de cactus ou le

floculant industriel, le taux d'abattement reste pratiquement invariable ($\approx 95\%$), avec des concentrations de Cu et de Zn dans l'effluent traité qui varient respectivement entre 1 et 1,5 mg/l pour le cuivre et entre 2,3 et 2,7 mg/l pour le zinc. Ces valeurs répondent aux normes de rejet en vigueur [17, 18].

Par ailleurs, des valeurs légèrement basses ($\approx 95\%$ pour le Zinc et le cuivre) sont enregistrées dans les solutions industrielles, en comparaison avec celles pseudo industrielles ($\approx 97\%$ pour le Zinc et $\approx 98\%$ pour le cuivre).

Ceci peut s'expliquer par la faible concentration en MES (environ 3 ppm) qui peut à priori larguer des polluants en fonction des propriétés physico-chimiques de la solution concernée, comme le pH ou la teneur en matières organiques [8, 9]. Toutefois, pour évaluer ces résultats, on a pensé à contrôler l'efficacité de notre floculant (jus de cactus) dans le traitement d'une eau chargée en matière en suspension.

3.2.2 Traitement d'une eau chargée en matière en suspension

Les eaux à traiter sont préparées au laboratoire. Elles sont constituées d'une argile de type sanmix à 10 % qui ne décante pas rapidement. La figure 2 ci-dessous représente la précipitation spontanée de cette argile en fonction du temps en dehors de tout traitement.

Selon les résultats enregistrés, on constate qu'après une heure de décantation la solution reste toujours turbide avec une valeur de l'ordre 240NTU.

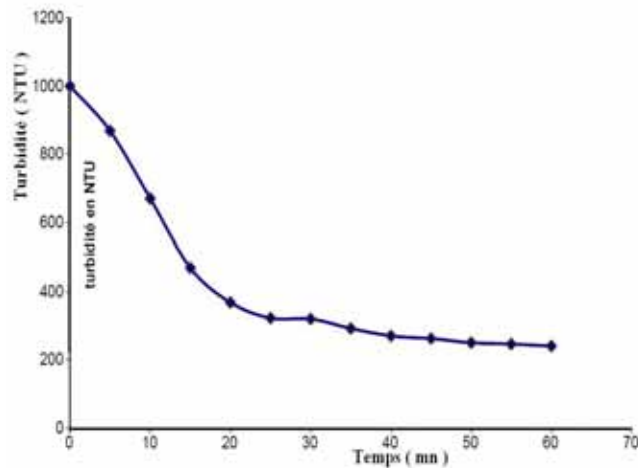


Fig. 2: Suivi de la turbidité en fonction du temps de décantation en dehors de tout traitement

C'est ainsi que dans cette partie du travail, nous proposons de comparer la capacité floculante de jus de cactus à celle du floculant industriel généralement utilisé pour le traitement des eaux chargées en matière en suspension, sur des eaux chargées en argile, de déterminer les différents paramètres optimums (pH, quantité de floculant, temps de sédimentation) des deux floculants, d'estimer le pouvoir d'abattement de la turbidité de chacun et d'évaluer leur aptitude pour un tel traitement.

Les eaux chargées d'argile subissent des ajustements de pH avec la chaux puis une floculation à l'aide du jus de cactus ou du floculant industriel et en fin une décantation.

Le flocculant est ajouté aux solutions à traiter pendant la phase d'agitation rapide (100 tr/mn) de 1 à 2 mn suivie d'une agitation modérée (40 tr/mn) de 15 à 20 mn.

3.2.2.1 Optimisation du pH de floculation

Pour optimiser le pH de floculation, nous avons fixé la dose des deux flocculants. A un litre d'eau à traiter, on ajoute 0,1 ml du flocculant industriel à 1 % dans l'eau (dose recommandée par la Fiche technique du Flocculant Praaestolr2515.TR en 2004) et 1 ml de jus de cactus à 10 % dans l'eau.

La turbidité a été suivie en fonction de pH pour un temps de décantation de 20 mn pour tous les essais.

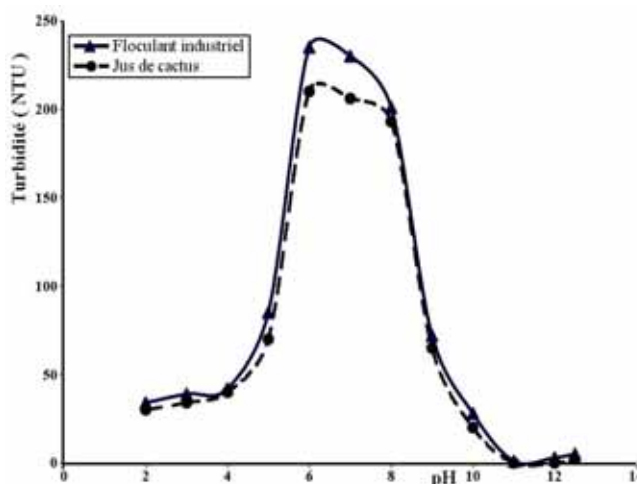


Fig. 3: Variation de la turbidité en fonction de pH
Optimisation de pH

Au regard des résultats repris dans la figure 3, la turbidité a montré une évolution en trois zones de pH pour les deux flocculants:

- Pour la zone de pH compris entre 5,5 et 9, la turbidité atteint son maximum alors que la sédimentation reste lente.
- Pour les deux zones de pH inférieur à 4 ou supérieur à 10, on note une très bonne floculation, la turbidité étant faible. La valeur optimale de pH qui est de 11, assure une bonne séparation solide-liquide d'où l'augmentation de la performance du procédé du traitement en terme d'élimination de la matière en suspension.

3.2.2.2 Détermination de la concentration optimale du flocculant

Après 5 mn de décantation, nous avons suivi la turbidité en fonction du volume ajouté de jus de cactus et de flocculant industriel. Le pH est fixé à 11.

Les résultats obtenus affichent une turbidité minimale pour un volume de 0,1 ml de flocculant industriel à 1 %, et de 0,5 ml de jus de cactus à 10 % (Fig. 4). On note que le volume de ce dernier est approximativement le même que celui du flocculant industriel, si on prend en considération la teneur en eau dans le jus de cactus qui est de l'ordre de 96 %.

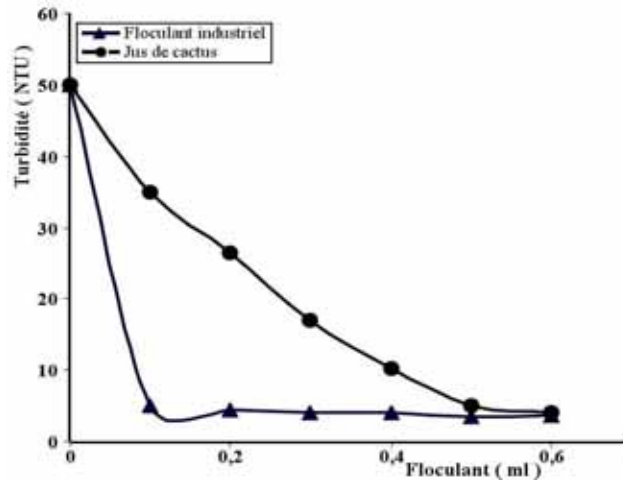


Fig. 4: Variation de la turbidité en fonction du volume de flocculants (ml)
Optimisation de la concentration de floculation

3.2.2.3 Détermination du temps optimal de la décantation

Les résultats obtenus dans la figure 5 indiquent, pour un pH de 11 et un volume de 0,1 ml de flocculant industriel à 1 %, ou de 0,5 ml de jus de cactus à 10 % (conditions optimales obtenues), que la faible valeur de la turbidité est obtenue par un traitement avec 10 à 12 mn de décantation pour les deux flocculants.

Ceci montre que l'efficacité et la fiabilité du traitement restent étroitement dépendantes du bon déroulement de la phase de décantation.

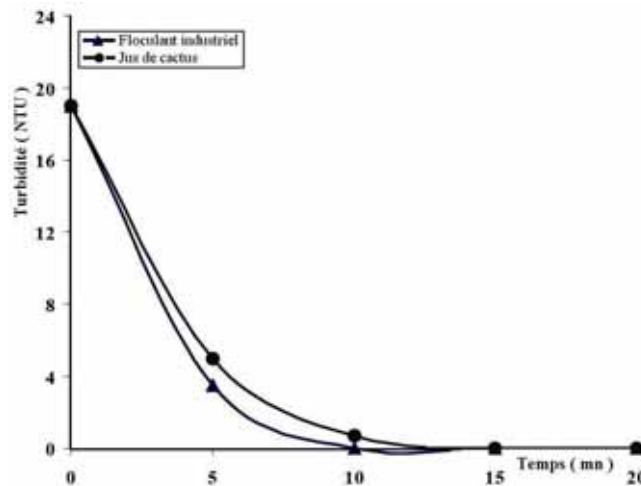


Fig. 5: Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à pH=11
Optimisation du temps de décantation

Ces observations laissent conclure que les deux combinaisons étudiées (chaux/jus de cactus) et (chaux/flocculant industriel) ont un effet similaire quant à l'élimination des MES par sédimentation.

La mise en oeuvre de cette étude pilote, a permis de mettre en évidence les effets positifs du jus de cactus dans le traitement des effluents industriels. Les résultats montrent une bonne efficacité de ce jus pour l'élimination du chrome [19], du cuivre, du zinc et des matières en suspension. Les taux d'abattement sont supérieurs à 94 % pour le cuivre et le zinc et supérieurs à 98 % pour le chrome et les MES.

Les performances pour l'élimination de la MES sont similaires à celles obtenues avec des procédés utilisant une plante aquatique [20], et le jus de cactus comme coagulant [16, 21].

Parmi les autres avantages, le jus de cactus constitue une alternative possible aux coagulant et floculant chimiques. En conséquence, les propriétés physico-chimiques de l'échantillon traité ne sont pas modifiées et la boue produite est exempte de fer, d'aluminium et des polymères chimiques.

4. CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous avons utilisé le jus de cactus comme floculant naturel pour le traitement des rejets liquides industriels et pseudo-industriel. D'après les résultats obtenus au cours de cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- Le jus de cactus présente une très bonne capacité de floculation en présence de la chaux seule ou mélangée avec du chlorure de fer.
- L'efficacité de ce liquide, relatif à l'abattement du cuivre, du zinc et des MES, est comparable à celle du floculant industriel.
- La combinaison 2 formée de la chaux et de jus de cactus apparaît plus intéressante, car elle offre une alternative plus économique en termes de dépollution d'eaux usées et elle est moins toxique.

Par ailleurs, la caractérisation du polymère responsable de la floculation s'avère nécessaire dans la mesure où ces premiers résultats sont encourageants. Aussi pour mieux exploiter les avantages offerts par le jus de cactus, nous envisagerons qu'il soit appliqué à une eau de consommation prélevée à partir d'eau de surface utilisée sans traitement dans certains milieux ruraux.

REFERENCES

- [1] Y. Habibi, '*Contribution à l'Etude Morphologique, Ultra Structurale et Chimique de la Figue de Barbarie, les Polysaccharides Pariétaux: Caractérisation et Modification Chimique*', Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 2004.
- [2] M. Arba, '*Les Opuntias à Fruits Comestibles dans Certaines Régions du Maroc*', in: 2^{ème} Journée Nationale sur la Culture du Cactus, El kalaa des Sraghna, Maroc, 30 Mai 2000.
- [3] M. Boujghagh et L. Chajia, '*Le Cactus: Outil de Gestion de la Sécheresse dans le Sud Marocain*', Terre et Vie, N°52, pp. 1 - 7, 2001.
- [4] Document OMS, Organisation Mondiale de la Santé, '*Rapport Annuel sur la Santé dans le Monde*', Genève, 1989.
- [5] Document PNUD, '*Programme des Nations Unies pour le Développement au delà de la Pénurie: Pouvoir, Pauvreté et la Crise Mondiale de l'Eau*', Rapport Mondial sur le Développement Humain, New York, 2006.

- [6] E. Aboualie, O. Jean et J. Ledion, 'Influence de Cuivre et du Zinc sur le Pouvoir Entartrant de l'Eau', Journal Européen d'Hydrologie, Vol. 27, N°1, pp. 109 - 126, 1996.
- [7] S. Kholtei, A. Bouzidi, M. Bononi, M. Fekhaoui, K. Sbai, R. Anan et E.E. Creppy, 'Contamination des Eaux Souterraines de la Plaine de Berrechid dans la Région de Chaouia, au Maroc, par des Métaux Présents dans les Eaux Usées: Effet de la Pluviométrie', Vecteur Environnement, Vol. 36, N°5, pp. 68 - 80, 2003.
- [8] F. Edeline, 'L'Épuration Physico-Chimique des Eaux, Théorie et Technologie', Cebedoc, 4^{ème} Edition, Paris, France, 282 p. 1993,
- [9] J. Bontoux, 'Introduction à l'Étude des Eaux Douces: Eaux Naturelles, Eaux Usées, Eaux de Boisson, Qualité et Santé', Lavoisier Édition, Paris, France, 170 p., 1993.
- [10] L. Youcef et S. Achour, 'Traitement des Eaux Fluorées du Sud Algérien par Combinaison Chau/Sulfate d'Aluminium', Watmed2- Marrakech, 14-17 Novembre 2005.
- [11] A. Rezeg et S. Achour, 'Indice de la Minéralisation des Eaux dans l'Élimination d'Acides Organiques Aromatiques par Coagulation Flocculation', Watmed2- Marrakech, 14-17 Novembre 2005,
- [12] Fiche Technique du Flocculant Praaestolr2515.TR., 2004, Division Traitement des Eaux, Degussa, Stockausen.
- [13] A. Khyati et A. Messafi, 'Traitement des Rejets Liquides Emanant des Industries de Traitements de Surfaces et Leur Réutilisation dans les Circuits des Chaînes selon le Principe 'Rejet Zéro'', Desalination, n°167, p. 87 - 99, 2004.
- [14] J. Rodier, 'L'Analyse de l'Eau - Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires, Eau de Mer', 8^{ème} Edition, Paris, Dunod, 1394 p., 1996.
- [15] L. Lacourcelle, 'Traité de Galvanotechnique', Galva-conseil, France, 561 p., 1996,
- [16] A. Diaz, N. Rincon, A. Escorihuela, N. Fernandez, E. Chacin and C.F. Foter, 'A Preliminary Evaluation of Turbidity Removal by Natural Coagulants Indigenous to Venezuela', Process Biochemistry, Vol. 35, N°3-4, pp. 391 - 395, 1999,
- [17] Document, FODEP., 'Fonds de Dépollution Industrielle, Critères d'Éligibilité et Termes de Références de l'Étude Technique', Direction de l'observation des études et de la coordination, secrétariat chargé de l'environnement, 2003.
- [18] Document du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et l'Environnement, 'Les Nouvelles Lois de Protection de l'Environnement', MATEE, 2003,
- [19] A. Abid, A. Zouhri et A. Ider, 'Utilisation d'un Nouveau Bio-flocculant Extrait du Cactus Marocain dans le Traitement des Rejets Chargés de Chrome (VI) par le Procédé de Coagulation - Flocculation', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°2, pp. 251-257, 2008.
- [20] S. Benzaïoune, A. Yatribi, B. Achour et A. Srhiri, 'Essai d'Épuration des Eaux Usées Brutes par une Plante Aquatique Enracinée sous Climat Tempéré: Cas du Roseau', in: Watmed2-Marrakech, 14-17 Novembre, 2005.
- [21] J. Zhang, Z. Fang, L. Yunhong, Hong Yang,, 'A Preliminary Study on Cactus as Coagulant in Water Treatment', Process Biochemistry, Vol. 41, N°3, pp. 730 - 733, 2006.