

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de BLIDA 1
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

option : Eau Environnement et Développement Durable.

Intitulé du mémoire

**Nouvelle méthode d'extraction d'un bio-floculant
pour le traitement des eaux**

Présenté par :

CHEMIL Mahdi.

Encadré par :

Pr. AOUABED Ali.

Année universitaire 2015/2016

Introduction

Introduction:

Généralité:

Le traitement des eaux est un procédé qui vise à produire une eau potable à partir d'une eau brute plus ou moins polluée, issue des barrages ou des fleuves. Pour ce faire on procède à une série de traitements: à savoir la coagulation, floculation, décantation, filtration et enfin désinfection.

Le premier traitement à faire est la coagulation floculation, c'est un traitement qui consiste à enlever la turbidité de l'eau par la déstabilisation des particules colloïdales puis l'agglomération des particules déstabilisés sous forme de floes. Pour ce type de traitement, on utilise des produits naturels ou de synthèse qu'on appelle coagulants ou floculants.

Le coagulant le plus utilisé est le sulfate d'alumine. Son utilisation date du 19eme siècle,[1], la Chine a été le premier pays à avoir utilisé ce sel métallique, suivi par de nombreux pays, citons l'exemple des états unis, qui l'utilisent depuis les années 80[2]. Avec l'invasion de ces produits chimiques, leurs accessibilités, ainsi que leurs performances, les produits naturels sont de moins en moins utilisés excepté pour les pays pauvres où ils n'ont pas accès à ces produits de synthèse.

Au fur et à mesure des progrès analytiques et sanitaires, les normes de qualité des eaux distribuées visent des paramètres de plus en plus nombreux, avec des exigences de précision dans les mesures de plus en plus grandes. Ces dernières années, on assiste à une mobilisation de la part de la communauté scientifique qui signale le danger des produits chimiques. En effet, le développement du domaine analytique et sanitaire a levé le voile sur une panoplie de produits chimiques qu'on utilisait autre fois avec excès et sans crainte et qui s'avère aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et la santé humaine. Parmi ces produits chimiques, les coagulants ou bien les sels métalliques tels que le sulfate d'alumine ou bien le chlorure ferrique, présentent des risques pour la santé humaine, ce qui a poussé de nombreux chercheurs à trouver une alternative à ce problème.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre, on essaye de substituer ces produits chimiques, en utilisant des produits naturelles qui sont performants du point de vue technique, disponibles et compétitifs du point de vue économique.

Notre étude est basée sur la valorisation d'un produit naturel pour extraire un bio-floculant largement utilisé dans de nombreux domaines tel que l'agroalimentaire, phytopharmaceutique mais également dans le domaine de traitement des eaux, c'est L'Opuntia ficus-indica (OFI) ou communément appelé cactus. Notre objectif de tester l'efficacité de ce bio-floculant en coagulation floculation. Ce produit appelé "gel de cactus" est extrait des cladodes de cactus en utilisant une méthode d'extraction à froid. Ce produit a été testé vis-à-vis de la turbidité et de la matière organique. Des essais ont été réalisés en variant la concentration du gel de cactus à différents pH. Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux obtenus avec le sulfate d'aluminium.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR

LES

BIOFLOCCULANTS

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES BIOFLOCULANTS

1. Les inconvénients des coagulants chimiques:

Malgré la supériorité du point de vue technico-économique des coagulants chimiques dans le traitement des eaux, ils ont un très grand inconvénient celui du non respect aux principes de la chimie verte, en 1960, une étude a été publiée sur les effets des coagulants chimiques au détriment de la santé humaine[3]. Les débats ont été focalisés sur la relation entre le développement des maladies graves comme l'Alzheimer et l'Aluminium résiduel dans les eaux traitées par le sulfate d'alumine [4] et la maladie de sénile dementia[5]. Les résultats d'un grand nombre d'études épidémiologiques et des observations cliniques ont suggérés qu'au moins 70% de corrélation entre la présence de l'Aluminium dans les eaux potables et l'Alzheimer[6].

Autre inconvénient de l'Aluminium résiduel dans les eaux, c'est la réduction de l'efficacité de la désinfection[7].

2. Les avantages des biofloculants:

Contrairement aux coagulants chimiques, les bio-coagulants ou bio-floculants sont sans danger, écologiques et généralement sans toxicité. Ces bio produits génèrent un volume de boues moins important allant jusqu'à 5 fois moins que les coagulants chimiques[8] et par conséquent un traitement moins coûteux et plus durable(figure I.1). Les biofloculants peuvent être fabriqués avec des produits locaux et une main d'œuvre locale. Ils sont indépendants du pH, ce qui traduit un traitement plus facile à une large gamme de pH.

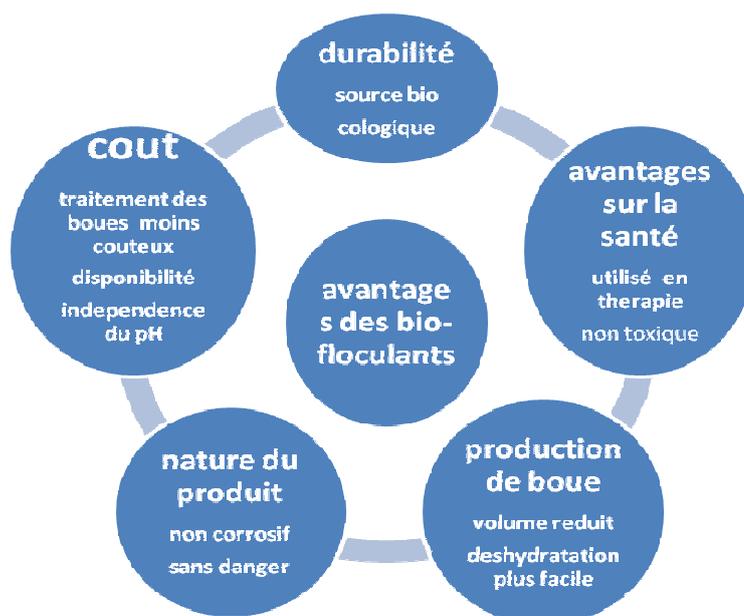


Figure I.1: Résumé des avantages des biofloculants[2]

3. Classification des biofloculants selon leurs origines:

3.1. Déchets des fruits:

Les fruits sont riches en vitamines et nutriments tels que les sucres et protéines, plus de 50% des fruits sont composés de déchet comme les pelures, les grains, qui sont généralement non consommable, vue leurs compositions chimiques ces déchets peuvent être valorisés comme bio-floculant.

Jusqu'à nos jours, 9 déchets de fruits ont été utilisés dans le traitement des eaux, ce sont les grains de *Carica papaya*, *Feronia limonia*, *Mangifera indica*, *Persea americana*, *Phoenix dactylifera*, *Prunus armeniaca*, *Tamarindus indica*, les pelures de *Citrus sinensis*, les feuilles de *Hylocereus undatus*.

3.2. Autres:

Une autre gamme de plantes ont été découvertes dans ces dernières années, 12 plantes ont été recensées qui appartiennent aux différentes catégories de cactus, céréales, fongus, arbustes et épices, le tableau 1.1 résume toutes ces plantes.

Tableau I.1 –synthèse bibliographique des déchets de fruits utilisés comme biofloculants [2]

No.	floculant		Type d'eau a traiter	Turbidité (NTU)	conditions Initiales		paramètres Optimisés		
	Nom	méthode De d'extraction			pH	autres	Dosage (mg/L)	pH	% réduction
1	grains de <u>Carica papaya</u>	A, F, J	EB	119	5	Alcalinité: 195 mg/L	100 grains /100 L	8.0	90%
		F, H1, K, E	ES						
2	<u>Citrus sinensis</u> pelures/peau	C1/C2, F	EB	32	9.4 (H4)		4000		~85%
3	Grains de <u>Feronia limonia</u>	E, F, H2, I, L1	ES	100			20		~77%
		E, F, H2, I, L1	ES	100			9 + 20 alum		~97.5%
4	feuilles de <u>Hylocereus undatus</u>	E, F	LCE	7243	7.3	DCO: 7857 mg/L DBO:1327 mg/L	300	10	99.5%
		B, D, E, F	EL	7243	7.3	SS: 1208 mg/L COD: 7857 mg/L SS: 1208 mg/L	500	10	99.7%
5	grains de <u>Mangifera indica</u> Noyau <u>Mangifera indica</u>	E, F, G	EB	6.5		CT: 5000 NPP/100 mL	30		54%
		A, E, F, G	ES	90			0.5 mL/L	13	98.65%
6	Grains de <u>Persea americana</u>	F, J	EB	119			10 grains/10L		64.2%
7	<u>Phoenix dactylifera</u> Grains de dattes Gaine de Pollen	C3, E, F, L2, G1	ES (Bentonite)	75 ± 10			30		94%
		C3, E, F, L2, G	ES (bentonite)	300 ± 10			90		93%
8	grains de <u>Prunus armeniaca</u>	E, F, G	EB	6.5		CT: 7000 NPP/100 mL	30		54%
						CF: 800 NPP/100 mL			
9	<u>Tamarindus Indica</u> seeds	E, F, H2, I, L1	ES (argile)	100 mg/L			20	7.5	80%
		E, F, H2, I, L1	ES (argile)	100 mg/L			3 + 20 alum		98%
		E, F, G, L1	ES(Kaolin)	76–79			5	8	69%
		E, F, G, L1	EB	94.7	8		2		96%
		E, F	EB			TSS: 425 mg/L OD: 1.8 mg/L	14		

A: décortiqué B: épines enlevées , C: rincé avec : (1. formaldéhyde, 2. acid-alkaline, 3. water), D: coupé, E: séché, F: pulvériser, G: extrait avec l'eau, H: trempé dans: (1. HNO₃, 2. eau), I: mélangé avec l'eau,, K:filtré et lavé avec l'eau, L:ajouter: (1. HCl, 2. NaOH).

EB: eau brute, ES: eau synthétique , AC: aide coagulant, EL: effluent en latex, DCO: demande chimique en oxygène, DBO: demande biologique en oxygène, SS: solides suspendus, coliforme, FC: coliforme fécaux ,CT: Coliforme totaux, TSS: total solide suspendu, OD: oxygène dissous, NPP: nombre plus probable

Tableau I.2 : plantes utilisées en floculation [2]

N°.	Nom des plantes	Spécificité	Références
Cactus			
1	<i>Cereus repandus</i>	Turbidité résiduelle similaire au sulfate d'aluminium avec un dosage plus faible	[8]
2	<i>Stenocereus griseus</i>	réduction des colorants de 50 to 25% dans l'eau	[9]
3	<i>Opuntia ficus indica</i>	Pourcentage de turbidité minimal a pH 6	[10]
		La contribution du mucilage dans la Coagulation, notamment la présence de l'acide galacturonique	[11]
		% de réduction du Nickel de plus de 65%, et les bactéries de 20%	[12]
Céréales			
4	<i>Oryza sativa</i>	% de réduction de 96.4%, a turbidité, de 1g/l	[13]
5	<i>Zea mays</i>	Plus de 20% de reduction du zinc	[14]
Fungus			
6	<i>Pleurotus tuber-</i>	Pas sensible au <i>Escherichia coli</i> ;	[15]
		(absence de l'activité antimicrobienne)	[16]
Noisettes			
7	<i>Jatropha curcas</i>	Elimination de <i>Escherichia coli</i> et coliforms fecaux	[15],[17]
8	<i>Strychnos potatorum</i>	elimination de <i>E. coli</i> et bacteries d'au moins 40% Et Elimination de la dureté d'au moins 30%	[18],[19]et[20]
Les abrutistes			
9	<i>Cassia alata</i>	Pas efficace pour l'élimination du fer et manganèse, mais efficace pour l'élimination de la turbidité	[21]
10	<i>Maerua</i>	Contient une fraction de proteines et polysaccharides	[22]
11	<i>Prosopis</i>	Meilleur % de reduction a pH 11	[8]
Epices			
12	<i>Trigonella</i>	% de reduction minimal a pH 4	[23]
	<i>Foenum-graecum</i>	Activité coagulante a température et pH précis	

4. Clarification par coagulation floculation :

En traitement des eaux, la coagulation et la floculation sont des traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension et colloïdales. Ces traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent en deux étapes principales: à savoir la déstabilisation des particules et la collision des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. La déstabilisation et

l'agrégation sont des phénomènes physicochimiques. Contrairement à la séparation par décantation et filtration mettant en jeu des phénomènes essentiellement physiques.

La déstabilisation est le procédé par lequel les particules stables en suspension sont modifiées de façon à leur conférer la possibilité de s'accoler entre elles.

La stabilité des particules en suspension peut être rompue par l'ajout de réactifs chimiques appropriés qui réduisent ou éliminent les forces de répulsion, le système est alors dit déstabilisé. Par la suite, les particules déstabilisées sont mises en contact par une agitation mécanique extérieure, les collisions favorables à la formation de flocs et d'agrégats. La déstabilisation et l'agrégation font donc appel à une agitation externe pour favoriser le mélange des phases et promouvoir les collisions. La pratique consiste à mettre en œuvre deux séquences d'agitation : une agitation rapide qui favorise le mélange des réactifs et la déstabilisation des particules, une phase d'agitation lente pour favoriser les collisions entre les particules déstabilisées et ainsi entraîner leur agrégation.

En chimie des colloïdes, coagulation et floculation font directement référence à un mode de déstabilisation donné[24]. Ainsi, la floculation est le processus par lequel les tous premiers flocs apparaissent dans un système déstabilisé. Ces flocs sont peu denses et en général ne sédimentent pas. Si ces flocs se consolident en s'agrégeant et en devenant plus denses, on parle alors d'agrégats et leur mode d'obtention est appelé coagulation. La floculation fait donc référence à la formation de petits agrégats à partir de particules primaires et la coagulation, la croissance et la restructuration de ces flocs en agrégats denses, susceptibles de se séparer par sédimentation ou crémage. Une autre distinction voudrait aussi que la floculation soit un processus réversible au contraire de la coagulation. En traitement des eaux par contre, la terminologie en usage associe la coagulation à la déstabilisation du système en présence d'agitation rapide et la floculation à l'agrégation des particules déstabilisées sous agitation lente[25].

5. L'origine des particules en suspension :

En égard à la diversité de leurs origines et des mécanismes qui contribuent à leur génération, la nature des colloïdes dans les eaux naturelles est très variée. Les plus abondants sont ceux provenant du sol notamment des oxyhydroxydes de fer et/ou d'aluminium, ainsi que des aluminosilicates (argiles) .On retrouve aussi des matières organiques de haut poids moléculaire et des bio-colloïdes telles que les bactéries.

Par ailleurs, issus de l'épandage de déchets ou de fertilisants, on rencontre également des colloïdes de nature carbonatée et phosphatée [26].

Cependant, ces différents types de colloïdes sont rarement présents à l'état pur dans les eaux naturelles mais plutôt associés à différents composés réactifs pour former des particules composites de taille colloïdale.

L'élimination de ces colloïdes est difficile du fait de leurs propriétés de charge de surface et de leurs tailles. Ces propriétés et les mécanismes de création de ces charges sont essentiellement liés à leur nature, leur taille, leur structure et à leur environnement ionique (Figure I.2).

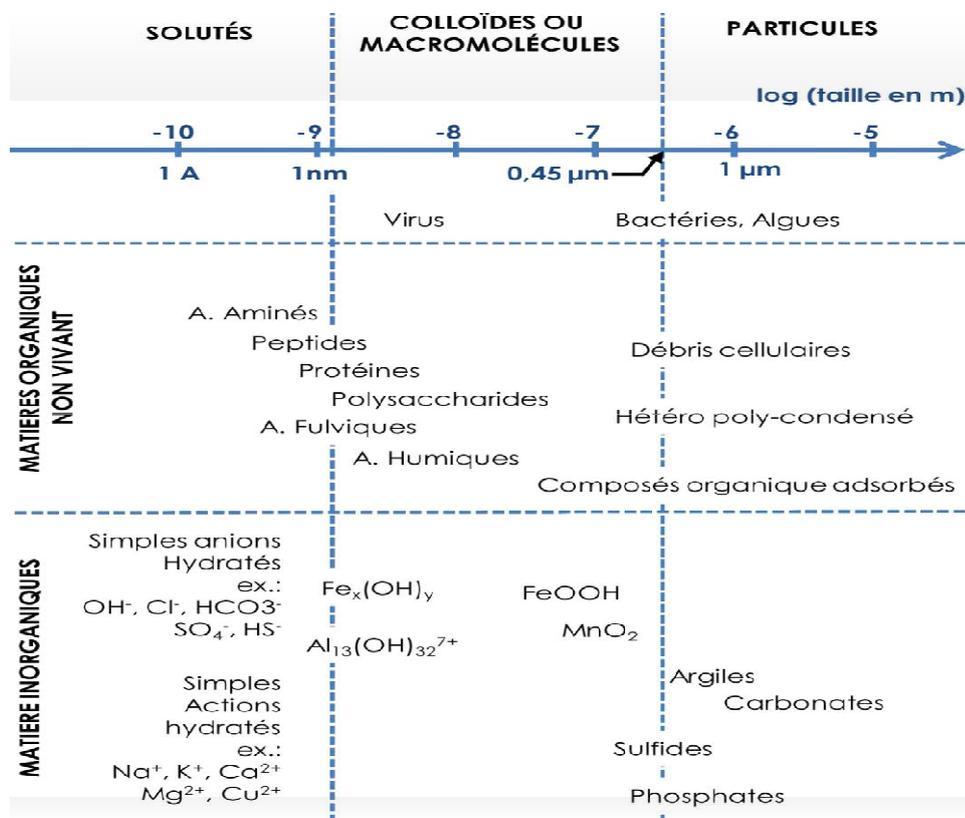


Figure I.2: Distribution selon la taille des particules que l'on peut rencontrer dans les eaux

6. Types de particules en suspension :

6.1. Particules de nature minérales:

Pour les particules de nature minérales, la charge de surface est composée d'une part de charges permanentes " intrinsèques " dues à des substitutions isomorphiques dans les

feuillet. Ces substitutions confèrent à l'ensemble du feuillet une charge nette et créent des sites d'échange avec les cations de la solution. Les charges permanentes des colloïdes argileux par exemple, peuvent retenir les cations métalliques par des forces électrostatiques non-spécifiques.

Dans le cas de la kaolinite par exemple, dans la couche de silice, l'ion Si^{4+} est remplacé par Al^{3+} tandis que dans la couche d'alumine, l'ion Al^{3+} est remplacé par Mg^{2+} .

Il se crée un excédent de charge négative, qui doit être compensée par un nombre approprié de cations. En général, cette compensation est effectuée par de grands cations.

D'autre part, la charge de surface des argiles est également constituée par des charges variables ayant pour origine la présence en bordure des argiles de groupements hydroxyles de type silanol ($-\text{SiOH}$) et aluminol ($-\text{AlOH}$). Ces groupements ont un caractère amphotère et dépendent donc du pH du milieu. Ils sont capables de réagir de manière spécifique avec les ions en solution[27] par conséquent la libération de protons(H^+).

Pour les minéraux de type hydroxyde et oxyhydroxyde, Deux mécanismes peuvent contribuer à l'apparition de charge à leurs surfaces. De par leur caractère amphotère, les groupements fonctionnels hydroxyles situés à la surface subissent des réactions de protonation ou de déprotonation pour produire des charges de surface positives ou négatives en fonction du pH et du point de charge nulle (PCN), ce dernier variant entre 7 et 9,3 selon le type d'oxyhydroxyde[28].

D'autre part, des ions métalliques peuvent s'adsorber de façon spécifique à la surface au point d'engendrer des inversions de charge. Cette adsorption d'espèces ioniques sur des particules à surface neutre ou à surface de même signe, implique une affinité chimique et non pas électrostatique.

6.2. Particules de nature organique:

La surface de nature protéique de certaines bactéries porte des groupements acides (COOH) et basiques (NH_2), sur lesquels les ions hydrogénés se fixent ou s'en détachent. Ce mécanisme, appelé "ionisation de la surface ", dépend du pH de la solution. Ainsi, la surface de la particule porte une charge positive à pH faible et négative à pH élevé. Le pH pour lequel la charge de surface est nulle est appelé le point isoélectrique.

Quant aux substances humiques, elles sont toujours de charge négative ou nulle, d'intensité variable suivant le pH du milieu et proviennent de la dissociation des groupements

fonctionnels hydrophiles (COOH), phénoliques et/ou alcooliques (OH), carbonyles (C=O) ainsi que des groupements amines (NH₂)(Figure I.3).

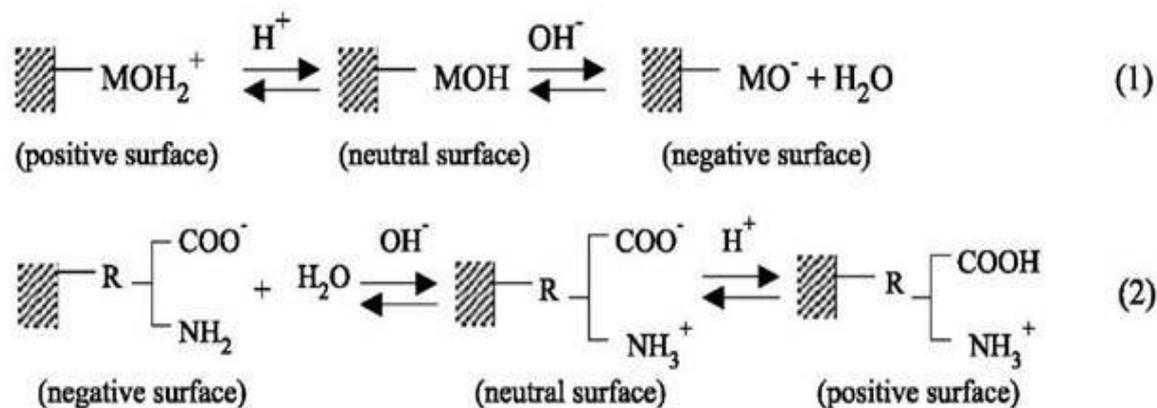


Figure I.3 : Variation des charges de surfaces sur les particules minérales (1) et organiques (2)

6.3. Particules de nature composite:

Les particules colloïdales composites sont des particules associées à d'autres composés tels que les particules d'argiles, possédant un revêtement d'oxyhydroxydes de fer et/ou de matière organique. Ces différents composés ont des propriétés de surface différentes[29]. Bien que ces revêtements peuvent constituer seulement une fraction minoritaire de la masse totale du solide, leurs propriétés vont contrôler le comportement de la particule composite[30]. Par exemple, Beckett et Le (1990) ont montré que l'adsorption de substances humiques à la surface des colloïdes minéraux peut augmenter la charge négative de ces colloïdes et donc augmenter leur stabilité et leur mobilité. Parmi ces particules on trouve les complexes argilo-humiques, ce sont des composés hybrides issus d'une combinaison entre les substances humiques et les argiles, liés entre eux par des cations tel que le calcium, magnésium, sodiumetc.

7. Physico chimie des particules en suspension :

7.1. Le modèle de la double couche:

Quelle que soit l'origine de ces charges, il se crée au voisinage de la surface des particules en suspension un arrangement ionique spécifique.

En effet, en solution, les contre-ions ont tendance à compenser la charge portée par la particule afin de préserver la neutralité électrique de la solution. Cet environnement ionique spécifique est connu sous l'appellation de "double couche électrique" et décrit par le modèle du même nom, encore connu sous l'appellation de double couche de Stern, constitué d'une couche fixe appelée couche d'helmholtz, et une couche diffuse appelée la couche de gouy-chapman.

Le modèle de la double couche, suppose un arrangement des ions en deux couches distinctes au voisinage de la particule; on parle de la théorie de la double couche[31]. La première couche est supposée rigide et constituée d'ions (hydrates ou non) fixes à la surface de la particule. Encore appelée couche fixe, son épaisseur est faible, de l'ordre du rayon d'un contre-ion hydrate. Plus épaisse, l'autre couche appelée couche diffuse, est composée d'ions (co-ions et contre-ions) dont la distribution est déterminée à la fois par les interactions électrostatiques avec la surface de la particule et les mécanismes de diffusion liés à l'agitation thermique. Cette diffusion tend à rétablir l'équilibre ionique entre la couche diffuse et la solution. Le plan séparant la couche fixe de la couche diffuse est appelé plan de Stern. Cette distribution ionique entraîne une variation du potentiel électrique en fonction de la distance de la surface.

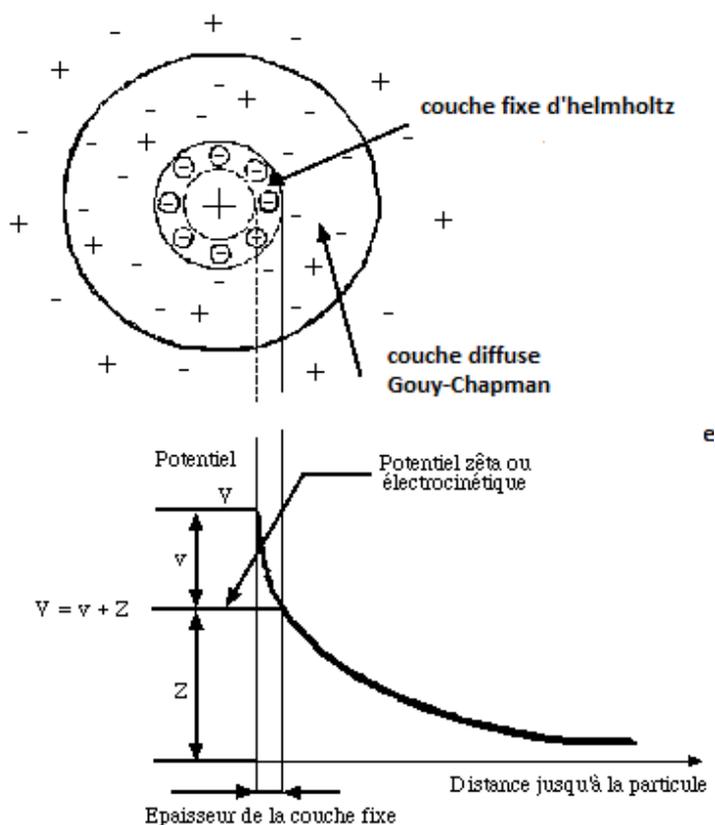


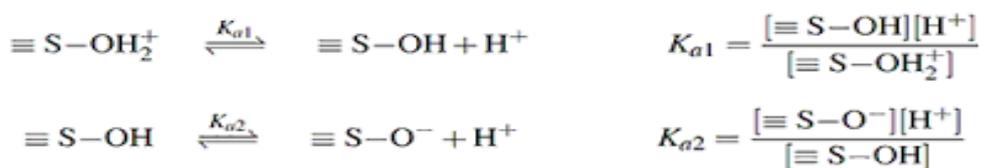
Figure I.4: Représentation du modèle de la double couche de stern montrant l'évolution du potentiel électrique en fonction de l'éloignement de la surface de la particule

Ce potentiel décroît de la surface de la particule au plan de Stern, puis décroît encore plus jusqu'à s'annuler dans la couche diffuse proche de la solution.

Le potentiel dans la couche diffuse est décrit par une loi de type exponentielle. Il dépend de la force ionique de la solution et par conséquent de l'épaisseur de la double couche. En effet, l'épaisseur de la double couche diminue lorsque la force ionique augmente, ce mécanisme est connu sous le nom de "compression de la double couche".

Par ailleurs, la surface de la particule accueille des ions déterminant le potentiel, comme H^+ et OH^- , ou des ions participants à la structure du matériau. Pour chacun des ions déterminant le potentiel, il peut être établi une loi d'action de masse décrivant son association avec un site de la surface. La charge de surface de la particule peut alors être calculée en tenant compte de ces équilibres d'association, et dépend par conséquent à la fois des constantes d'équilibre, des concentrations en ions déterminant le potentiel dans la

solution et du nombre total de sites de surface. Expérimentalement, la grandeur accessible du potentiel de surface est le potentiel zêta (ξ).



En effet, en cas de déplacement de la surface par rapport à une solution environnante, les ions présentant une affinité spécifique pour la surface l'accompagnent dans son mouvement, alors que les ions peu liés s'en séparent. La zone de cette séparation est appelée plan de cisaillement. Il est difficile à localiser avec précision, mais on le suppose proche du plan de Stern et dans la couche diffuse. Le potentiel zêta représente le potentiel au plan de cisaillement. Différentes méthodes existent pour la mesure du potentiel zêta, l'électrophorèse en est une. Au-delà des interactions avec la solution, les particules interagissent entre elles, modifiant leur comportement en suspension. La nature et l'intensité de ces interactions dépendent des propriétés de surface (charge, taille) et de la concentration en particules. La force, la spécificité ainsi que la nature attractive ou répulsive des interactions sont variables. Les interactions sont souvent exprimées sous la forme d'énergie potentielle [32], donc dépendent de la position relative des particules concernées.

Ces deux concepts peuvent être reliés, en considérant le travail effectué pour rapprocher deux particules séparées d'une distance infinie (ou l'interaction est négligeable) vers une distance h . Ce travail correspond à l'énergie d'interaction.

7.2. La théorie de la DLVO:

La résultante des interactions électrostatiques et les interactions de Van der Waals sur une particule est décrites par la théorie DLVO[33], d'après le nom des chercheurs qui ont participé à son élaboration : Derjaguin et Landau[34], Verwey et Overbeek[35]. D'autres formes d'énergies sont mises en œuvre dans les systèmes réels et ne sont pas pris en compte par la théorie DLVO. C'est le cas des forces liées à la présence de polymères, des forces de solvatation, et des forces de Born.

Les interactions électrostatiques sont liées à la présence de la double couche. Lors de l'approche de deux surfaces chargées, l'interpénétration des deux doubles couches génère une énergie électrostatique de répulsion. Les forces de Van der Waals regroupent toutes les

forces d'origine électromagnétique s'exerçant entre des particules non polaires, sous la forme d'interactions dipôle induit/dipôle permanent, dipôle induit/dipôle induit et dipôle permanent/dipôle permanent[36]. Elles sont le résultat d'un moment dipolaire induit dans une molécule par la position asymétrique des nuages d'électrons autour des protons. Le dipôle instantané créé peut ensuite interagir avec les électrons d'une molécule voisine et induire un autre dipôle. La force résultante entre ces dipôles, appelée force de Van der Waals, est attractive. La portée de ces forces est relative à l'échelle considérée, ainsi, l'énergie d'attraction entre deux particules colloïdales de faible taille, séparées d'une distance équivalente à leur taille, est du même ordre que l'énergie d'attraction mise en jeu entre deux atomes distants de leur rayon, soit l'énergie d'activation.

La stabilité des particules colloïdales dépend du potentiel électrique dans la double couche diffuse, mais également de la densité de charge de surface des particules colloïdales. En particulier, ces deux paramètres vont jouer un rôle prédominant dans le contrôle de la nature des interactions colloïdales, interactions qui dépendent avant tout de la nature des particules colloïdales, ainsi que de la composition de la solution. La résultante de l'interaction entre des particules en suspension subissant les effets de la répulsion électrostatique et de l'attraction de Van der Waals est décrite par la théorie DLVO. Elle détermine l'importance relative de ces deux effets[37].

D'après cette théorie (Figure 1-5), selon la distance séparant deux surfaces en suspension, l'un ou l'autre des deux effets domine dans le profil de force. L'attraction de Van der Waals présente un profil en loi de puissance qui décroît très rapidement avec la distance ; en conséquence, aux très longues distances, c'est la répulsion électrostatique et son profil exponentiel qui domine.

En revanche, aux très courtes distances, la répulsion électrostatique tend vers une valeur finie et c'est l'attraction de Van der Waals qui détermine le profil de force.

Contrairement à la répulsion liée à la double couche, l'attraction de Van der Waals peut être considérée en première approximation comme étant indépendante de la concentration de l'électrolyte. Compte tenu de toutes ces approximations, différents cas de figures peuvent en réalité se présenter en fonction de la concentration de l'électrolyte et de la densité de charge des surfaces. Dans le cas où les surfaces sont très chargées et plongées dans un électrolyte très dilué, la répulsion électrostatique est très forte et domine le profil de force ; elle atteint un maximum – qui constitue une barrière d'énergie – aux alentours de 1 à 4 nm ; dans ce cas, les deux surfaces se repoussent fortement. Si l'électrolyte est plus concentré, les surfaces peuvent adhérer très faiblement et d'une façon réversible l'une à

l'autre ; on dit qu'elles se trouvent dans un minimum secondaire de l'énergie. A densité de charge de surface plus faible, la barrière d'énergie imposée par la répulsion électrostatique est moins difficile à franchir ; les surfaces restent dans le minimum secondaire de l'énergie ou bien passent dans le minimum primaire de l'énergie et adhèrent fortement l'une à l'autre. Enfin, lorsque les surfaces ne sont quasiment pas chargées, l'attraction de Van der Waals domine le profil de force ; dans ce cas, les deux surfaces s'attirent fortement.

Selon la théorie DVLO, la stabilité d'une suspension colloïdale est déterminée par des forces de Van der Waals attractives qui provoquent l'agrégation et par des forces répulsives qui conduisent à la dispersion des particules. Quand les répulsions électrostatiques dominent, les particules restent à l'état dispersé. Les particules colloïdales sont stabilisées quand l'épaisseur de la double couche est importante (en présence d'une force ionique faible, donc d'une faible concentration en électrolyte) et quand la charge de surface de la particule n'est pas nulle. L'inverse provoque la coagulation. La valence des contre-ions contrôle aussi l'épaisseur de la double couche. Les ions divalents vont beaucoup plus favoriser la coagulation des colloïdes, même à faible concentration, que les ions monovalents (règle de Schulze-Hardy). La théorie DLVO a pu être vérifiée expérimentalement grâce à des mesures de forces réalisées entre deux surfaces de mica ; l'accord a été très bon pour des distances de séparation supérieures à 3 nm.

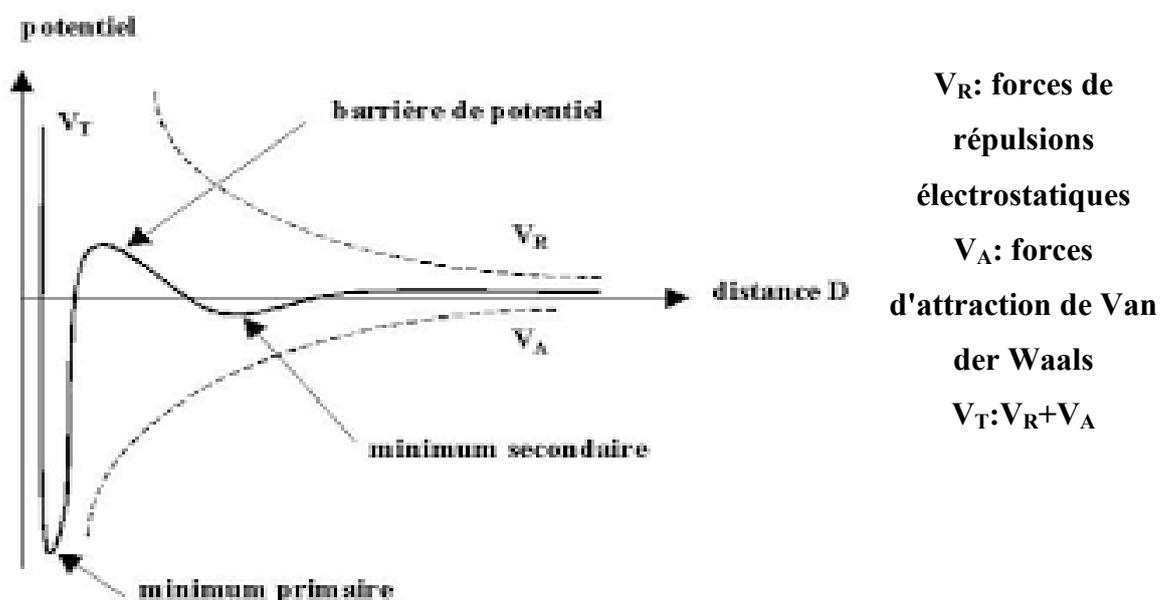


Figure I.5: Représentation graphique de la théorie de la DLVO qui montre la stabilité des particules en suspension

8. Flocculation des particules en suspension:

Les principaux agents de flocculation sont les polymères minéraux tels que la silice activée, les polymères naturels extraits de substances végétales (c'est l'objectif de notre étude) et les polymères de synthèse apparus plus récemment et qui ont fait évoluer considérablement les performances de la flocculation. Ces derniers sont les plus répandus dans le traitement des eaux ; on parle en général de flocculation par les polymères.

Les polymères organiques de synthèse sont des macromolécules composées de la répétition d'au moins un type de monomère. Si les monomères sont ionisables, ils peuvent s'ioniser en solution et conférer aux polymères des charges. On distingue ainsi les polymères neutres (pas de charge), cationiques (charge positive) et anioniques (charge négative). L'action flocculante des polymères est fortement influencée par leur conformation en solution. Etendue, leur masse moléculaire peut être très élevée ($\gg 100 \mu\text{m}$) mais en solution, la présence de force ionique peut masquer les charges du polymères et lui conférer une conformation moins étendue ($< 1 \mu\text{m}$).

De nombreuses espèces chimiques peuvent servir à la fabrication des polymères organiques de synthèse, mais le monomère de l'acrylamide est le plus répandu, les polymères d'acrylamide (PAM) peuvent atteindre plusieurs millions d'unités de monomères. Les homopolymères d'acrylamide sont neutres.

Le groupement amide, situé sur ce polyacrylamide, peut subir une hydrolyse puis une ionisation et acquérir une charge négative. Le taux d'ionisation dépend des conditions de fabrication. L'acrylamide peut aussi acquérir des charges positives par réaction du groupement amide avec le diéthylamide et le formaldéhyde ou encore par copolymérisation avec un monomère cationique comme le diméthylaminoéthylmethacrylate.

La caractérisation des polymères en solution vise généralement à déterminer leurs masses moléculaires, leurs densités de charge et leurs compositions chimiques. Les méthodes employées sont nombreuses.

Pour la flocculation, il faut qu'au préalable le polymères s'adsorbe à des particules en suspension. Cette adsorption peut se produire par le biais d'interactions électrostatiques entre des segments de polymères chargés et la surface de particules de signe contraire, par le biais de liaisons hydrogènes entre des groupements amides et des groupements hydroxydes à la surface des particules, au travers des interactions hydrophobes ou par

pontage par un ployions. Adsorbe à la surface d'une particule, le polymère adopte une conformation dont dépendront les mécanismes de floculation .

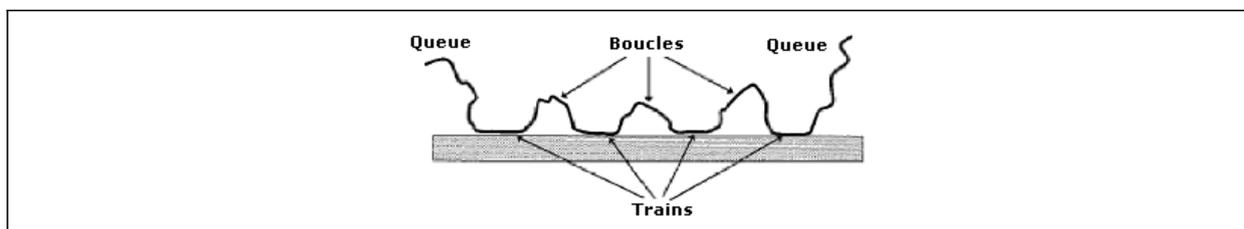


Figure I.6 : Conformation à l'équilibre d'un polymère adsorbé à la surface d'une particule

Le pontage et la neutralisation sont les deux principaux mécanismes de floculation. Ils sont liés aux propriétés de masse et de charge du polymère et à sa conformation à l'équilibre lorsqu'il est adsorbé. Ces mécanismes peuvent intervenir en synergie ou de façon concurrentielle.

Le pontage est le résultat de l'adsorption via des liaisons hydrogènes d'un polymère avec plusieurs particules, formant ainsi des ponts moléculaires entre particules adjacentes dans le floc. Le pontage a lieu en présence de polymères de fortes masses moléculaires ($>10^6$), non ioniques ou faiblement chargés[41].

Les charges du polymère et de la particule ne jouent donc pas un rôle prépondérant. Au contraire, la taille du polymère doit être suffisante pour permettre aux différentes chaînes de s'attacher à un nombre élevé de particules. L'efficacité du pontage est en général plus grande pour les polymères linéaires que chez les polymères ramifiés. Il est tout de même nécessaire que le polymère ne soit pas en excès pour éviter toute restabilisation du système. Ce mode de déstabilisation donne naissance à de gros floccs.

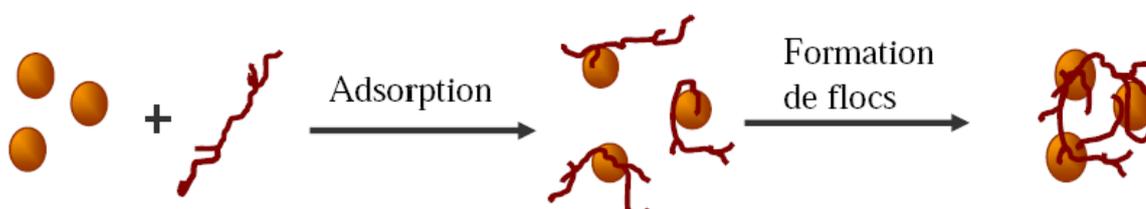


Figure I.7: Le mécanisme d'adsorption et pontage du polymère sur les particules en suspension

Lorsque des polymères de haute densité de charge (ionocité $>15\%$) interagissent avec des particules portant des charges de signe contraire, la floculation a lieu surtout par

neutralisation ou compensation de charge. Comme pour les SM agissant par le même mécanisme, il existe un dosage optimal de polymères appelé concentration critique de floculation (CCF). Cet optimum de floculation correspond à une neutralisation plus ou moins complète des charges de surface des particules déstabilisées donc à une réduction sensible du potentiel zeta. En cas d'ajout excessif de flocculant, on note une inversion de charge et une restabilisation du système. Toute augmentation de la masse moléculaire du flocculant ne modifie en rien la concentration critique de floculation, ce qui traduit le fait que la taille du polymère joue un rôle secondaire contrairement à sa charge. La force ionique, la présence de certaines espèces ioniques et le pH du milieu peuvent influencer de façon significative ce mécanisme de floculation.

Un mécanisme peu courant a lieu lorsque des polymères ou des segments de polymères non adsorbés sont expulsés de l'espace entre deux particules voisines du fait de leur grande taille. La pression osmotique qui en résulte contraint ces particules à flocculer, on parle alors de floculation par exclusion de chaîne (déplétion).

Quoiqu'il en soit, l'agrégation de particules déstabilisées nécessite un apport d'énergie pour leur mise en contact. La vitesse d'agitation agit sur la probabilité de rencontre des particules, mais il n'est pas possible de l'augmenter exagérément. En effet, si elle est trop élevée, les floccs subissent un cisaillement mécanique entraînant leur destruction. La vitesse de sédimentation peut alors diminuer malgré le fait que la déstabilisation soit effective.

Du fait de leur taille et de l'intensité des forces qu'elles mettent en œuvre dans les interactions avec les particules, la floculation par les polymères est responsable de la formation de larges et solides agrégats, ayant des vitesses de sédimentation bien supérieures à celles rencontrées en coagulation. Les boues formées sont moindres et présentent en outre l'avantage d'être biodégradables et facilement traitables .

9. L'émergence des bioflocculants:

Vue le coût , la disponibilité, la non- biodégradabilité et la toxicité des SM et les flocculants organiques de synthèse, la nécessité de trouver une alternative à ces produits demeure de plus en plus importante. ce qui a d'ailleurs interpellé de nombreux chercheurs à travers le monde dans le seul et unique objectif est d'utiliser un bio flocculant qui soit concurrentiel du point de vue technico-économique et surtout qui ne représente aucun danger en parlant de

toxicité et écotoxicité . Dans cette étude, un bio floculant a été utilisé pour la clarification des eaux destinée à la potabilisation.

L'*Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), c'est une plante succulente de type CAM (Crassulacean Acid Métabolism), présente des adaptations morphologiques et physiologiques lui permettant de résister à la sécheresse, aux chaleurs torrides, aux vents violents, aux tempêtes de sable, au sirocco, dans de nombreux pays à climat semi aride (Chili, Mexique, l'Algérie).

Contrairement à d'autres plantes, l'*Opuntia ficus-indica* (OFI) possède des cladodes à la place des feuilles, la partie supérieure est constituée de cellules épidermiques et de chlorenchyme qui représente le siège de l'activité photosynthétique, tandis que la partie intérieure est constituée de parenchyme dont la fonction est la rétention de l'eau au niveau de ces tissus à travers le mucilage . Les cladodes deviennent plus succulentes lorsque leurs dimensions atteignent plus de 60cm de longueur et une épaisseur de 2 à 3cm.

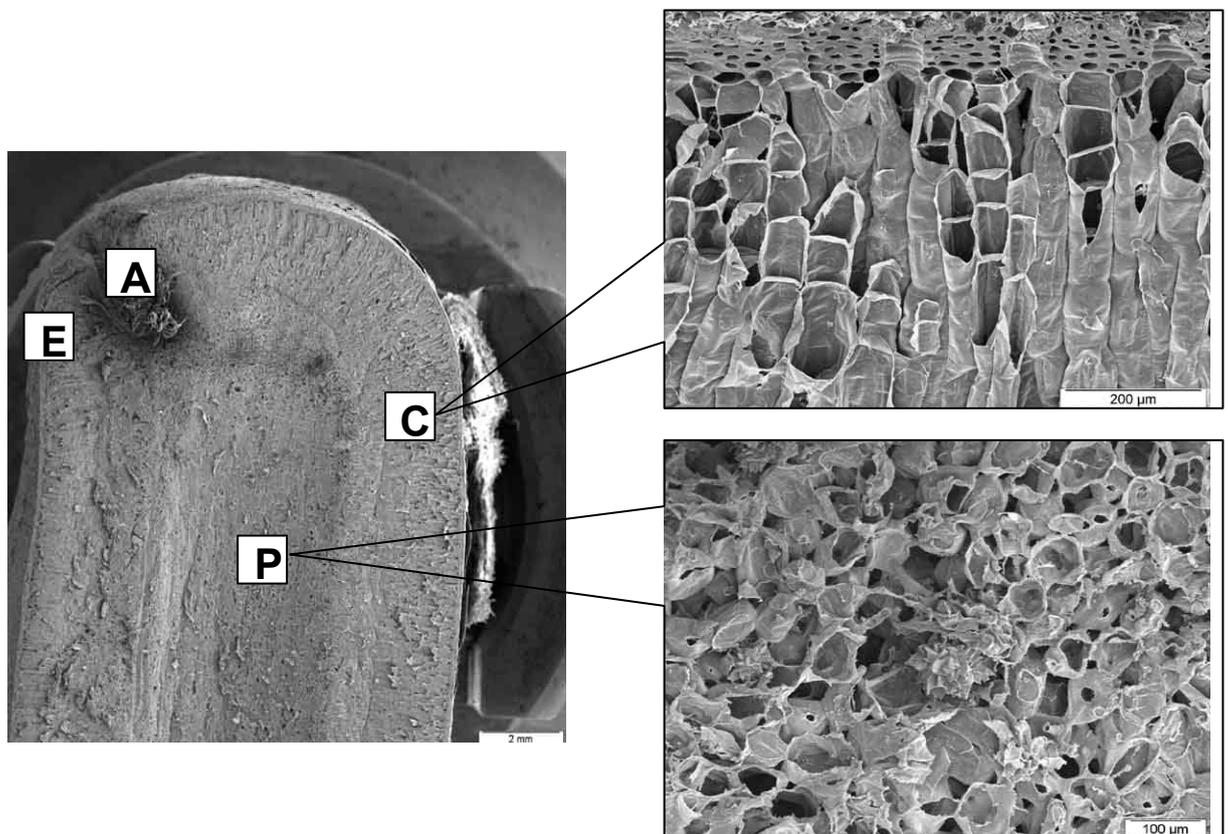


Figure I.8 : Image obtenue par microscopie électronique à balayage d'une coupe transversale d'une cladode d'OFI. E : cellules épidermiques, A : aréoles, P : cellules de parenchyme, C : cellules de chlorenchyme[42].

La figure montre une coupe transversale d'une cladode. Les cellules épidermiques (E), les aréoles (A), ainsi que les cellules du parenchyme (P) et du chlorenchyme (C) sont clairement identifiées.

9.1. La composition chimique des cladodes:

Les jeunes cladodes sont riches en eau, avec une teneur moyenne de 93 %. La teneur en matières minérales qui est importante dans les cladodes de moins d'un an, varie de façon hautement significative passant de 12,00 à 15,49% par rapport à la matière sèche. La teneur en cellulose brute (fibres) dépend du stade de croissance. Elle augmente de façon significative passant de 8,84 à 11,62g/100g de MS dans les cladodes plus âgées . Les sucres totaux augmentent de façon significative en fonction du stade de croissance passant de 1,66 au stade 1 à 8,80% . Quand aux sucres réducteurs, ils varient de façon moins marquée au cours de la croissance. Leur teneur augmente de 1,13% au stade 1 à 4,01 % , le tableau ci-dessous nous en dira d'avantage:

Tableau I.3: Composés majeurs des cladodes d'*Opuntia ficus indica* en fonction de l'âge des cladodes, variété inerme provenant de la région de Blida[42]

Constituants	L'âge des cladodes				
	1	2	3	4	5
Teneur en eau en% PF	92,37±1.60	93,46 ± 1,82	93,61 ± 0,46	94,02 ± 0,45	94,44± 0,49
Matières Minérales en % /MS	12,00±0,27	13,81 ±0,38	13,84 ±0,20	13,99 ±0,05	15,49±0,54
Fibre brute en% MS	8,84 ±1,45	9,15 ± 0,98	9,73 ± 0,49	10,95 ±1,23	11,62±0,65
Sucres totaux en % MS	1.65±0.40	4,91±1,81	5,79±2,94	7,52± 0,58	8,79±0,18
Sucres réducteurs % MS	1,13±0,18	1,53±0,03	1,95±0,04	2,22±0,12	4,01±0,45
Matière azotée totale en % MS	2,4± 0,41	2,36.± 0,26	2,51± 0,05	3,67±0,46	3,69±0,69
Acidité titrable en %	0,21± 0,04	0,25± 0,01	0,33± 0,01	0,42± 0,02	0,52± 0,04

9.2. Composition minérales des cladodes:

D'après la littérature, il y a prédominance du calcium à tous les stades de croissance, avec un taux variant de 5,18 à 6,13%. Elle atteint 7,27% pour les cladodes les plus âgées. La teneur en calcium et en magnésium est, quelque soit le stade de croissance. La teneur en potassium (K^+) varie de 2,75 à 2,30 % chez les jeunes cladodes; alors que pour les cladodes plus âgées la teneur connaît une diminution jusqu'à 1,66 % de la MS. Alors que la teneur en magnésium (Mg^{++}), augmente de 1,21 à 1,66% dans les jeunes cladodes (Tableau 4). Les teneurs en micro-éléments des cladodes de taille moyenne Cu^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} et Zn^{++} varient entre 0.02 à 1.57% selon l'âge des cladodes.

Tableau I.4 : Composition minérales des cladodes d'*Opuntia ficus-indica*, provenant de la région de Blida [42]

minéraux	l'âge des cladodes				
	1	2	3	4	5
Ca ⁺⁺	5,08±0,14	5,52±0.72	5,58± 0,78	6,89±0,05	7,27±0,46
K ⁺	2,75±0.01	2.50±0.07	2,30±0,16	1,95 ±0.01	1.66±0.01
Mg ⁺⁺	1,21±0.08	1,29±0.06	1,66±0.05	1.99±0.05	1.66±0.09
P	0,62±0.23	0,5±0,18	0,38±0,22	0,2±0,16	0,13±0,1
Na ⁺	0,043 ±0,03	0,047 ±0,03	0,072 ±0,03	0,077 ± 0,03	0,079 ±0,07
Fer	0,33±0.01	_____	0,65±0,05	_____	0.25±0,05
Cuivre	0,29±0.03	_____	0.34±0,05	_____	1.57±0,12
Zn ⁺⁺	0,6± 0.001	_____	0.3± 0.02	_____	0.03± 0.002
Mn ⁺⁺	0,04±0.02	_____	0.14±0.01	_____	0.21±0.05

9.3. Mucilage :

Communément appelé: "vase de cactus" ou encore "morve de cactus" . Le terme mucilage est souvent utilisé pour exprimer une solution aqueuse à caractère gommeux; il est sécrété par des cellules spécifiques appelées dictyosomes. Sa principale fonction est de retenir l'eau. En effet les polysaccharides qui constituent le mucilage piègent l'eau afin de protéger la plante d'une éventuelle sécheresse. Dans la littérature, le mot mucilage fait référence à deux types de polysaccharides distincts, le "gelling extract" (GE) ou l'extrait gélifiant qui gélifie en présence de Ca^{2+} , ce dernier est constitué de pectine, et le "non-gelling extract" (NE) ou l'extrait non gélifiant constitué d'un mélange d'heteropolysaccharides L-arabinose, D-galactose, L-rhamnose et D-xylose ainsi que l'acide galacturonique. McGarvie & Parolis (1981) sont les premiers à proposer une structure du mucilage de cactus, en supposant que c'est un mélange entre le GE et NE et la chaîne principale constituée d'acide galacturonique, rhamnose, arabinose et xylose, comme le montre la figure ci dessous,

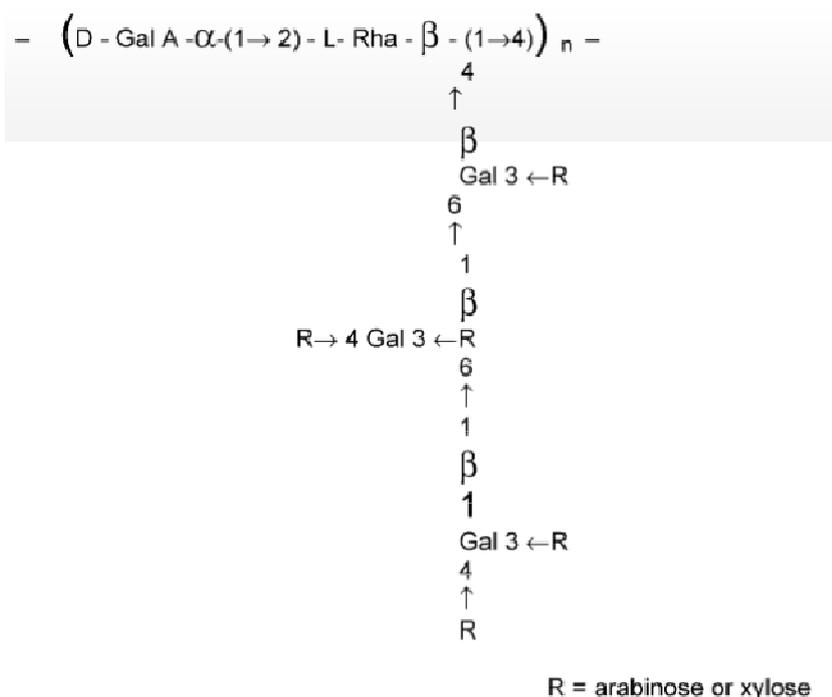


Figure I.9 : Représentation montrant la structure chimique des polymères constituant le mucilage [43]

9.4. Propriétés du mucilage:

Les propriétés physico-chimiques des mucilages (GE et NE) ont été largement étudiées dans le seul but de trouver une application adéquate à ces produits qui représentent des avantages très séduisants en terme de coût, disponibilité et biodégradabilité.

La plupart des utilisations sont dans le domaine agroalimentaire, ils utilisent le mucilage comme source de pectine. Ce polysaccharide présente des propriétés gélifiantes importantes notamment en présence de Ca^{2+} , il est utilisé également dans le domaine de traitement des eaux, le mucilage possède des propriétés floculantes remarquables, ainsi que l'adsorption des métaux lourds.

Dans pratiquement toute les applications, le mucilage est utilisé en milieu aqueux, d'où la nécessité de bien connaître son comportement dans l'eau, pour cela une étude rhéologique est jugée primordiale.

9.4.1. La rhéologie du mucilage:

La texture visqueuse du mucilage de cactus a suscité plusieurs investigations concernant ses propriétés rhéologiques. Il faut noter que les travaux précédents n'ont pas procédé à une rigoureuse co-extraction, c'est à dire, ils n'ont pas distingué entre GE et NE, parce que la plupart des protocoles utilisent la macération des cladodes, et c'est difficile d'exclure les composants des parois cellulaires (pectine).

Cardenas a étudié la rhéologie du NE et a mis en évidence le comportement rheofluidifiant, la viscosité du NE diminue avec l'augmentation de la vitesse de cisaillement, du moment que la réponse rhéologique est similaire à un polymère qui adopte une conformation de pelote aléatoire, cela a donné aux chercheurs une idée sur la conformation du NE en milieu aqueux.

La variation du pH et la force ionique ont été le sujet de nombreux chercheurs. En effet, ils ont observé une diminution de la viscosité en augmentant la force ionique, et une augmentation de cette dernière en augmentant le pH, à partir de ces résultats ils ont déduits que le NE est chargé négativement, de plus ils ont expliqués l'augmentation de la viscosité proportionnellement avec le pH comme le résultat de la répulsion intermoléculaire.

Cette conclusion est d'un intérêt majeur puisque le pH et la force ionique sont des paramètres très variables dans les eaux.

Cadenas a extrait le GE pour étudier son mécanisme de gélification, après l'extraction le produit a été comparé avec la pectine de citrus par FTIR, ils ont trouvé une grande similitude, il ont observé à 85°C que le produit forme un réseau de gel lâche où Ca^{2+} est le cross linker, à des températures basses, le réseau de polymères est plus dense.

Les chercheurs ont proposé la conformation "egg-box" pour des hautes températures, CANDENAS a dit qu'à des hautes températures, le GE forme une association de type "egg-box" qui donne un aspect lâche au gel.

9.4.2. Complexation des métaux par le mucilage:

La pectine a été largement étudiée comme sorbant pour les métaux lourds, les sources de pectines les plus utilisées sont les écorces de citrus, sucre de betterave, l'alginate et même aussi la pectine industriellement fabriquée, du moment que la pectine de cactus porte une grande ressemblance avec les pectines de citrus elle a été testée pour l'adsorption des métaux lourds. Les adsorbats étudiés ont été beaucoup plus les cations métalliques divalents (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} and Sr^{2+}). Cette adsorption a un optimum en variant des paramètres tel que le pH et la force ionique. dans tous les cas la pectine a donné des résultats très convaincants en ce qui concerne la sorption ou l'adsorption des métaux lourds. L'équipe de recherche de Balari et Scheiwer ont pu mettre en évidence par spectroscopie (FTIR) une liaison entre les fonctions carboxyles et le Plomb Pb, Mata et Blasquez ont supposé qu'il y a eu un échange entre les métaux lourds divalents et les Ca^{2+} associés au groupement carboxyle.

9.4.3. La composition du mucilage:

9.4.3.1. Les glucides:

La détermination de la composition des sucres dans les différentes fractions est très importante, et cela pour distinguer entre les deux (GE et NE), ainsi que les différences dans le comportement de ces dernières vis à vis des particules en suspension ou bien des métaux lourds, afin d'essayer de comprendre le mécanisme avec lequel le mucilage réagit avec les particules en suspension pour provoquer la floculation ou bien avec les métaux lourds pour provoquer la complexation par exemple.

NE a un pourcentage élevé de sucres neutres comparant au GE, l'ose le plus abondant dans le NE est l'arabinose, tandis que pour GE c'est le glucose, il est remarquable que d'après la

littérature le sucre le plus abondant dans le mucilage est bien l'arabinose, du moment que c'est le saccharide le plus abondant dans la fraction NE.

Cardenas a publié en 2008 la composition de la pectine(GE), elle est constituée de 85,4% d'acide uronique, 7% de galactose, 6% d'arabinose, ainsi que d'une quantité minime de rhamnose et xylose. Il est publié dans la littérature que la quantité importante de l'acide uronique dans le GE est responsable de sa réactivité vis à vis de la gélification ou bien même pour la floculation.

On peut déduire que le NE est composé essentiellement de sucres neutres, tandis que le GE est composé essentiellement d'acide galacturonique (Tableau 1.4).

Tableau I.5 : Composition des deux fractions en sucres[43]

Sucres	(% en masse)	
	Gelling extract (GE)	Non-gelling extract (NE)
Glucose	9.89	1.03
Xylose	3.95	10.80
Galactose	7.35	14.66
Arabinose	8.90	24.38
Somme	30.10	50.86

Des études faites par Cardenas et al. ont indiqué que le poids moléculaire de ces polysaccharides est de $3 \cdot 10^6$. C'était plus faible que le résultat de Tranchenberg and mayer (1981) ou ils ont trouvé $4.3 \cdot 10^6$ et assez différent de ce qu'ont trouvé Medina-torres et al (2000) $2.3 \cdot 10^4$, la différence dans les techniques de purification et la contamination du mucilage par d'autres composés cellulaires peuvent expliquer ces résultats.

Majdoub et al (2001), ont pu identifier deux composés dans la partie soluble des cladodes de cactus pelé, la première possède un poids moléculaire élevé ($M_w = 13 \cdot 10^6$ Da) et la deuxième ($M_w = 3.9 \cdot 10^3$ Da), la fraction possédant un poids moléculaire élevé est composée

de polysaccharides pures, sans protéines. L'auteur a proposé que c'est un membre de la famille de la pectine, contenant une quantité de 20% de sucre chargé. Avec un potentiel d'interaction avec les ions divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+} , ...).

Des études menés par Matsuhiro et al (2001), où ils ont procédé à un dialyse du mucilage pour la purification, ont montré que le mucilage est composé d'au moins 5 fractions, le traitement avec le cetrimide a produit deux fractions caractérisées par chromatographie à exclusion (MEC), la fraction homogène qui a précipité avec cetrimide, contient 26% d'acide uronique, l'hydrolyse totale et les méthodes spectroscopiques ont indiqué que l'extrait n'est pas la pectine, la viscosité mesuré dans une solution de polysaccharides (0.45%) à différents pH avec Ca^{2+} et à différentes concentrations, ont montré la dépendance au pH et au Ca^{2+} .

9.4.3.2. Composition minérale du mucilage:

Des données qualitatives ont été obtenues par le LIBS (laser Induced Breakdown Spectroscopy) qui mets en évidence la composition minérale des deux fractions GE et NE, le pic maximal a été perçue pour le calcium (Ca) aussi bien pour le GE que pour le NE. le GE a donné des pics significants pour le sodium (Na) et magnésium (Mg), en ce qui concerne le NE, il a donné des pics pour le sodium (Na) et potassium (K). (figure 1.11).

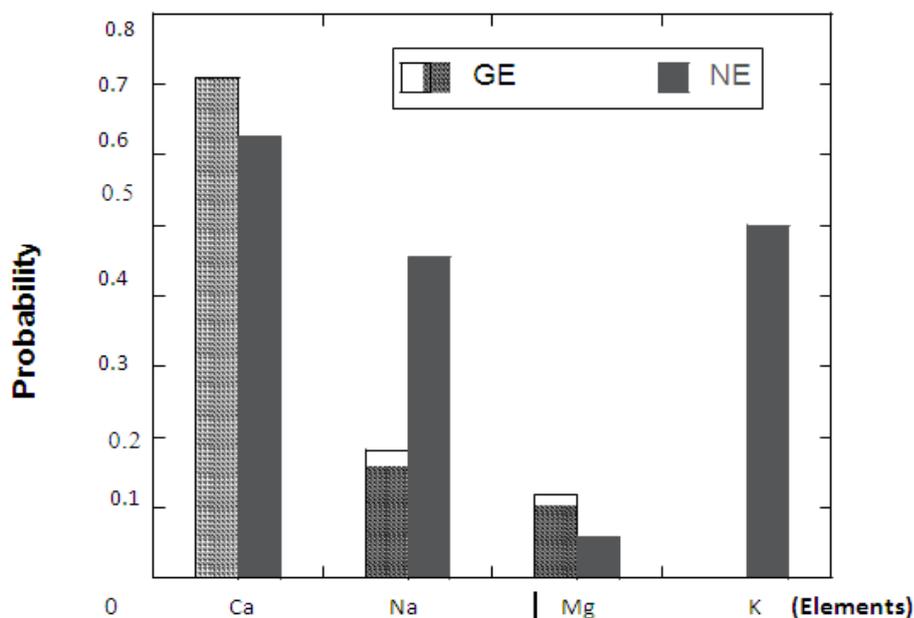


Figure I.11: Données qualitatives sur la composition minérales du mucilage

9.4.3.3. Morphologie :

Le GE et NE ont montré une différence remarquable lors de l'observation par le MET, le GE est apparu sous forme de réseau en ressemblant à une dentelle avec des séparations significatives telles que des espaces entre les peuplements de polymères, tandis que le NE possède un conditionnement plus dense avec des espaces plus étroits entre les peuplements de polymères ressemblants à un filet de pêche.

La structure sous forme de dentelle du GE peut s'expliquer par la conformation imposée par l'arrangement de répéter de monomères à savoir l'acide galacturonique, autres forces qui peuvent influencer cet architecture, sont les forces stériques entre peuplements de polymères, ainsi que les forces électrostatiques portées sur les polymères(pectine), cette structure peut être le résultat typique d'une structure de pectine en ayant une région linéaire et harmonieuse d'acide galacturonique qui constitue la chaîne principale du polymère(pectine), et des chaînes latérales qui se réfèrent à une région hérissée, composée essentiellement de saccharides neutres (rhamnose, xylose,...), ces branches peuvent jouer le rôle d'un obstacle et empêcher le rapprochement des peuplements de polymères, par contre l'aspect lisse non harmonieux appartenant au NE suggère un arrangement aléatoire des heteropolysaccharides. La figure ci dessous, nous illustre la structure des deux fractions du mucilage.

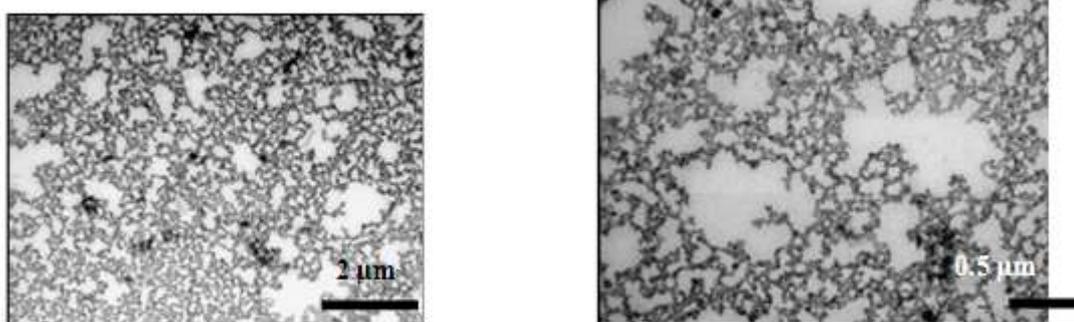


Figure I.12: image du GE par le MET avec un grossissement de 11kx (l) et 28kx (r) montrant un réseau dentelle avec des espaces remarquables entre les peuplements

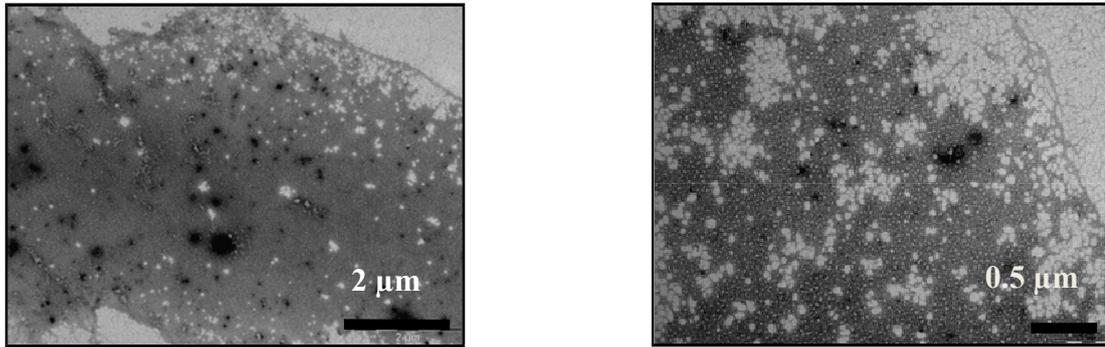


Figure I.13 : image du NE par le MET avec un grossissement de 11kx (l) et 28kx (r), montrant un réseau de polymère plus dense et plus lisse et non harmonieux [43]

9.4.4. Propriétés surfactants:

Le mucilage de cactus a montré des propriétés surfactants remarquables à travers sa capacité de baisser la tension interraciale de l'eau, une baisse de la tension interraciale a été noté avec l'augmentation de la concentration du mucilage, toutefois, pas de changement noté au dessous de 750 mg/l, le GE a réussie à baisser la tension interraciale jusqu'à un maximum de 30%, par contre le NE a atteins un maximum de 16% seulement. (Figure 1.14).

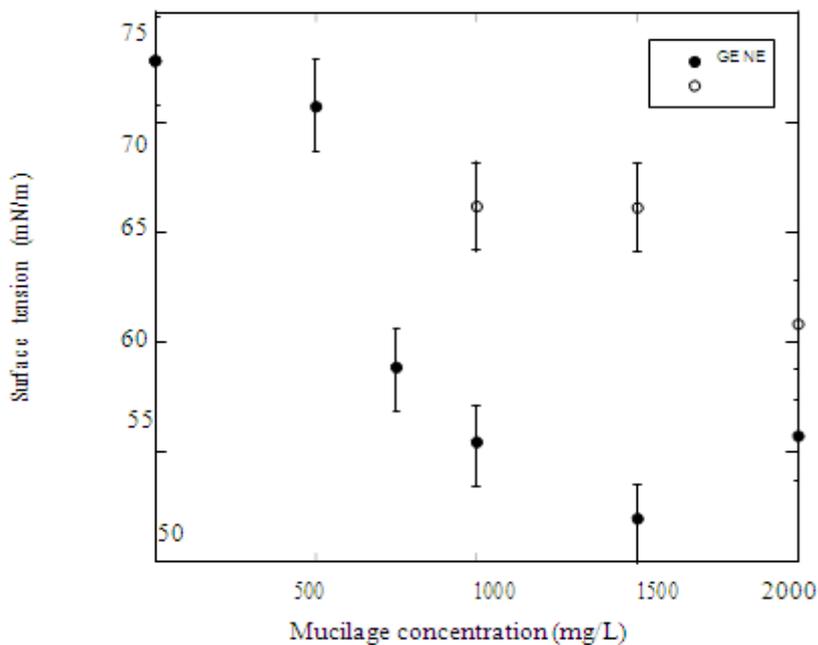


Figure I.14 : la tension interfaciale en fonction de la concentration du mucilage [43]

10.5. Extraction et purification:

Beaucoup d'auteurs ont publié des méthodes de purification et d'extraction du mucilage, la plupart d'entre eux homogénéisent les cladodes de cactus après ils ajoutent de l'éthanol pour sa précipitation,[44]. Nobel et al (1992) ont changé le solvant pour la précipitation, ils ont utilisé le 2-propanol, le résultat obtenue a montré qu'avec cette technique, au moins 93% du produit est le mucilage. Medina et torres (2000) ont modifié la méthode d'extraction rapporté par Mc Garvie et Parolis (1979); l'auteur a macéré les cladodes, puis centrifugé, décanté, et précipité par acétone, the produit est lavé par 2-propanol et ensuite séché.

Majdoub et al(2001), après leur obtention, les cladodes ont été macérées avec une eau dé-ionisée, après filtrées dans un dispositif sous vide, le filtrat a été lyophilisé ou filtré par ultrafiltration pour éliminer les sels et les composés de faible poids moléculaire.

Les auteurs ont fait une découverte intéressante qui montre la présence de protéines dans le premier produit, ils pourraient avoir des propriétés émulsifiantes, stabilisantes ou bien même floculantes.

D'autres méthodes d'extraction sont publiées, citons l'exemple de l'extraction par la méthode de (gyoocolea et cardenas, 2003). Les deux fractions précédemment évoquées (GE et NE), les cladodes ont été lavées et nettoyées, les épines ont été enlevées, puis pesées, les cladodes ont été coupées en petits dés puis chauffées à 80° pendant 20minutes dans une solution de NaCl 1% dans le but de désactiver les enzymes, après le refroidissement, les dés sont mixés et bien homogénéisés, après neutralisés avec de la soude NaOH, le mélange a été ensuite centrifugé pendant 10min pour séparer le liquide et le solide.

10.6. L'extraction du NE:

Une solution de NaCl a été ajoutée au surnageant puis filtrée, le NE a été obtenue en précipitant le filtrat par acétone (2/3), le précipitât a été rincé par l'éthanol, en fin le produit obtenue a été séché à l'air libre.

L'extraction du GE:

la méthode a été développée par Turquois et al (1999), elle est la suivante: Les résidus solides du cactus après centrifugation ont été mélangés avec le hexamphosphate de sodium $[(NaPO_3)_6]$ dans 50 mM de NaOH, le tout a été mélangé pendant 1h, après filtré sous vide, le filtrat contient du GE dissout, le pH du filtrat a été abaissé jusqu'à 2.0 , puis laissé pendant la nuit dans un réfrigérant à (5°), après le GE a été précipité par centrifugation, le solide a été resuspendue dans une eau de-ionisée pour ajuster le pH à 8 puis reprecipité.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II MATERIEL ET METHODES

1. Produits utilisés :

1.1. Les solutions utilisées:

1.1.1. Suspension de bentonite:

La bentonite est une argile dont le nom vient de Fort Benton aux Etats-Unis, elle peut être considérée comme une smectite, étant essentiellement type de phyllosilicate constituée de montmorillonite $(SiO_2)_m(Al_2O_3)_n(H_2O)_p$ 80%, et une argile ce qui explique sa capacité de rétention d'eau, on trouve également d'autres minéraux comme le quartz, le mica, le feldspath, la pyrite ou la calcite. Elle possède diverses propriétés: elle absorbe les protéines et réduit l'activité des enzymes. Les boues benthoniques (recélant une fraction de bentonite), sont utilisées dans les travaux de terrassement, de parois moulées, du fait de leur capacité à laisser la place rapidement et facilement aux bétons coulés, elles peuvent être ajoutées au compost

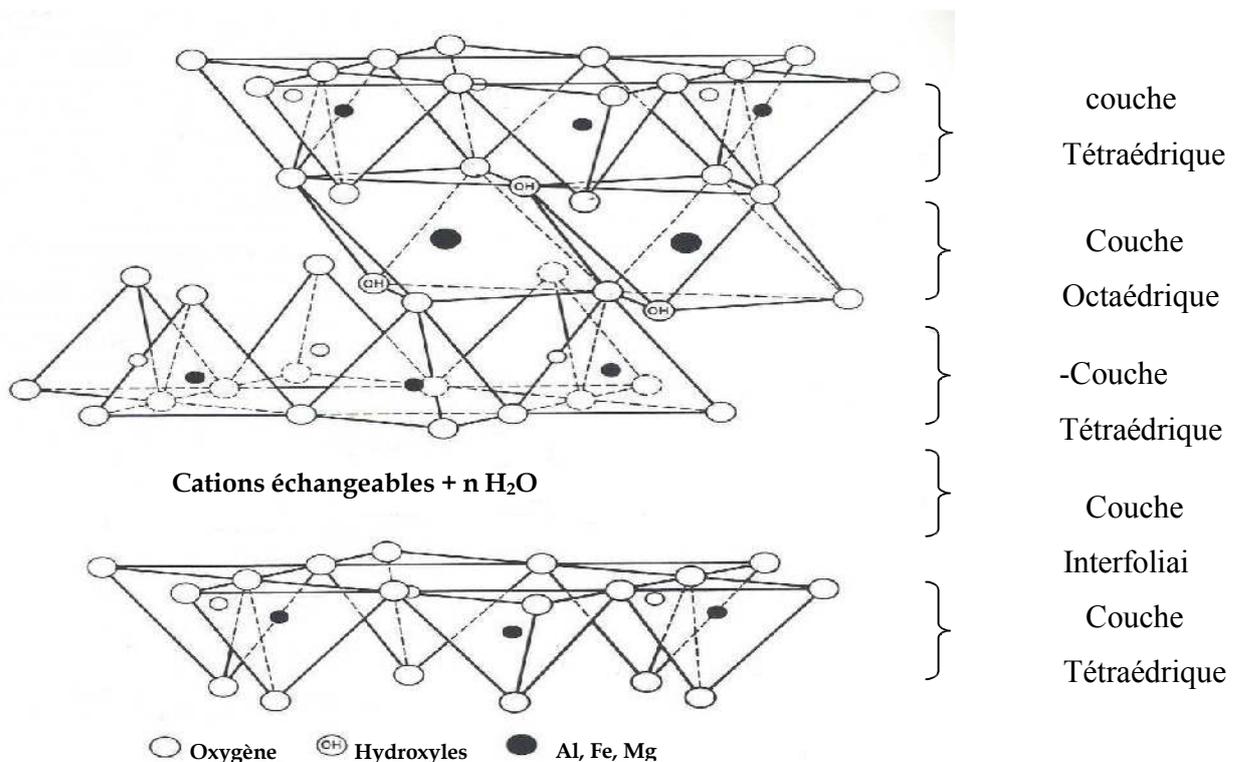


figure II.1: structure chimique de la bentonite

Pour faire une simulation d'une eau turbide, on a utilisé de la bentonite brute, ce type de minéral a une caractéristique qui est le gonflement en présence de l'eau. D'après la littérature, toutes les bentonites doivent être préalablement mises à gonfler dans l'eau. L'eau froide du robinet est suffisante. L'eau chaude à 50-60° C permet uniquement d'accélérer le gonflement. Le mode de mise en œuvre le plus simple et le plus rapide est de saupoudrer lentement la bentonite à la surface de l'eau agitée énergiquement avec une hélice rapide. Mouiller toute la poudre et bien résorber les grumeaux. Attendre 2 heures et effectuer une nouvelle agitation. La bentonite est alors prête à l'emploi. Pour une efficacité optimale laisser gonfler 12 heures (Martin vialatte eonologie).

Notre méthode est similaire à celle de la littérature, on a ramené un fut en acier de 120l on l'a remplis d'eau du robinet, ensuite on a saupoudré de la bentonite brute, et on a agité.

1.1.2. Solution d'acides humiques:

Dans les eaux brutes, notamment les eaux de surfaces (barrages, fleuves....), on retrouve toute une panoplie de substances minérales et organiques (précédemment évoqué en partie bibliographique). Pour que notre eau synthétique représente une bonne similitude avec les eaux brute, il fallait lui ajouter une fraction organique, dans notre travail on a utilisé l'acide Humique qui était obtenue de la part de BIOCHEM.

a. Caractéristiques des substances humiques:

Les caractéristiques telles que la couleur, le poids moléculaire, sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau II.1. Caractéristiques des acides humiques

	Acides humiques
Couleur	Brun
Degré de polymérisation	Elevé
Poids moléculaire (Da)	300 000
Carbone	62 %
Oxygène	30 %
Acidité échangeable	< 500
Degré de solubilité	Faible

b. Structure des acides humiques:

La structure des substances humiques reste mal définie et il est difficile de la représenter par une formule moléculaire. La synthèse des substances humiques aboutit à la formation de molécules de tailles, de composition et de configuration différentes. Au regard de la complexité et de l'hétérogénéité du mélange humique, il est difficile d'extraire une fraction pure et la détermination de sa structure s'avère peu réalisable.

Plusieurs modèles ont été proposés ne présentant en général que des séquences de structure humique. Ils tiennent compte de la nature aromatique et phénolique des molécules et de la présence de groupements carboxyliques, quinones et de dérivés aminés peptidiques. Parmi ces modèles, on trouve le modèle présenté par Stevenson .

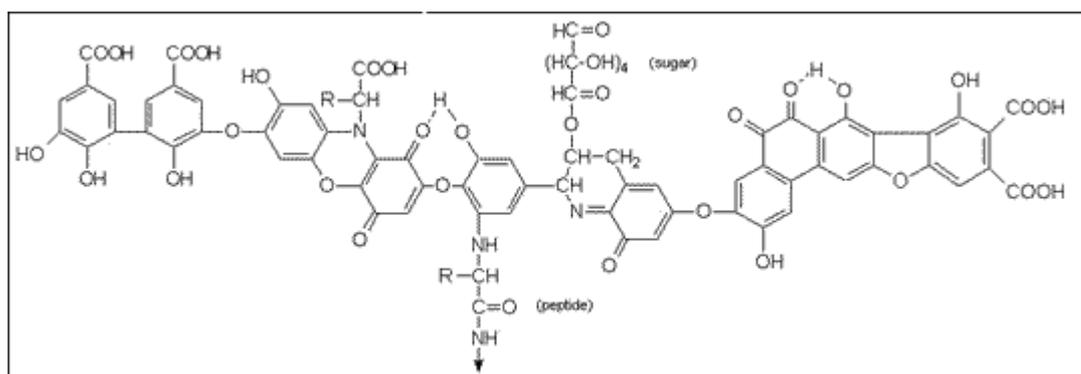


Figure II.2 : Représentation schématique de l'acide humique selon Stevenson

Un autre modèle a été développé par Andreux qui est le suivant :

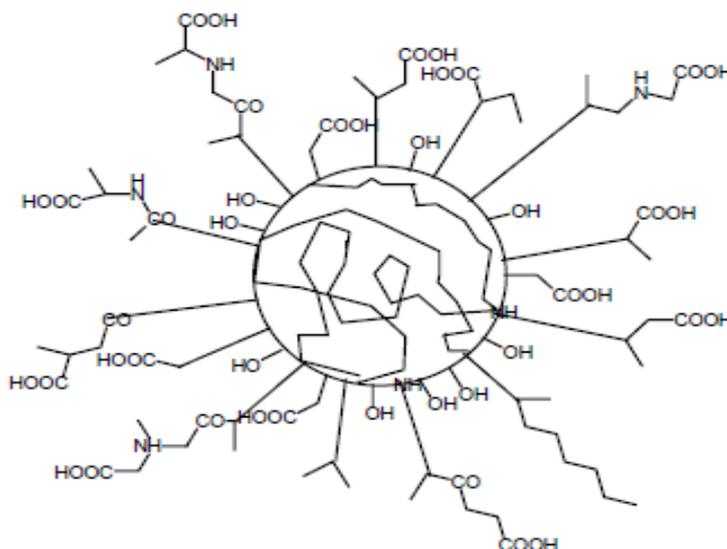


Figure II.3. : Représentation schématique de l'acide humique selon Andreux

- **Préparation de la solution d'Acides Humiques (1g/l):**

La solution est obtenue en dissolvant 1 gramme d'acide humique dans 62.5 ml d'une solution de NaOH à 2N , et complété avec de l'eau distillé jusqu'à 1 litre, cette solution est agitée pendant 24h et conservée à l'abri de la lumière à 4°C.

1.1.3. Solution de HCl à 0.1M :

La solution a été préparée à partir d'une solution d'HCl 37% fournit par SIGMA-ALDRICH, en mettant 8.3ml de ce dernier dans une fiole de 1l, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au traie de jauge. cette solution est utilisée pour réguler le pH des échantillons (pH 5, 6,7).

1.1.4. Solution de NaOH à 0.1M:

La solution a été préparée en solubilisant 4g de NaOH dans 1l d'eau distillée, le produit est fournit par SIGMA-ALDRICH. cette solution est utilisée pour réguler le pH des échantillons (pH 9, 10).

1.1.5. Solution de sulfate d'Aluminium($Al_2(SO_4)_2$) à 2g/l:

La solution a été préparée en solubilisant 500 mg de ($Al_2(SO_4)_2$) dans 250 ml d'eau distillée, le produit a été fournit par FLUKA , cette solution a été utilisée pour faire la

comparaison avec notre bio flocculant, du moment que l'objectif de ce travail est de trouver une alternative aux sels métalliques notamment le sulfate d'Aluminium.

1.2. Le bio-flocculant:

Le flocculant utilisé est un gel extrait des cladodes de cactus, qu'on a appelé "le gel de cactus". Les produits issus de cette plante destinée aux traitements des eaux sont multiples, citons l'exemple du mucilage de cactus dont la composition chimique est principalement constituée de polysaccharides de fractions différentes avec différentes méthodes d'extraction, (précédemment évoquées dans la synthèse bibliographique). Aussi il y a le jus de cactus qui est produit par homogénéisation de la cladode, ou encore la poudre de cactus qui est obtenue par différentes méthodes de séchage (60°, 80°, 100°, à l'air libre...), notre produit est obtenu à partir d'une nouvelle méthode très simple qu'on va aborder dans la partie "méthodes".

Les cladodes (raquettes) de cactus ou d'Opuntia ficus-indica, proviennent de la région de Blida(Algérie) plus précisément à Soumaa . La température moyenne de cette zone est de 22 à 24°C. Les mois les plus chauds atteignent 26 à 33°C, et les plus froids, 0 à 7°C. La pluviométrie moyenne est de 500 mm. Les prélèvements des cladodes ont été réalisés durant le mois de Mai.

2. Matériels et paramètres d'analyses:

2.1. Le jar test :

Le Jar test est un appareil qui permet de déterminer la concentration optimale du coagulant ou du flocculant. C'est probablement le test le plus couramment réalisé en traitement des eaux et épuration des eaux usées, le mode opératoire qu'on a employé est le suivant:

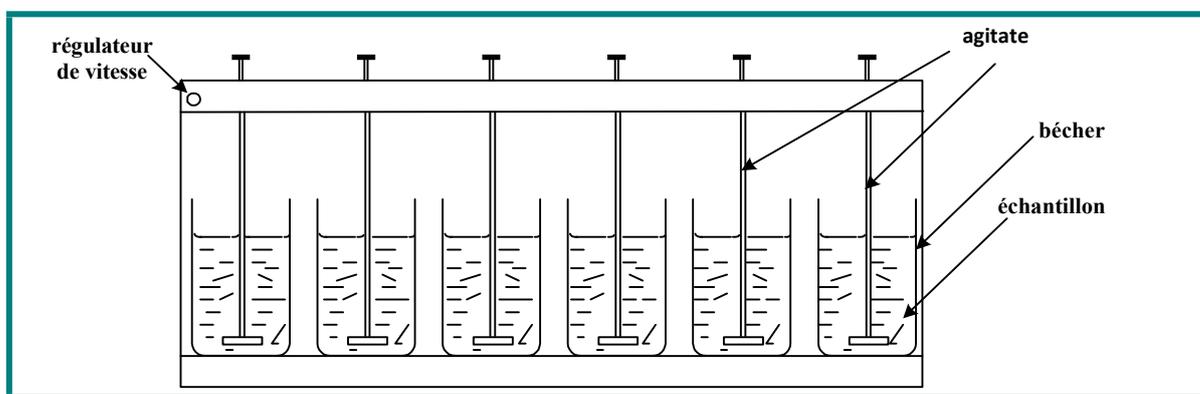


figure II.4: figure montrant le jar test

- 1) Remplir les 6 béchers de 1l avec de l'eau à traiter (eau turbide) en prenant soin d'effectuer de prélèvements homogènes,
- 2) Ajuster le pH (si on veut faire des essais à pH acides ou basiques). Mesurer le $pH_{initial}$, la turbidité initiale, la conductivité initiale. Placer les béchers sur le jar test et abaisser les hélices dans l'eau.
- 3) Allumer l'appareil et procéder à sa programmation afin de réaliser deux vitesses d'agitations différentes et successives, à savoir la vitesse de coagulation qui est de 140 tr/min pendant 1-2minutes et la vitesse de floculation qui est de 40 tr/min pendant 15-20minutes, ou bien régler la vitesse manuellement .
- 4) Au temps 0, appuyer sur le bouton de démarrage puis ajouter le floculant le plus rapidement possible avec une pipette, de façon identique dans chaque bécher. Les doses sont croissantes de façon à "encadrer" la dose optimale présumée.
- 5) Si l'appareil n'est pas programmé automatiquement, noter un temps de 1-2 minutes d'agitation rapide(140tr/min), puis réduire la vitesse de façon à obtenir 40tr/min pendant 15-20minutes.
- 6) Au moment de la floculation (15-20min), on évalue la qualité de la floculation en observant chaque bécher (taille des floes, vitesse de sédimentation).
- 7) Après la phase de floculation, on relève lentement les hélices une à une pour laisser les floes décanter.
- 8) Attendre 30 minutes de décantation.
- 9) Prélever par pipette à 1 cm de la surface de l'eau dans chaque béchers. On effectuera les mesures suivantes sur les échantillons prélevés:
 - Turbidité finale.
 - pH finale.
 - Conductivité finale.

2.2. Turbidité :

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argile, organismes microscopiques).

Le modèle HI 93703, qu'on a utilisé fait passer un faisceau de lumière infrarouge à travers une cuvette contenant l'échantillon à tester. La source de lumière est une DEL à infrarouge à luminescence élevée. Un détecteur positionné à un angle de 90°, par rapport au sens de la

source de lumière, détecte la quantité de lumière diffusée par les particules non dissoutes présentes dans l'échantillon. Un microprocesseur convertit les lectures en valeurs NTU.

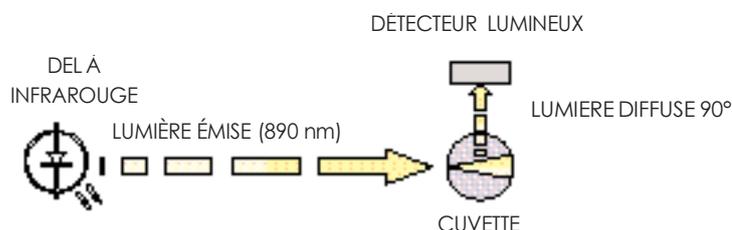


Figure II.5 : Principe de fonctionnement du turbidimètre HI93703

2.3. Le pH:

Le pH (potentiel hydrogène) mesure de l'activité chimique des ions H⁺ de l'eau, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, ainsi, chaque type d'eau est caractérisé par une plage de pH bien définie. On a utilisé un multi paramètre de marque CRISON qui mesure le pH, la conductivité, la température et le TDS (total des solides dissouts).

2.4. Conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25 °C les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion.

On a mesuré la conductivité à l'aide du multi paramètre de marque CRISON

2.5. UV-Visible:

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée suivant la loi de Beer-Lambert.

On a utilisé un appareil de marque Shimadzu UV-1601 pour mesurer l'absorbance à 254 nm qui est spécifique à la matière organique, plus précisément les acides humiques.

2.6. Spectroscopie à flamme:

La photométrie de flamme repose sur le fait que certains composés chimiques peuvent être dissociés thermiquement dans une flamme et que les atomes produits sont, pour un certain nombre d'entre eux, excités à des niveaux d'énergie élevés. Le retour à l'état fondamental se fait avec des émissions de rayonnements et l'intensité de la lumière émise est proportionnelle au nombre d'atomes revenant à l'état fondamental.

Dans notre étude, on a utilisé un appareil de marque Jenway PFP7, juste pour détecter la présence ou pas de certains cations (Ca^{2+} , K^+ , Na^+).

3. Méthodes d'extractions:

Trois produits ont été extraits des cladodes de cactus avec différentes méthodes d'extractions, chaque produit a été extrait par un des membres de l'équipe dirigé par Pr. AOUABED au niveau du laboratoire d'Analyses fonctionnelles des procédés chimiques, Université de Blida. Le premier produit est une poudre qu'on a appelé poudre de cactus, obtenue par homogénéisation ensuite une lyophilisation, les deux autres produits sont des gels qu'on a appelé gel de cactus, la différence entre ces deux derniers est la méthode d'extraction. Le premier est extrait par macération à chaud (100°C), le deuxième est extrait par macération à température ambiante ($15-20^\circ\text{C}$) et suivi d'un pressage, ce deuxième extrait est le produit utilisé dans ce travail.

3.1. Poudre de cactus:

Le travail a été réalisé par un des membres de l'équipe. La poudre a été obtenue à partir de cladodes de cactus qui ont été cueillies dans la région de Soumaa, Blida.

Après lavage et rinçage, les cladodes sont débarrassées de leurs épines, puis coupées en petits dés d'une dimension de 1cm. Les cladodes ont été pesées, puis homogénéisées par un mixeur pendant 20minutes jusqu'à l'obtention d'un produit homogène qu'on appelle le jus de cactus. Le jus obtenu est filtré à l'aide d'une passoire pour enlever tout les débris, après l'obtention d'un jus homogène, il a été lyophilisé pour obtenir de la poudre de cactus. le produit final a été conservé dans un réfrigérateur à 4°C à l'abri de l'humidité (figure 2.8)



Figure II.10: Poudre de cactus obtenue après lyophilisation

3.2. Le gel de cactus obtenu par macération à chaud:

Ce travail a été réalisé par un autre membre de l'équipe, le gel a été obtenu par la méthode suivante:

Les cladodes ont été cueillies dans la région de Soumaa Blida, rincées, les épines ont été enlevées, la partie supérieure rigide de la cladode a été enlevée, la partie intérieure a été coupée en petits dés d'une dimension de 1cm. 500g de cladodes, sont introduits dans un cristallisateur, avec 200 ml d'eau distillée. Le cristallisateur (500g de cladodes coupé+200ml d'eau distillée) a été mis à l'étuve à 100°C pour une macération pendant 2-3h, après cette période, on obtient un gel extrait des cladodes, ce produit de la première macération est transvasé dans une fiole de 1l.

On ajoute 200ml d'eau distillée dans le même cristallisateur pour une deuxième macération, dans les mêmes conditions (100°C pendant 2-3h), l'opération est répétée 5 à 6 fois jusqu'à

l'obtention d'un gel moins visqueux, le produit récupéré est ensuite conservé au réfrigérateur.

3.3. Le gel de cactus obtenu par macération à froid:

Les cladodes ont été obtenues de la région de Soumaa Blida, rincées, les épines ont été enlevées, la partie supérieure rigide de la cladode a été enlevée, la partie intérieure a été coupée plus finement en dés de 0.5 cm. Les cladodes sont introduites dans un erlenmeyer de 250ml avec 20ml d'eau distillée. L'erlenmeyer est placé dans un agitateur secoueur pendant 3 -5 minute afin d'extraire le gel. Le gel est récupéré dans un autre erlenmeyer à l'aide d'un entonnoir Buchner, le gel passe à travers l'entonnoir, quand il arrête de couler, une pression mécanique est exercée au dessus des petits morceaux de cladodes pour bien extraire le gel. Quand tout le gel est extrait, les petits morceaux de cladodes sont remis dans un erlenmeyer avec 20ml d'eau distillée pour subir une deuxième macération. la même opération est répétée 4-5 fois jusqu'à ce que le gel devienne moins visqueux. A la fin, le gel est récupéré et conservé au réfrigérateur.

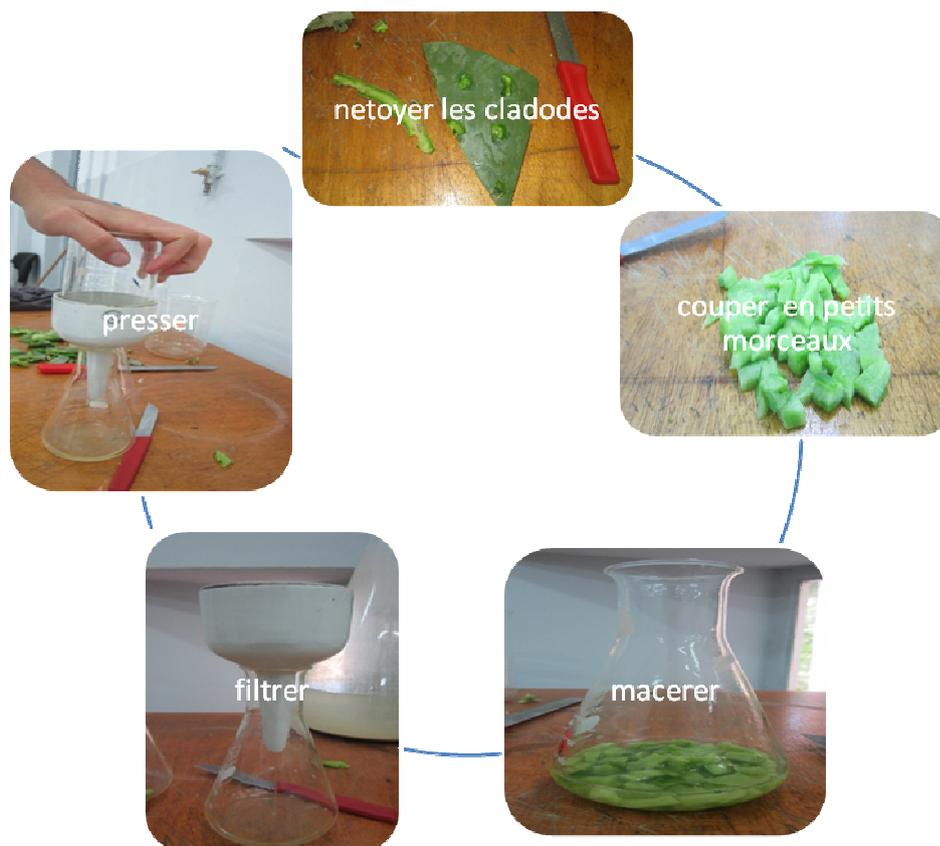


Figure II.11: Résumé de la méthode d'extraction du gel

4. Essais de coagulation floculation:

Afin de déterminer l'efficacité de notre bio-floculant à clarifier les eaux turbides, nous avons procédé à une série de tests, en faisant varier plusieurs paramètres (pH, turbidité, composition de la suspension), dans le but de définir les domaines de validité, ainsi que les conditions optimales de notre bio-floculant, en mesurant la turbidité, le pH, la conductivité initiale et finale ainsi que la densité optique à 254nm qui est spécifique à la matière organique.

Les résultats du gel de cactus seront comparés aux sulfates d'aluminium, à forte et faible turbidité.

4.1. Caractéristiques du gel:

4.1.1. le pH:

Le pH du gel est égale à 4. Cette valeur peut être expliquée par la présence de groupements fonctionnels responsables de l'acidité du milieu, tels que les fonctions carboxyles (le COOH) présentes dans la pectine.

4.1.2. La conductivité :

La conductivité du gel est égale à 2ms/cm, cette valeur montre que le gel contient une quantité importante d'ions.

4.1.3. La densité :

La densité du gel de cactus est égale à 1108g/l.

4.1.4. Le taux d'humidité:

On a utilisé 150 ml d'eau distillée pour l'extraction. A la fin on a obtenue un volume de 300ml (incluant l'eau distillé), ce qui signifie que le pourcentage massique du gel est à 54.5% .

On a introduits 20.16g de gel de cactus (37g du mélange eau+gel) dans une étuve à 90°C pendant 24h. On a pesé après séchage et on a trouvé 400mg de matière sèche. ce qui donne un taux de matière sèche de 1,98% . Donc un taux d'humidité de 98%.

4.2. Analyse qualitative des sels (Ca^{2+} , Na^+ , K^+) :

On a fait passer le gel de cactus à travers le spectrophotomètre à flamme. Il nous a donné une valeur de transmittance pour le sodium(Na^+) , ainsi que pour le potassium(K^+), mais une transmittance nulle pour le calcium(Ca^{2+}). D'après ce résultat on note la présence du Na et du K et l'absence du calcium, ceci exclue l'hypothèse qui dit que le gel est formé par complexation du calcium et les groupement COOH de l'acide galacturonique sous forme de "boite d'œufs" .

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Les résultats des essais jar test :

1.1. Variation de la concentration a fortes turbidité (120NTU) :

Le premier essai consiste à varier la concentration du gel de cactus à des pH différents, on a choisi 8 valeurs de concentration, en allant de 0.04ml de gel dans 1 litre d'eau à traiter à 1ml/l, à savoir: (0.04; 0.08; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 et 1ml/l), ce choix a été fait par la suite d'un balayage de concentrations de 0.02ml/l à 3.5ml/l, et on a trouvé que cette plage de concentration est la meilleure pour notre gel. Notant que pour ce premier test on a utilisé une turbidité plus au moins élevée qui est de 120NTU.

On a voulu modifier le pH de l'eau à traiter, afin de déterminer la zone de pH pour laquelle notre gel présente une efficacité (pH optimal), et également avoir une idée sur la dépendance du gel vis-à-vis du pH, c'est à dire, est ce qu'il faut que le gel soit dans des conditions de pH bien précises (acide ou basique) pour qu'il soit efficace? Ces données sont d'une grande importance, elles peuvent servir d'indices pour comprendre le mécanisme d'action du gel (neutralisation de charge, adsorption, pontage).

on a choisi 6 valeurs de pH, à savoir: (5, 6, 7, 8, 9, 10), qui coïncident parfaitement avec les valeurs de pH retrouvées dans différents types d'eaux. Les résultats des analyses sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau III.1.: Les résultats des essais jar test avec le gel de cactus

PH \ [C] (ml/l)	0.04		0.08		0.1		0.2		0.4		0.6		0.8		1	
	T _i	T _f														
5	120	3,90	120	3,60	120	1,80	120	2,40	120	3,07	120	3,50	120	4,30	120	5,60
6	120	2,40	120	2,70	120	3,00	120	3,69	120	5,15	120	6,35	120	10,50	120	11,00
7	120	2,80	120	1,90	120	2,08	120	2,90	120	3,78	120	3,98	120	4,26	120	4,13
8	120	4,45	120	3,59	120	1,10	120	2,25	120	3,25	120	3,74	120	5,32	120	7,64
9	120	3,15	120	4,08	120	5,07	120	5,50	120	6,39	120	6,41	120	7,78	120	8,60
10	120	5,75	120	4,66	120	4,80	120	4,43	120	3,91	120	5,03	120	12,50	120	13,70

Tableau III.2.: Les taux de réduction des essais jar test du gel de cactus

pH \ [C] (ml/l)	0.04	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	5	96,75	97,00	98,50	98,00	97,44	97,08	96,41
6	97,96	97,71	97,46	96,89	95,67	94,67	91,21	90,80
7	97,66	98,41	98,26	97,58	96,85	96,68	96,45	96,55
8	96,29	97,00	99,08	98,12	97,29	96,88	95,56	93,63
9	97,37	96,60	95,77	95,41	94,67	94,65	93,51	92,83
10	95,20	96,11	96,00	96,30	96,74	95,80	89,58	88,58

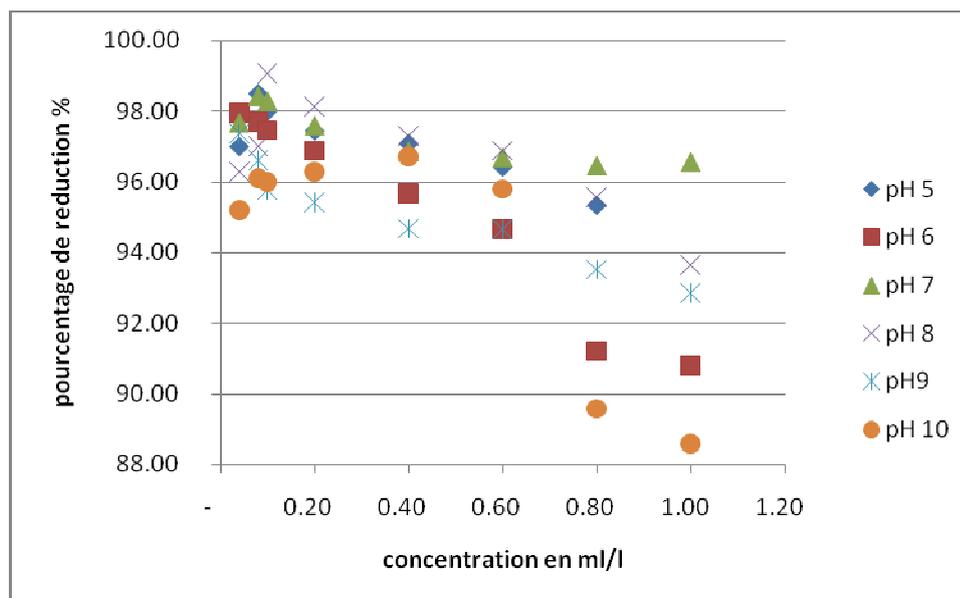


Figure III.1 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel (120NTU)

- **Interprétation:**

Les résultats obtenus lors des variations des concentrations du gel à différents pH donnent des courbes sous forme de cloche, quelque soit la valeur du pH (figure III.1). On remarque que toutes les courbes présentent une valeur maximale à une concentration de 0.1ml/l avec des pourcentages de réduction 97%. A pH 6 l'optimum a été obtenu à une concentration moindre de 0,04ml/l, avec des pourcentages de réduction égales à 97%. On remarque que notre gel présente un taux de réduction important souvent supérieur à 96% quelque soit le pH. La valeur la plus élevée a été obtenue à pH 8 avec un taux de réduction de 99,08%. On remarque qu'au delà du pH 9, les taux de réductions diminuent d'une façon significative. Les valeurs les plus faibles ont été obtenues à pH 10 avec un minimal de 88,58%.

Il est important de noter que l'ajout d'une dose très petite du gel à savoir 0.02ml a provoqué une diminution importante de la turbidité de 120 à 2,4 NTU (un taux de réduction de 97,96%) à un pH=6, pour les autres pH (5,7,8,9,10), on remarque un taux de réduction qui varie de 95,20% à 97,96%.

on a remarqué que la turbidité diminue de 120 à 1,1 NTU à une concentration de 0,1 ml/l du gel de cactus, avec un taux de réduction égale à 99,08%. Cette valeur représente la concentration optimale de notre gel à pH de 8.

Au delà de 0.1ml/l, on remarque une baisse du taux de réduction surtout à des pH basiques (pH 9 et 10), où on remarque une baisse sensible par rapport aux autres pH. On comprends de cela qu'au delà de l'optimum, on assiste à un surdosage en gel ce qui provoque peut être une restabilisation des particules colloïdales du fait de l'augmentation du rapport polymère/particule.

On a remarqué aussi que le gel de cactus forme des floccs collants à des pH basiques, qui grandissent au fur et à mesure de la floculation pour donner un agglomérat sous forme de pelote d'une taille de l'ordre de quelques centimètres . Tandis qu'à des pH acides, les floccs ne sont pas aussi collants, ils sont plus petits mais visibles à l'œil nu.

(Figure III.2 et Figure III.3)



Figure III.2 : structure des floccs à pH 9



Figure III.3 : structure des floccs à pH 6

1.2. Variation de concentration à faible turbidité :

Cet essai consiste à faire varier la concentration du gel de cactus en fonction du taux de réduction à pH=8 (le pH optimum) mais à des faibles turbidités. On a procédé à deux essais (turbidité initiale=30NTU, turbidité initiale=15NTU). Les 2 valeurs de turbidité ont été choisies parce qu'elles correspondent parfaitement avec les turbidités rencontrées dans les eaux de surfaces.

1.2.1. Turbidité initiale 30NTU:

Le premier essai a été réalisé avec une turbidité initiale de 30NTU, les concentrations choisies sont (0.04; 0.08; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1 ml/l). La conductivité initiale est de 825 μ s/cm

Tableau III.3 : les résultats des essais jar test à 30NTU

[c](ml/l)	0.04	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6
T _f (NTU)	2,9	2,4	2,7	3,15	3,31	4,5
% R	90,33	92,05	91,04	89,50	88,96	85,04
pH _f	8,25	8,25	8,26	8,26	8,26	8,26
Cond _f (μ s/cm)	847	847	851	850	849	850

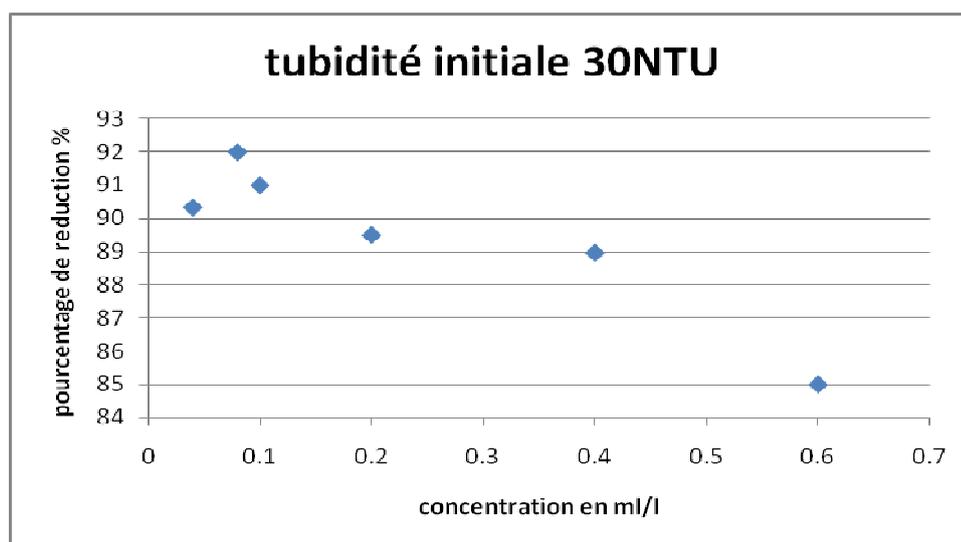


Figure III.4 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel (30 NTU)

1.2.2. Turbidité initiale 15NTU:

Le deuxième essai a été fait avec une turbidité initiale de 15NTU, c'est la valeur qu'on trouve dans la plupart des eaux de surfaces, les concentrations utilisées sont (0.02; 0.03; 0.04; 0.08; 0.1; 0.2), on a baissé un peu la plage de concentration du fait de faible turbidité de l'eau à traiter. La conductivité initiale est de 865 μ S/cm.

Tableau III.4 : les résultats des essais jar test à une turbidité 15NTU

[C] (ml/l)	0.02	0.03	0.04	0.08	0.1	0.2
T _f (NTU)	6,24	4,02	3,85	3,47	3,09	4,35
%R	58,4	73,2	74,33	76,86	79,4	71
pH _f	8,19	8,20	8,20	8,19	8,21	8,22
cond _f (μ S/cm)	878	879	880	879	880	880

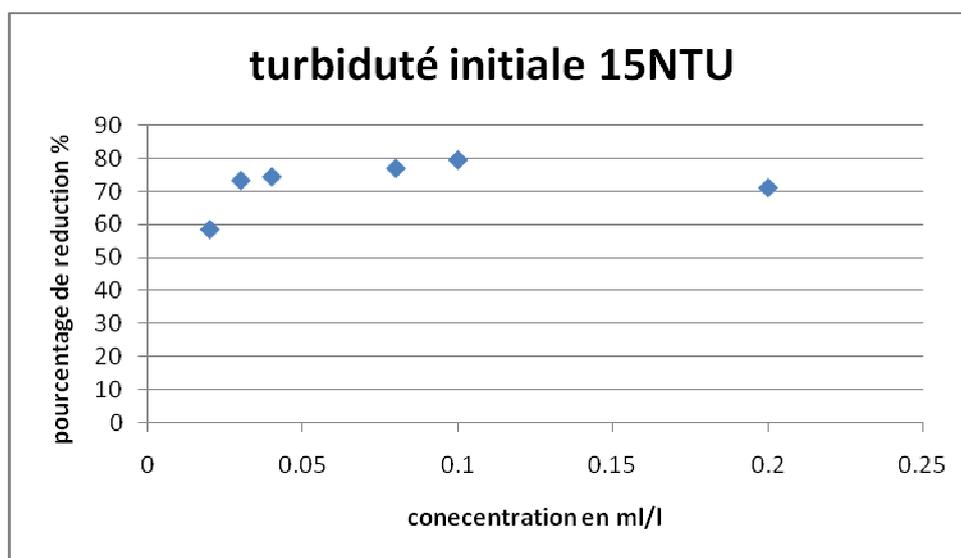


Figure III.5 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel (15 NTU)

- **Interprétation:**

Les résultats obtenues en variant les concentrations du gel à un pH de 8 (pH optimum), avec de faibles turbidités, donnent des courbes sous forme de cloches (figure III.5).

Pour la turbidité de 30NTU, on a marqué un taux de réduction maximal de 92,05%, avec une diminution de la turbidité jusqu'à 2,4NTU, qui correspond à une concentration en gel de cactus égale à 0.08ml/l. Cette valeur représente la concentration optimale en gel.

On remarque une diminution sensible dès qu'on dépasse la concentration optimale, pour atteindre un taux de réduction minimal de 85,04% à 0.6ml/l

Pour la turbidité de 15 NTU, on marque un taux de réduction maximal de 79,4% avec une diminution de la turbidité jusqu'à 3,09 NTU, qui correspond à une concentration de 0.1ml/l. Cette valeur représente la concentration optimale en gel.

On remarque aussi que la concentration optimale en gel de cactus est presque la même pour les trois valeurs de turbidité (120, 15, 10 NTU). Mais le taux de réduction est plus important pour les eaux à forte turbidité. Ce qui est logique parce que les turbidités les plus faibles sont les plus difficiles à flocculer.

A partir de ces résultats, on déduit que la concentration optimale n'est pas fonction de la turbidité. Donc le mécanisme n'est pas stœchiométrique. ce qui nous permet d'exclure le mécanisme de floculation par neutralisation de charge.

1.3. Variation de la concentration en présence d'acides humiques:

Dans cet essai, on a utilisé une solution d'acide humique comme solution à traiter, on a varié la concentration du gel de cactus en fonction du taux de réduction, les concentrations du gel sont les mêmes choisies précédemment (0.05; 0.15; 0.25; 0.35; 0.45ml/l), la concentration initiale en acide humique est de 10mg/l dans chaque bécher, le pH_{initial} des solutions à traiter est de 6.5.

Tableau III.5 : Résultat des essais jar test avec les acides humiques

	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45
pH _I	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
[c] (mg/l) AH résiduelle	9,13	9,32	9,68	9,72	9,98
% réduction AH	8,7	6,8	3,2	2,8	0,2

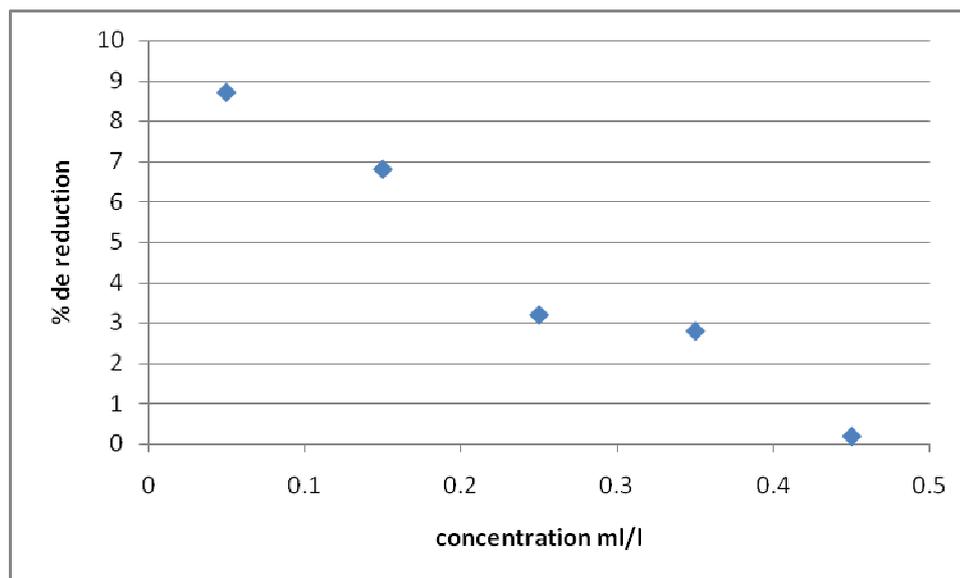


Figure III.6 : Représentation graphique du pourcentage de réduction des acides humiques en fonction de la concentration du gel .

Interprétation:

la représentation graphique du taux de réduction des acides humiques en fonction de la concentration en gel de cactus montre de faibles taux de réduction sur toutes les concentrations, la valeur la plus élevée a été de 8,7% qui correspond à une concentration en gel de 0,05ml/l. Puis les taux diminuent par l'augmentation de la concentration en gel.

On déduit de ces valeurs que le gel de cactus n'est pas efficace pour l'élimination des acides humiques. Cela est due peut être à la taille des acides humiques, ainsi que leurs charges de surfaces qui peut être de même signe que notre gel.

1.4. Variation de la concentration en présence d'acides (humiques+turbidité) :

Nous avons fait dans cet essai, un mélange d'une eau turbide d'une turbidité de 200NTU et l'acide humique à 10mg/l, à deux pH différents pH=6 et pH=9, les concentrations du gel choisis sont les mêmes.

- pH=9 :

**Tableau III.6 : résultats des essais jar test sur l'acide
humique+bentonite**

	0.05	0.08	0.1	0.12	0.15	0.2
PH _i	8,80	8,80	8,80	8,96	8,96	8,96
pH _f	8,49	8,49	8,49	8,59	8,60	8,46
cond _i (μ s/cm)	734	734	734	744	744	744
Cond _f (μ s/cm)	723	722	724	723	722	713
T _i (NTU)	211	211	211	211	211	211
T _f (NTU)	2,49	1,67	1,99	2,04	2,77	2,79
%R turbidité	98,81	99,20	99,05	99,03	98,68	98,67
DO _f	0,214	0,219	0,223	0,225	0,217	0,218
[C] (mg/l) AHrésiduelle	8,45	8,55	8,81	8,89	8,57	8,61
% Réduction AH	15,5	15	11,9	11,1	11,4	13,9

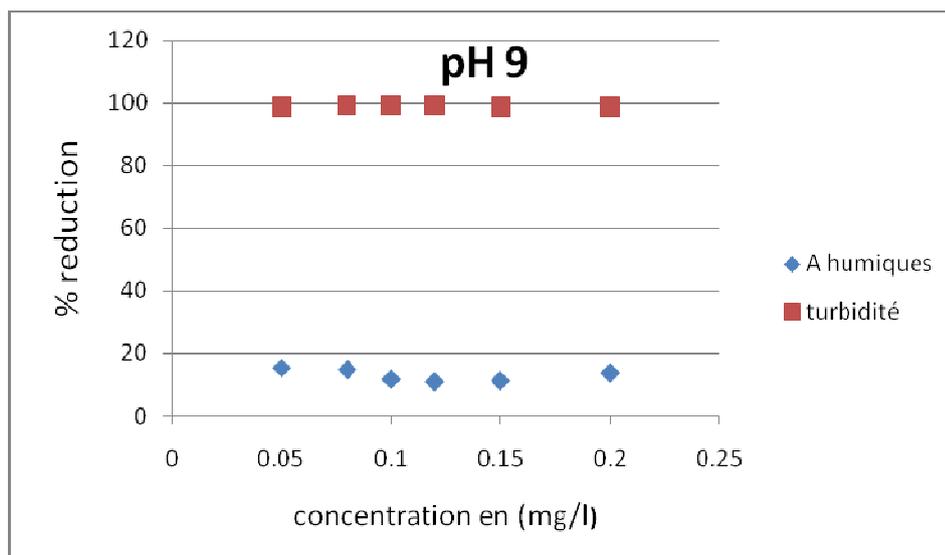


Figure III.7: Représentation graphique de la variation du % de réduction de l'acide humique et la turbidité en fonction de la concentration du gel de cactus

- **pH=6**

Tableau III.7 : Résultats des essais jar test sur l'acide humique+bentonite

	0,05	0,08	0,1	0,12	0,15	0,2
PH _i	6,5	6,56	6,65	6,56	6,56	6,56
pH _f	6,71	6,71	6,72	6,75	6,71	6,70
cond _i (µs/cm)	935	935	935	936	935	935
Cond _f (µs/cm)	958	962	959	959	958	964
T _i (NTU)	200	200	200	200	200	200
T _f (NTU)	2,24	1,76	1,87	1,93	2,33	3,91
% reduction	98,88	99,12	99,065	99,035	98,835	98,045
DO _f	0,24	0,224	0,231	0,237	0,221	0,234
[C] (mg/l) AHrésiduelle	9,48	8,85	9,13	9,36	8,98	9,24
% Réduction AH	5,2	11,5	8,7	6,4	10,2	7,6

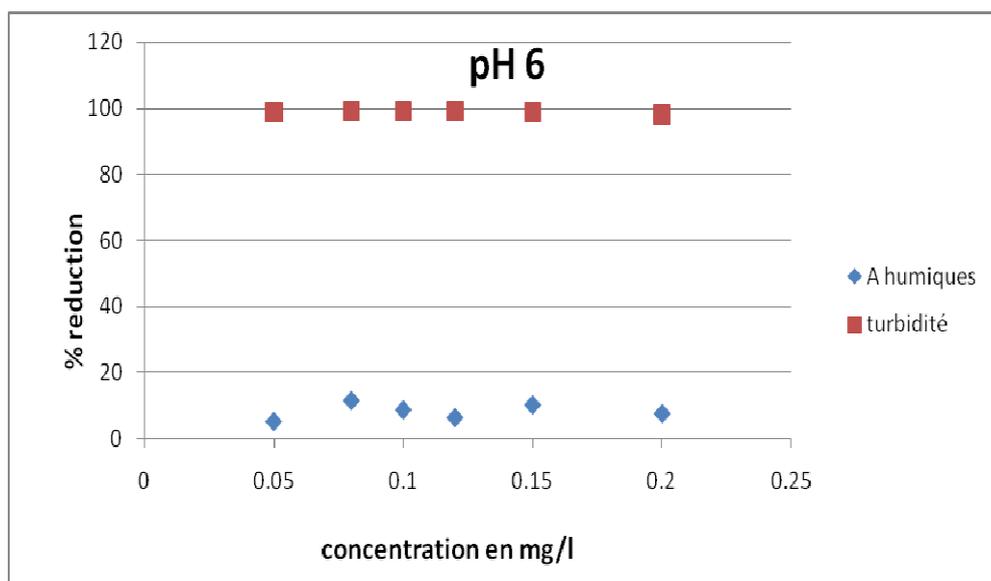


Figure III.8 : Représentation graphique de la variation du % de réduction de l'acide humique et la turbidité en fonction de la concentration du gel de cactus

- **Interprétation :**

La représentation graphique du taux de réduction des acides humiques à 10mg/l+turbidité 200 NTU, en fonction de la concentration en gel de cactus à pH 9, donne des faibles taux de réductions des acides humiques. Les pourcentages les plus élevés ont été de 15,5% et 15%, pour des concentrations de 0.05ml/l et 0.08ml/l respectivement. qui correspond au taux de réduction de la turbidité le plus élevé à savoir 99,20%.

Pour l'essai à pH6, on remarque également que le taux de réduction des acides humiques le plus élevé coïncide avec le taux de réduction de la turbidité le plus élevé.

On remarque que les pourcentages de réduction des acides humiques à pH6 sont plus faibles que les pourcentages à pH 9. Cette légère différence est due probablement à l'efficacité de notre gel à des pH plus au moins basiques. Ou bien à l'effet gluant des floes lors de la floculation à des pH basiques.

On déduit de ces résultats que notre gel n'est pas efficace vis-à-vis des acides humiques même à de fortes turbidités.

1.5. Variation de la concentration du sulfate d'Alumine:

Le but de cet essai est de faire une comparaison entre notre gel et le sulfate d'alumine, pour cela, on a procédé à deux tests [turbidité initiale=120NTU, turbidité initiale=15NTU],

1.5.1. Turbidité initiale de 120NTU:

les concentrations choisies sont(15, 25, 35, 50, 65, 90 mg/l), le pH choisis est pH=7.8 (le pH d'une suspension de bentonite):

Tableau III.8 : Résultats des essais jar test avec le sulfate d'alumine à une turbidité 120NTU

C (mg/l)	10	15	25	30	35	40
T_f(NTU)	2,91	1,32	0,95	1,5	2,23	4,18
pH_f	7.24	7.04	6.12	5.33	5.17	4.66
R%	97,228571	98,74285714	99,095238	98,571429	97,87619	96,019048

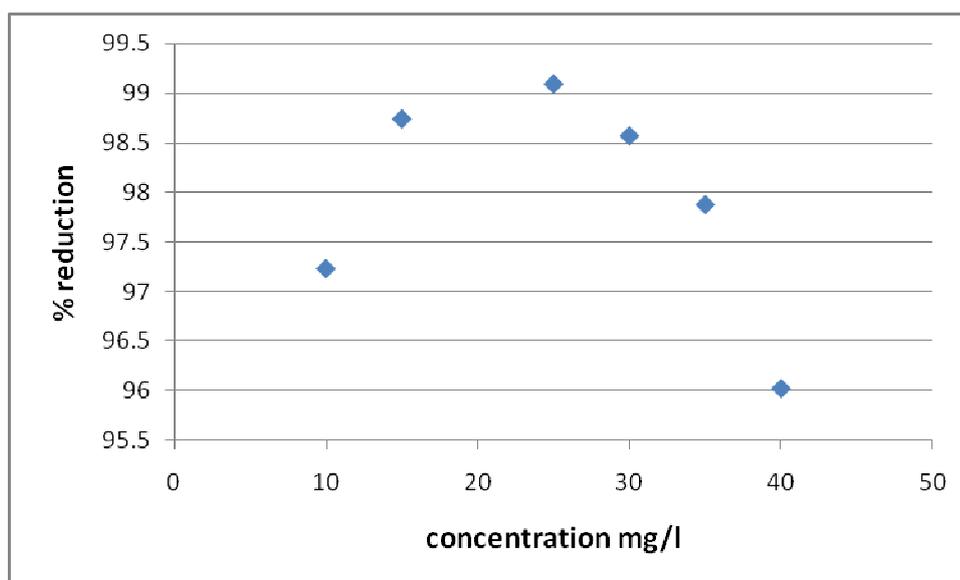


Figure III.9: Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'alumine (120NTU)

1.5.2. Turbidité initiale 15NTU:

Les concentrations choisies sont (0,7; 1,2; 1,9; 2,5; 3,5; 5,0; 6,5; 9,5mg/l), le pH choisie est pH=7.8 (le pH d'une suspension de bentonite):

Tableau III.9 : Résultats des essais jar test avec les sulfates d'alumine à 15NTU

C (mg/l)	0,7	1,2	1,9	2,5	3,5	5,0	6,5	9,5
T_f(NTU)	9.3	8.7	4.77	2.30	1.16	0.97	2.40	4.8
pH_f	6.59	6.30	5.66	5.29	5.10	5.01	4.92	4.88
R%	7	13	52,3	77	88,4	90,3	76	52

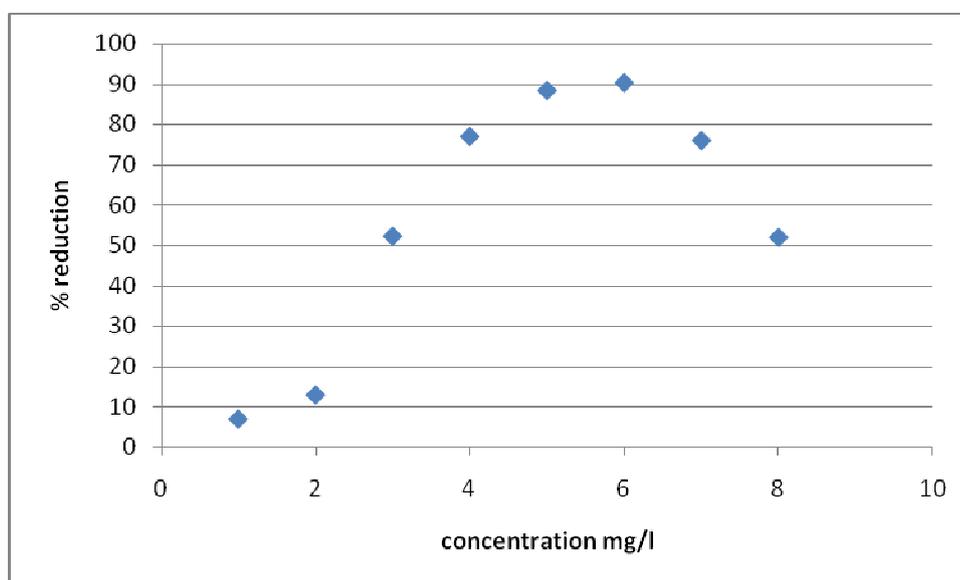


Figure III.10 : Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'alumine (15NTU)

- **Interprétation :**

La représentation du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'Aluminium, pour les deux turbidités est une courbe en forme de cloche.

Pour la turbidité de 120NTU, nous avons remarqué que le taux de réduction a atteint **99.38%** à une concentration de **25 mg** de coagulant. Cette valeur (25 mg/l) est la concentration optimale de ce coagulant.

Au-delà de 25 mg/l, on a remarqué que le taux de réduction diminue avec l'augmentation de la concentration en coagulant . On comprend de cela que le surdosage en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales.

Pour une turbidité de 15NTU, le taux de réduction a atteint une valeur maximale de **90.30%**, cette valeur correspond à une concentration optimale qui est de **5 mg/l**.

Nous remarquons que la quantité de coagulant utilisée pour une suspension de 15 NTU est plus faible que celle utilisée pour une turbidité de 120 NTU. Mais le taux d'abattement de la turbidité est plus important pour l'eau à grande turbidité.

1.6. Variation de concentration de la poudre de cactus et le gel de cactus:

Le but de cet essai est de faire une étude comparative entre les trois produits de cactus, la poudre de cactus, le gel de cactus extrait à chaud et le gel a froid.

1.6.1. Poudre de cactus:

Dans ce test, on a choisi des concentrations de 5; 10; 15; 20; 25; 30mg/l, à pH=8 , la turbidité a été fixée à 120NTU.

Tableau III.10 : résultats des essais de jar test avec la poudre de cactus

	5	10	15	20	25	30
T_f(NTU)	44,15	32,15	22,41	24,21	25,32	29,98
%Reduction de la turbidité	62.86	73,20	81,32	79,82	78,91	75,01
pH_f	7,81	7,81	7,82	7,8	7,82	7,82
Cond_i(μs/cm)	815	823	815	819	822	822
Cond_f(μs/cm)	832	834	832	832	834	834

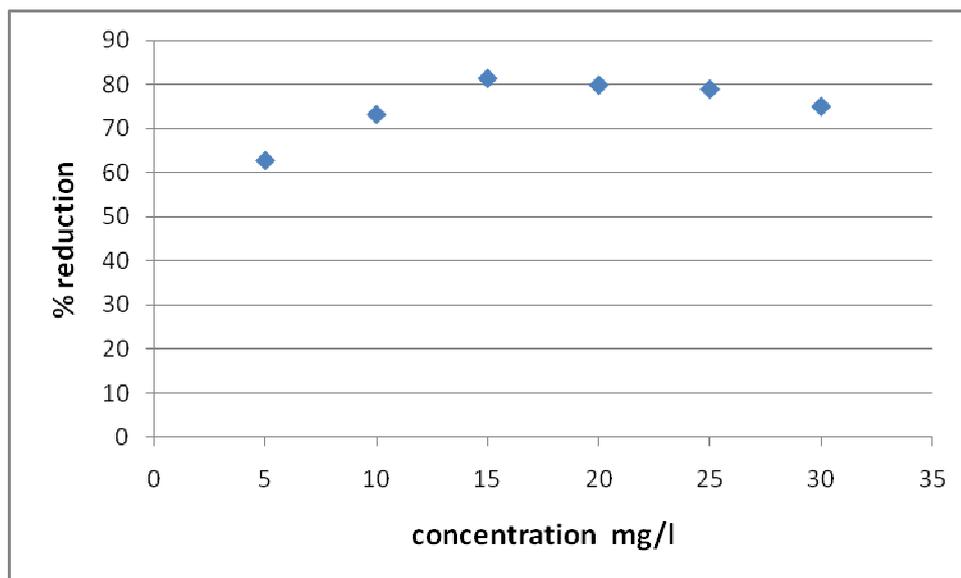


Figure III.11 : Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de la poudre de cactus.

- **Interprétation :**

La représentation du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration en poudre de cactus est une courbe en forme de cloche.

On a remarqué que le taux de réduction maximal a été de 81,32%, soit une turbidité résiduelle de 22,4NTU, qui correspond à une concentration en poudre de 15mg/l. ce résultat est assez appréciable. mais la poudre de cactus laisse une couleur verte dans l'eau traité, c'est la raison pour laquelle la turbidité finale reste plus au moins élevée(22,4 NTU).

la poudre de cactus peut être utilisé dans d'autres traitements tel que le conditionnement des boues ou l'adsorption

1.6.2. Gel de cactus :

Dans ce test, on a choisi des concentrations similaires à notre gel, (0.04; 0.08; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1), à pH=8, la turbidité a été fixée à 120NTU.

Tableau III.11 : Résultats des essais jar test avec le gel de cactus extrait à chaud

	0.025	0.05	0.08	0.1	0.15	0.2
PH _I	8,16	8,18	8,20	8,20	8,21	8,10
pH _f	8,17	8,20	8,22	8,22	8,22	8,22
cond _i (μ s/cm)	790	791	790	790	788	790
Cond _f (μ s/cm)	794	793	793	792	792	793
T _f (NTU)	14,1	3,83	0,67	1,83	2,15	3,33
% reduction	88,25	96,80	99,44	98,47	98,20	97,22

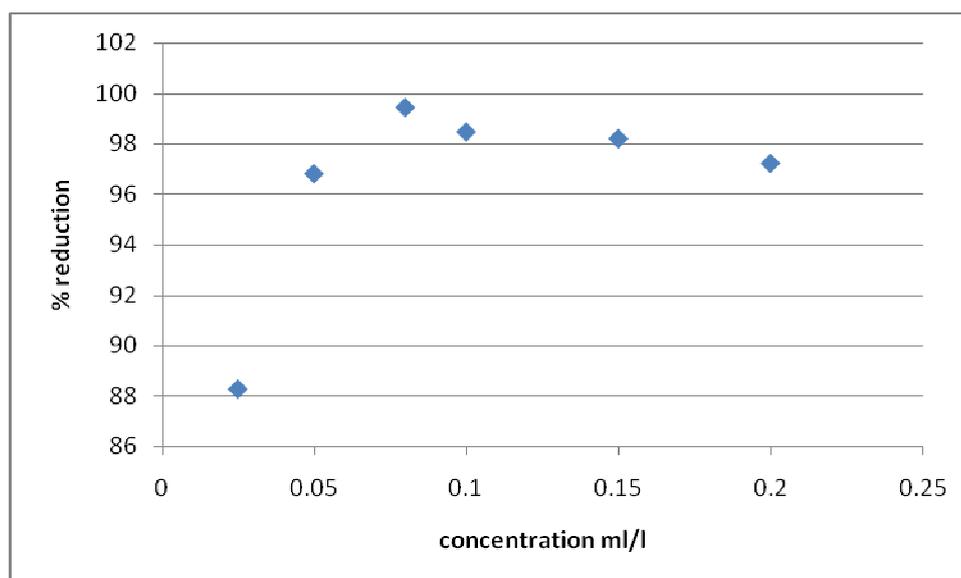


Figure III.12 : Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel de cactus extrait à chaud.

• **Interprétation:**

La représentation graphique du taux de réduction de la turbidité en fonction de la concentration en gel de cactus extrait à chaud est une courbe en forme de cloche.

On remarque que le gel extrait à chaud présente des taux de réductions supérieurs à 96% au delà d'une concentration de 0.05ml/l, et qui atteint un maximal de 99,40%, avec une turbidité résiduelle de 0.67 NTU, qui correspond à une concentration optimale de 0.08ml/l.

1.7. Effet de la dilution du gel sur l'efficacité de la floculation:

On a effectué un jar test avec une eau brute ayant une turbidité de 120NTU et un pH=8 (pH optimale). On a ajouté 0,1 ml de notre gel de cactus (concentration optimale) dans le premier béccher. Dans le deuxième béccher on a ajouté la même concentration mais dilué 10 fois pour connaitre les effet de la dilution

Tableau III.12 : Résultats des essais jar test montrant l'effet de la dilution sur le taux de réduction.

[C]	0,1ml/l	0,1ml/l(dilué 10 fois)
Ti	120	120
Tf	1,64	25,84
% de réduction	98,63	78,46

- **Interprétation:**

On remarque dans le tableau précédent, une différence importante dans le pourcentage de réduction entre le gel concentré et le gel dilué, bien que la quantité du gel ajouté dans les bécchers était la même (0.1ml).

La différence entre les deux gels (concentré et dilué) est la viscosité, en effet, le gel concentré présente une viscosité plus importante par rapport au gel dilué.

On déduit de cela que la viscosité agit sur l'efficacité de la floculation par formation de liaisons entre polymères qui agissent comme une seule et longue chaine. D'autant plus qu'on remarque dans la morphologie du gel une cohésion importante qui est due aux forces intermoléculaires des polymères constituants le gel.

2. discussion générale:

Dans le but de tester l'efficacité du gel de cactus extrait à T° ambiante dans la coagulation floculation, on a procédé à une série d'essais de jar tests. Le gel a été utilisé à:

- une forte turbidité (120NTU) à différents pH.
- une faible turbidité (15 et 30NTU).
- aux acides humiques (10mg/l).
- aux acides humiques(10mg/l)+turbidité (200NTU).

On a procédé également à des essais de comparaison avec le sulfate d'aluminium, et les deux autres produits de cactus, à savoir le gel extrait à chaud et la poudre de cactus.

Les résultats sont les suivants:

- Le gel de cactus a une efficacité similaire au sulfate d'aluminium dans les eaux à forte turbidité. 0.1ml seulement du gel de cactus donne le même résultat que 25mg de sulfate d'aluminium.
Dans les eaux à faibles turbidité, le sulfate d'aluminium est légèrement plus efficace par rapport à notre gel.
- Le sulfate d'aluminium provoque une baisse significative du pH (par la formation du HCl), tandis que notre gel provoque une légère hausse du pH (de l'ordre de 0.2), qui est probablement due à sa caractéristique d'échange ionique.
- Le gel de cactus produit un volume de boues beaucoup plus réduit que les autres coagulants, comme on la montré dans la (figurexx)
- Le gel de cactus n'est pas efficace pour l'élimination des acides humiques, même en présence de fortes turbidité.
- Le taux de réduction des acides humiques a été plus important au pH9 qu'au pH 6, cela peut s'expliquer par l'effet collant du gel de cactus à des pH basiques, donc au moment de la floculation il a éliminé une petite fraction d'acides humiques par entrainement.
- La poudre de cactus a donné des résultats assez appréciables. mais elle ne peut pas être utilisée dans les eaux potables. parce qu'elle laisse une couleur verte dans les eaux traitées, d'ou la turbidité finale plus au moins élevée

- Le gel de cactus extrait à chaud est aussi efficace dans la coagulation floculation. Il est légèrement plus efficace que le gel extrait à T°ambiante, et cela est due à sa viscosité. En effet, le gel extrait à chaud est plus visqueux que celui extrait à froid.
- L'efficacité de notre gel dépend de sa viscosité, c'est à dire, il faut qu'il soit utilisé concentré sans dilution.

Conclusion

Conclusion:

La clarification de l'eau dans le domaine de traitement des eaux potables, passe inévitablement par le procédé de coagulation-floculation qui a recourt à l'utilisation de réactifs chimiques, dont l'utilisation pose un certain nombre d'inconvénients, allant jusqu'à toucher à la santé humaine, d'où la nécessité de leur trouver des substituants qui présentent la même efficacité avec moins de risques pour la santé.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre là. On a procédé à une nouvelle méthode d'extraction d'un flocculant à base de cladodes de cactus, et on l'a utilisé pour des essais jar test.

Les résultats ont révélés que le gel de cactus est efficace pour la coagulation floculation notamment pour les eaux à fortes turbidité. Les taux de réductions sont supérieurs à 96%, à une large gamme de pH (de 5 jusqu'à 10), avec un maximal de 99,02% à pH 8. Quoiqu'il est moins efficace que le sulfate d'aluminium dans les eaux à faibles turbidité. Le gel de cactus présente d'autres avantages, tels que le volume des boues qui est réduit, la quantité du gel à ajouter qui est de 0,1ml seulement contre 25mg de sulfate d'aluminium par litre d'eau à traiter. Ainsi que le pH qui ne varie presque pas (une légère hausse de 0,2) par contre le sulfate d'aluminium abaisse le pH d'une façon significative.

Les résultats à différentes turbidités ont révélé que l'élimination des particules en suspension par le gel de cactus n'est pas stœchiométrique. Donc la neutralisation de charge est à exclure. Le mécanisme le plus probable est l'adsorption et pontage avec un effet de la viscosité.

Au final, ce travail montre clairement que le gel de cactus peut remplacer les sels métalliques utilisés comme coagulants, d'autant plus que les turbidités mesurées répondent à la norme algérienne et même européenne.

Références

Références :

- [1]: Jahn, S.A.A., 2001. Drinking water from Chinese rivers: challenges of clarification. *J. Water Supply Res Technol.*
- [2]: Choy, S.Y., Prasad, K.M.N., Wu, T.Y., Ramanan, R.N., 2013. A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 1–24.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>.
- [3]: Simate, G.S., Iyuke, S.E., Ndlovu, S., Heydenrych, M., Walubita, L.F., 2012. Human health effects of residual carbon nanotubes and traditional water treatment chemicals in drinking water.
- [4]: (McLachlan, 1995; Flaten, 2001; Gauthier et al., 2000; Walton, 2013; Rondeau et al., 2000).
- [5]: Rondeau, V., Commenges, D., Jacqmin-Gadda, H., Dartigues, J.F, 2000. Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. *Am. J. Epidemiol.*
- [6]: Doll, S.R., 1993. Review: Alzheimer's disease and environmental aluminium. *Age Ageing* 22 (2), 138–153.
- [7]: DRISCOLL CT and LETTERMAN RD (1995) Factors regulating residual Al concentrations in treated waters. *Environmetrics* 6 287-309.
- [8]: Diaz Diaz, A., Rincon, N., Escorihuela, A., Fernandez, N., Chacin, E., Forster, C., 1999. A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Process Biochem.* 35 (3–4), 391–395.
- [9]: Fuentes MMPB, Bateman BL, Hamann M (2011a) Relationship between tropical cyclones and the distribution of sea turtle nesting grounds. *Journal of Biogeography*, 38, 1886–1896
- [10]: Zhang, J.D., Zhang, F., Luo, Y.H., Yang, H., 2006. A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochem.* 41 (3), 730–733
- [11]: Miller, S.M., Fugate, E.J., Craver, V.O., Smith, J.A., Zimmerman, J.B., 2008. Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 42 (12), 4274–4279.
- [12]: Shilpa. G. Chomde Sonal G., Jadhav Aasawari. S and Rahut Prakash. D (2012) Impact of physico-chemical characteristics of Shivaji University lakes

- phytoplankton communities Kolhapur, India. *Research. jou. of Recent Sciences.*, 1(2): 56-58.
- [13]: Thakre, V.B., Bhole, A.G., 1985. Relative evaluation of a few natural coagulants. *J. Inst. Eng. (India) Environ. Eng.*
- [14]: Subramaniam, S., Nand, V., Maata, M., Koshy, K., 2011. Moringa oleifera and other local seeds in water purification in developing countries. *Res. J. Chem. Environ.*
- [15]: Yongabi KA, Lewis DM, Harris PL. 2011a. Application of phytodisinfectants in water purification in rural Cameroon. *African Journal of Microbiological Research* 5(6), 628-635.
- [16]: Yongabi, K.A., 2006. Studies on the potential use of medicinal plants and macro-fungi (lower plants) in water and waste water purification.
- [17]: Abidin, Z.Z., Ismail, N., Yunus, R., Ahamad, I.S., Idris, A., 2011. A preliminary study on *Jatropha curcas* as coagulant in wastewater treatment. *Environ. Technol.*
- [18]: Tripathi, P.N., Chaudhuri, M., Bokil, S.D., 1976. Nirmali seed a naturally occurring coagulant. *Indian J. Environ.*
- [19]:
- [20]: Sowmeyan R, Santhosh J, Latha R. 2011. Effectiveness of herbs in community water treatment. *International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics* 1(11), 297-303.
- [21]: Aweng ER, Anwar AI, Siti Rafiqah MI, Suhaimi O. Cassia alata as a Potential Coagulant in Water Treatment, *Research Journal of Recent Sciences.* 2012; 1(2):28-33.
- [22]: Mavura WJ, Chemelil MC, Saenyi WW, et al. (2008) Investigation of chemical and biochemical properties of *Maerua subcordata* plant extract: a local water clarification agent. *Bull Chem Soc Ethiop* 22:143–8
- [23]: Mishra, R. C., Dasen, P. R., & Niraula, S. (2003). Ecology, language, and performance on spatial cognitive tasks. *International Journal of Psychology*, 38, 366-383.
- [24]: La Mer, V. K. and Healy, T. W. (1963). The role of filtration in investigating flocculation and redispersion of colloidal dispersions. *Journal of Physical Chemistry*, 67, 2417-2420. La Mer, V. K. (1964). - Coagulation symposium - Introduction. *Journal of Colloid Science*, 19, 291.
- [25]: Fiessinger, F. coagulation and flocculation Part I: Coagulation. Congress of International Water Supply Association [Kyoto, Japan, Special subject N° 3]. 1978. Kyoto, Japan.
- [26]: Gounaris V., Anderson, P. R., Holsen, T., and M (1993). Characteristics and environmental significance of colloids in landfill leachate. *Environmental Science*

- & Technology, 27, 1381- 1387. Hens, M. and Merckx, R. (2001). Functional characterization of colloidal phosphorus species in the soil solution of sandy soils. *Environmental Science & Technology*, 35, 493-500.
- [27]: Du, Q., Sun, Z., Forstling, W., and Tang, H. (1997). Adsorption of copper at aqueous illite surfaces. *Journal of Colloid Interface Science*, 187, 232-242. Gier, S. and Johns, W. D. (2000). Heavy metal-adsorption on micas and clays minerals studied by X-ray photoelectron spectroscopy. *Applied Clay Science*, 16, 252-255.
- [28]: Buffle, J. *Complexation reactions in aquatic systems : an analytical approach*. -692 p. 1988. Chichester, John and Wiley & sons. analytical chemistry. Ellis Horwood.
- [29]: Buffle, J., Altmann, R. S., Filletta, M., and Tessier, A. (1990). Complexation by natural heterogeneous compounds: site occupation distribution functions, a normalized description of metal complexation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 1535-1553.
- [30]: Davis, M.A., Wrage, K.J. & Reich, P.B. (1998) Competition between tree seedlings and herbaceous vegetation: support for a theory of resource supply and demand. *Journal of Ecology*, 86, 652±661.
- [31]: Hunter, Robert J. *Zeta potential in colloid science, Principles and applications*. Ottewill R.H. and Rowell R.L. 1981. Academic Press. van de Ven, T. G. M. (1989). *Colloidal hydrodynamics*. London: Academic Press. Israelachvili, J. (1992). *Intermolecular and surface forces 2nd Edition*. (Academic Press limited Edition). London.
- [32]: Prausnitz, J. M., Lichtenthaler, R. N., and de Azevedo, E. G. (1999). *Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria 3rd Edition*. (Prentice-Hall inc. Edition). New Jersey.
- [33]: Everett, D. H. (1988). *Basic principles of colloid science*. Royal Society of Chemistry.
- [34]: Derjaguin, B. V. and Landau, L. D. 1941. *Acta. Physicochim. URSS* 14p. 733.
- [35]: Verwey, E. J. W. and Overbeek, J. T. G. 1948, 'Theory of the stability of lyophobic colloids', Elsevier, Amsterdam, New York.
- [36]: Dickinson, E. and McClement, D. J. (1996). *Molecular Basis of Protein Functionality. Advances in Food Colloids* .(pp. 27-76). London.
- [37]: Adamczyk, Z. (2003). Particle adsorption and deposition: role of electrostatic interactions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100-102, 267-347.
- [38]: Dickinson, E. and McClement, D. J. (1996). *Molecular Basis of Protein Functionality. Advances in Food Colloids* .(pp. 27-76). London.
- [39]: Gregory, J. (2005). *Particles in water. Properties and processes*. london: IWA publishing.
- [40]: Stumm, W. and O'Melia, C. R. (1968). Stoichiometry of coagulation. *Journal American Water Works Association*, 60, 514-539.
- [41]: Hogg, R. (1999). The role of polymer adsorption kinetics in flocculation. *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects*, 146, 253-263. Hogg, R. (2000). Flocculation and dewatering. *International Journal of Mineral Processing*, 58, 223-236. Besra, L., Sengupta, D. K., Roy, S. K., and Ay, P. (2002). *Polymer*

adsorption: its correlation with flocculation and dewatering of kaolin suspension in the presence and absence of surfactants. *International Journal of Mineral Processing*, 66, 183-202.

- [42]: Hadj sadok, Aid F, BELLAL M, Maria Stela ABDUL HUSSAIN; 2008. composition chimiques des jeunes cladodes d'opuntia ficus indica et possibilité de valorisation, *Agricultura StiinŃă si practică*.
- [43]: Dawn Iona Fox, 2011. *Cactus Mucilage-Assisted Heavy Metal Separation: Design and Implementation*.

annexes

- **courbe d'étalonnage des acides humiques :**

on a tracé la courbe d'étalonnage des acides humiques, les concentrations choisies sont 0; 2; 4; 6; 8; et 10 mg/l:

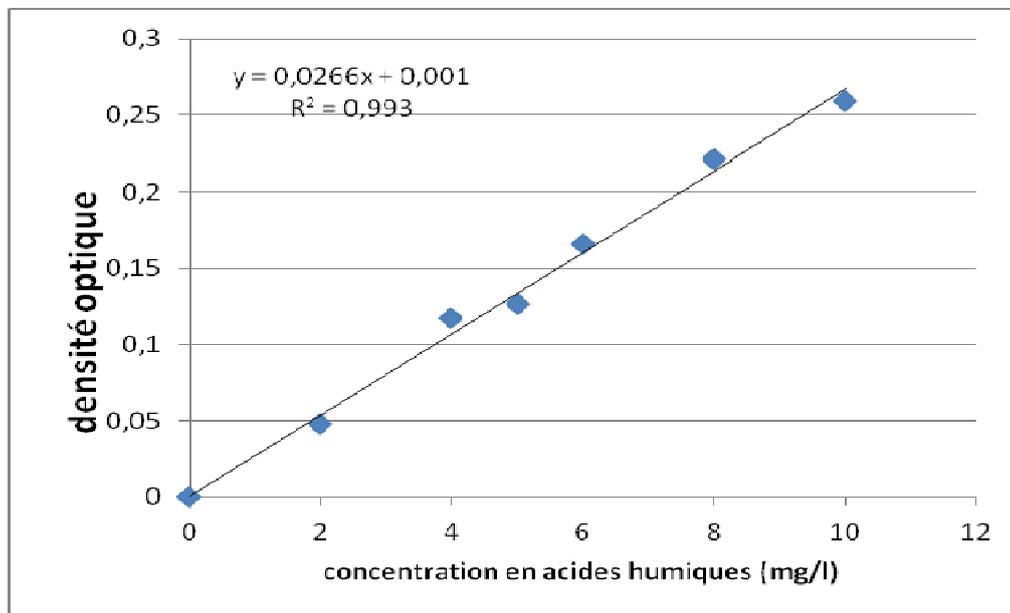


figure : courbe d'étalonnage des acide humiques

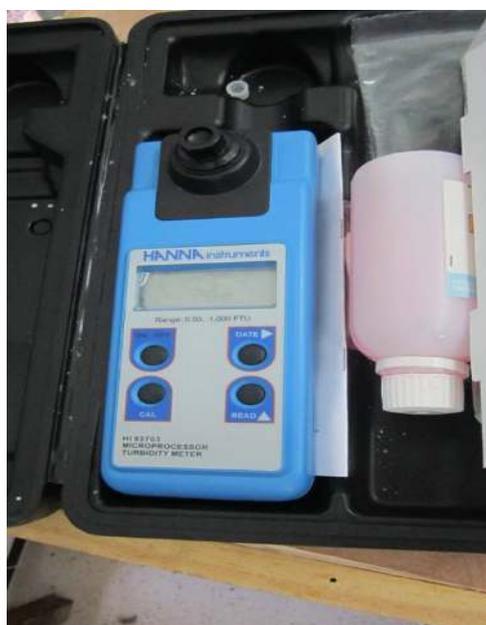


Figure II.6 : Photo du turbidimètre de marque HANNA modèle HI937



Figure II.7 : photo du multi paramètre CRISON



Figure II.8 : Appareil UV shimadzu UV-1601



Figure II.9 : photo du spectrophotomètre à flamme JENWAY PFP7

Liste des tableaux

N°	Nom des tableaux	P
Chapitre I		
I.1	synthèse bibliographique des déchets de fruits utilisés comme biofloculants [2]	7
I.2	Résumé de 12 plantes qui sont utilisées en floculation [2]	8
I.3	Composés majeurs des cladodes d'<i>Opuntia ficus-indica</i> en fonction de l'âge des cladodes, variété inerme provenant de la région de Blida[42]	25
I.4	Composition minérales des cladodes d'<i>Opuntia ficus-indica</i>, provenant de la région de Blida[42]	26
I.5	Composition des deux fractions en sucres[43]	30
Chapitre II		
II.1	Caractéristiques des acides humiques	38
Chapitre III		
III.1	Les résultats des essais jar test avec le gel de cactus	52
III.2	Les taux de réduction des essais jar test du gel de cactus	52
III.3	les résultats des essais jar test à 30NTU	55
III.4	les résultats des essais jar test à une turbidité 15NTU	56
III.5	Résultat des essais jar test avec les acides humiques	57
III.6	résultats des essais jar test sur l'acide humique+bentonite a pH9	59
III.7	Résultats des essais jar test sur l'acide humique+bentonite a pH6	60
III.8	Résultats des essais jar test avec le sulfate d'alumine à une turbidité 120NTU	62
III.9	Résultats des essais jar test avec les sulfates d'alumine à 15NTU	63
III.10	résultats des essais de jar test avec la poudre de cactus	64
III.11	Résultats des essais jar test avec le gel de cactus extrait à chaud	66
III.12	Résultats des essais jar test montrant l'effet de la dilution sur le taux de réduction.	67

LISTE DES FIGURES

N°	Nom de la figure	p
CHAPITRE I		
I.1	Résumé des avantages des biofloculants[2]	7
I.2	Distribution selon la taille des particules que l'on peut rencontrer dans les eaux	11
I.3	Variation des charges de surfaces sur les particules minérales (1) et organiques (2)	13
I.4	Représentation du modèle de la double couche de stern montrant l'évolution du potentiel électrique en fonction de l'éloignement de la surface de la particule	15
I.5	Représentation graphique de la théorie de la DLVO qui montre la stabilité des particules en suspension	18
I.6	Conformation à l'équilibre d'un polymère adsorbé à la surface d'une particule	23
I.7	Le mécanisme d'adsorption et pontage du polymère sur le particules en suspension	23
I.8	Image obtenue par microscopie électronique à balayage d'une coupe transversale d'une cladode d'OFI. E : cellules épidermiques, A : aréoles, P : cellules de parenchyme, C : cellules de chlorenchyme[42].	25
I.9	Représentation montrant la structure chimique des polymères constituant le mucilage [43]	28
I.10	Représentation schématique du (a) arabinose (b) galacturonic acid (c) galactose (d) rhamnose and (e) xylose [43]	32
I.11	Donnés qualitatives sur la composition minérales du mucilage [43]	33
I.12	image du GE par le MET avec un grossissement de 11kx (1) et 28kx (r) montrant un réseau dentelle avec des espaces remarquables entre les peuplements [43]	34
I.13	image du NE par le MET avec un grossissement de 11kx (1) et 28kx (r), montrant un réseau de polymère plus dense et plus lisse et non harmonieux [43]	34
I.14	la tension interfaciale en fonction de la concentration du mucilage [43]	35
CHAPITRE II		
II.1	structure chimique de la bentonite	38
II.2	Représentation schématique de l'acide humique selon stevenson	40
II.3	Représentation schématique de l'acide humique selon Andreux	41
II.4	figure montrant le jar test	42

II.5	Principe de fonctionnement du turbidimètre HI93703	44
II.6	Photo du turbidimètre de marque HANNA modèle HI93703	44
II.7	photo du multi paramètre CRISON	45
II.8	Appareil UV shimadzu UV-1601	46
II.9	photo du spectrophotomètre à flamme JENWAY PFP7	46
II.10	poudre de cactus obtenue après lyophilisation	47
II.11	Résumé de la méthode d'extraction du gel	48
CHAPITRE III		
III.1	Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel (120NTU)	54
III.2	structure des flocs à pH 9	55
III.3	structure des flocs à pH 6	55
III.4	Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel (30 NTU)	56
III.5	Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel (15 NTU)	57
III.6	Représentation graphique du pourcentage de réduction des acides humiques en fonction de la concentration du gel	58
III.7	Représentation graphique de la variation du % de réduction de l'acide humique et la turbidité en fonction de la concentration du gel de cactus	61
III.8	Représentation graphique de la variation du % de réduction de l'acide humique et la turbidité en fonction de la concentration du gel de cactus	62
III.9	Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'alumine (120NTU)	63
III.10	Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'alumine (15NTU)	64
III.11	Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de la poudre de cactus.	66
III.12	Représentation graphique de la variation du % de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du gel de cactus extrait à chaud.	67

Résumé:

La présente étude a pour objectif de tester l'efficacité d'un biofloculant en coagulation floculation. Ce produit appelé "gel de cactus" est extrait des cladodes de cactus en utilisant une nouvelle méthode d'extraction à froid. Ce produit a été testé vis-à-vis de la turbidité et de la matière organique. Des essais ont été réalisés, en variant la concentration du gel de cactus à différent pH. Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux obtenus avec le sulfate d'aluminium.

Les résultats ont montré que le gel est d'une efficacité similaire au sulfate d'aluminium avec un taux de réduction plus de 98% et ce, quelque soit le pH de l'eau. Son efficacité est moindre pour l'élimination des acides humiques.

This study aims to test the effectiveness of a biofloculant on coagulation flocculation. This product called " cactus gel " is extracted from cactus cladodes using a new cold extraction method. This product was tested for the turbidity and of the organic matter. Attempts have been made by varying the concentration of the cactus gel and pH. The results obtained were compared with those obtained with aluminum sulfate .

The results showed that the gel is similarly effective to the aluminum sulfate with a reduction rate over 98% and this whatever the pH of the water. It is less effective for the removal of humic acids