

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE DE L'ENVIRENNEMENT

Laboratoire des biotechnologies environnementales

& de génie des procédés

Projet de Fin d'Etude

Présenté par :

YAHA Ichrak

THEME

défluoruration par le biofloculant

« extrait du cactus »

Proposé et dirigé par :Dr MAZIGHI Ahmed

Président :Pr .MAMERI Nabil.

Examineur : Pr. LOUNICI Hakim.

Encadreur : Dr. MAZIGHI Ahmed.

Promotion: Juin 2013.

Ecole Nationale Polytechnique, 10 Av. Hassan Badi, El Harrach, Alger, Algérie

Remerciements

Nous rendons grâce à Dieu de nous avoir donné le courage et la patience pour mener ce travail à terme.

Je tiens tout d'abord à remercier du fond de mon cœur mon Encadreur **MR MAZIGHI Ahmed** grâce à sa détermination, sa simplicité, son entière disponibilité et ses conseils, j'ai dans un premier temps acquis de nouvelles connaissances dans le domaine de l'élimination du fluor ,et en second lieu parachever ce travail de recherches si passionnantes dans des conditions satisfaisantes.

Monsieur **MAMERI Nabil** Professeur à l'ENP me fait un grand honneur en présidant ce jury de thèse, qu'il me soit permis de lui exprimer ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier également Monsieur **MR LOUNICI Hakime**. qui a accepté d' être examinateur de cette étude et pour participer à mon jury de thèse.

Un grand merci a ceux qui m'ont aider a réaliser ce travail y ai compris **MR BEN CHITARA**
Professeur a l'université USTHB.

Je tiens à remercier également **RADIA** ingénieur de laboratoire au département génie chimique pour son aide .

Je tiens a remercier ma grand-mère pour ses prières.

Un très grand merci a ma tante patina.

mes plus grandes Gratitude s'adresse à mes parents, pour tous leurs sacrifices... Les mots sont certes, insuffisants, mais vous comprenez que tout un océan de Belles Lettres ne saurait suffire pour leur dire MERCI.



Dédicace

A mes très chers Parents, que ALLAH les protège et les garde éternellement sous Sa Bénédiction.

A ma grand _ mère que dieu la garde éternellement.

A ma sœurs: Nour el yakine et mes frères pour leurs soutiens et encouragements. Qu'ils soient toujours unis et heureux.

A tous mes proches, mes tantes mes oncles mes cousins.

A tous mes amis de Polytech de tous les départements et de tous les niveaux que j'aime énormément.

Résumé:

Le fluor à une certaine concentration est un élément essentiel pour le corps humain il intervient dans la protection de l'émail contre les caries dentaires.

Cependant, à des concentrations élevées, ce dernier engendre de sérieux problèmes sur la santé humaine tel que: la fluorose dentaire et la fluorose osseuse.

Les eaux du sud algérien renferment des teneurs élevées en fluor exerçant un effet néfaste sur la santé de la population. Ainsi une défluoruration préalable des eaux d'alimentation s'avère nécessaire

Notre projet porte sur la défluoruration par biofloculation sur un support végétal qu'est le jus de cactus qu'a déjà donné de bons résultats pour réduire la turbidité des eaux.

Mots clés : fluor, fluorure, biofloculation, défluoruration, jus de cactus

:

يعتبر الفلوريد مهم للجسم وذلك عندما يؤخذ بكميات قليلة فهو يحمي الاسنان من التسوس لكن عندما تزيد كميات الفلوريد المستهلكة عن الحد العادي يصبح مضر لصحة الانسان . وبائي : الفلوروز الذي يفتك بالاسنان و العظام, تعتبر المياه من أهم المصادر الأساسية للفلور خاصة مياه

ومن هنا يستلزم البحث عن طرق لتنقية المياه من الفلوريد الحالية على الرغم من فعاليتها لديه العديد من العيوب، وهو ما يقودنا إلى البحث عن بدائل هذا المشروع يحتوي على طريقة لتنقية الفلوريد من المياه بالتلبد عن طريق الملبد الطبيعي عصير الصبار الذي أثبتت فعاليته في معالجة المياه العكرة. الكلمات الجوهرية : الفلور, الفلوريد, التلبد الطبيعي , الفلورة

Abstract:

Fluorine at a certain concentration is essential for the human body, it is involved in protecting the enamel against dental caries.

At high concentrations, it causes real problems on human health such as: dental fluorosis and skeletal fluorosis.

The Algerian Sahara especially southeastern contains high levels of fluoride. hence the need to find methods to normalize the rate as current methods despite their effectiveness has many disadvantages, which leads us to look for alternatives.

Our project focuses on the defluoridation by biofloculation a vegetable stand what the cactus juice work already been successful in reducing turbidity loaded suspension.

Key words: Fluorine, fluoride, defluoridation, biofloculation, cactus juice

Liste des tableaux

Tableau1: propriétés physique du fluor.

Tableau2: Analyse physico-chimique des eaux souterraines de la région BISKRA.

Tableau3: Analyse physico-chimique des eaux souterraine des régions OUARGLA et TOUGGOURT.

Tableau4: les techniques de défluoruration des eaux.

Tableau5. Résultats du traitement par nanofiltration et osmose inverse d'une eau saumâtre fluorée.

Tableau6: Composition du biofloculant.

Tableau 7 : Influence de la dose du biofloculant et temps de décantation.

Tableau 8 : Rendement sur la méthode.

Tableau 9: influence de pH.

Abréviations et symboles:

OMS : organisation mondiale de la santé

N : Nombre de particules par unité de volume (m^{-3})

G : Gradient de vitesse (s^{-1})

d_p : Diamètre de particule (m)

μ : force ionique mol/l,

C_n : concentration de l'ion n

Z_n : valence de l'ion n.

G = : gradient de vitesse (s^{-1}) ;

d : diamètre des particules (m) ;

P : puissance réellement dissipée (W) ;

V : volume du bassin (m³) ;

: viscosité dynamique de l'eau (kg/m.s ou Pa.s).

Liste des figures:

Figure1: Classification de DEAN.

Figure2: Fluorose osseuse

Figure3: Représentation schématique du procédé d'électrodialyse.

Figure4: procédé coagulation floculation.

Figure5: Energie d'interaction entre deux particules lipophiles en fonction de la distance depuis la surface de la particule

Figure6: Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.

Figure7: Adsorption et pontage à l'aide de polymères

Figure8: les différentes étapes du procédé coagulation floculation.

Figure 9 : figuier de barbarie "cactus"

Figure 10 : L'essai du jar test

Figure 11: jus de cactus

Figure12: Spectre Infrarouge du biofloculant

Figure 13 : l'agglomération des floccs après 5 minute de décantation.

Figure 14 : L'agglomération des floccs pour une eau de concentration 5mg/l en fluor après 20 min de décantation.

Figure 15: la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.002g/l du biofloculant.

Figure 16 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.004g/l du biofloculant.

Figure 17 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.006g/l du biofloculant

Figure 18 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.008g/l du biofloculant

Figure 19 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.01mg/l du biofloculant

Figure 20 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.012 mg/l du biofloculant

Figure 21 : Influence de la dose du biofloculant et temps de décantation

Figure 22 : Influence du pH

Sommaire.

chapitre I: généralité sur le fluor

Introduction: 9

I.1..Aperçu historique sur la découverte du fluor.....	2
Historique du terme fluor.....	2
Historique de la découverte et l'isolement du fluor	2
I.1.1. Généralité sur le fluor.....	4
I.1.2Propriétés physico-chimiques du fluor:	4
I.1.3Sources des fluorures.	4
I.2Le fluor en chimie médicinale.	6
I.3Effet des fluorures sur la santé humaine.	7
I.3.1Les normes :	7
I.3.2Les bienfaits des fluorures.	8
I.3.3La fluoration des eaux:	9
I.3.4Absorption des fluorures.....	10
I.3.5Distribution des fluorures dans le corps humain:.....	11
I.3.6Les effets nocifs des fluorures.	11
I.5La sensibilité des végétaux aux fluorures:	14
I.6Qualité des eaux du Sahara Algérien:	15
I.7. Chimie du fluor dans les eaux souterraines.....	16
I.8. Caractéristiques physico-chimique des eaux souterraines de quelques régions du sud algérien:.....	17

Chapitre II: les méthodes de défluoruration

II.1Procédé chimique:	21
II.1.1La précipitation:	21
II.2Les procédés physico-chimiques classiques :.....	23

II.2.1L'adsorption:	23
II.2.1.1L'alumine activée:	23
II.2.1.2La bauxite activée:	24
II.2.1.3L'argile (bentonite):	24
II.3Procédés membranaires:	24
II.3.1L'osmose inverse:	24
II.3.2Nano filtration:	25
II.4. Procédé électro-membranaire:	25
II.4.1Électrodialyse:	25
II.4.2Dialyse ionique croisée:	26
II.5Procédé électrochimique:	27
II.5.1L'électrocoagulation:	27
II.5.2L'électrosorption.....:	27
chapitreIII: la coagulation floculation.	
III.1La coagulation floculation:	29
III.2Le processus de coagulation.....	29
III.2.1Mécanismes de la coagulation:	30
III.2.1.1Compression de la double couche:	30
III.2.1.2Adsorption et neutralisation des charges:.....	31
III.2.1.3Emprisonnement des particules dans un précipité:.....	32
III.2.1.4Adsorption et pontage entre les particules.....	32
III.3. Le processus de floculation	33
III.3.1Floculation péricinétique	35
III.3.2Floculation orthocinétique:	35
III.4. Les flocculant minéraux	36
III.5Le bioflocculant extrait du cactus:	37
III.5.1Généralité sur le cactus:	37

chapitre4: matériels et méthodes

IV.1 Introduction:	39
IV.2 Préparation du biofloculant (jus de cactus):	39
IV.3 Méthode de dosage des fluorures:	39
IV.3.1 Matériel et solution utilisé:	40
IV.3.2 La préparation des solutions à utiliser:	40
IV.4.1 Préparation de la solution mère synthétique.....	40
IV.4.2. Préparation de la solution tampon (TISAB).....	40
IV.5. Principe de dosage:	41
IV.6. Établissement de la courbe d'étalonnage:	41
IV.7. Le processus de biofloculation:	41
IV.8. Essais de traitement par jar test	42

chapitre V: résultats et discussions

V.1. Caractérisation du jus de cactus:	45
V.1.1. Spectre infrarouge :	46
V.1.2. Spectre UV visible du biofloculant:	47
V.1.3. Analyse du biofloculant par MEB:	47
V.1.4. Composition du biofloculant:	48
V.2. Influence de la dose du floculant et le temps de décantation.....	50
V.3. L'Influence du pH	50
V.4.conclusion:.....	51

Introduction:

Les eaux souterraines constituent les principales ressources pour les besoins de la consommation humaine dans beaucoup de pays notamment ceux en développement. Ces eaux souterraines sont très souvent contaminées par des éléments chimiques tel que le fluor. L'excès de fluor dans l'eau de boisson est noté dans beaucoup de pays à travers le monde.

En effet, la consommation de telles eaux engendre des problèmes telles que la fluorose dentaire, la fluorose osseuse, etc.

A fin de produire une eau potable, plusieurs procédés de défluoruration des eaux ont été mis en oeuvre. nous citons à titre d'exemple: l'adsorption sur divers matériaux, les échanges ionique, l'osmose inverse, la nanofiltration, l'électrodialyse mais les couts assez élevés de ces procédés limitent leur utilisation et stimulent la recherche d'un procédé moins onéreux.

. Dans ce travail nous exposerons l'efficacité du biofloculant jus de cactus extrait des figuiers de barbaries pour l'élimination des fluorures dans l'eau ainsi les avantages et inconvénients de ce dernier .

Ce biofloculant est extrait des raquettes du figuier de barbarie "cactus" qui pousse dans la région de la Kabylie.

Chapitre 1:

Généralité sur le fluor

I.1. Aperçu historique sur la découverte du fluor :

Historique du terme fluor

Fluor, adjectif et nom commun masculin, vient du latin fluor "écoulement ", ce terme s'utilisait jadis en tant qu'adjectif pour désigner les substances naturellement fluides.

On nommait acides fluors les acides minéraux et certains acides organique naturellement tartrique, de même dans le domaine des bases, l'ammoniaque était appelée alkali volatil fluor pour le distinguer de la soude et la potasse.

Le terme fluor était également utilisé comme substantif pour désigner des matières pierreuses, fusibles ou utilisées comme fondants dans les opérations métallurgiques, ces fluors minéraux étant encore dénommés flueurs parce qu'ils "fondent si facilement au feu qu'ils semblent couler et fluer.

C'est dans ce sens qu'Agricola utilise le terme fluor et décrit l'emploi du spath-fluor (fluorine), premier minéral fluoré connu, en métallurgie pour la fluidification des scories. C'est à partir de ce minéral, qui est un fluorure de calcium, que Scheele a préparé pour la première fois l'acide spathique appelé ultérieurement acide fluorique, hydrofluorique, hydrophorique et fluorhydrique. [31]

Historique de la découverte et l'isolement du fluor

La première utilisation connue d'un composé fluoré date des environs de 1670 dans un ensemble d'instructions destinées à la gravure du verre qui nécessitaient de l'émeraude de bohème (CaF_2). Les chimistes ont essayé d'identifier la substance qui pouvait graver le verre et George Gore a pu produire une petite quantité de fluor par le biais d'un procédé électrolytique en 1869. Ce qui était inconnu de Gore, c'était que le fluor gazeux se combine de manière explosive avec l'hydrogène gazeux. Et c'est exactement ce qui est arrivé dans l'expérience de Gore lorsque le fluor gazeux qui a été formé sur une électrode a été combiné avec l'hydrogène gazeux qui a été formé sur l'autre électrode. [32]

En 1809 quand on annonce en France la découverte du sodium et du potassium par le chimiste anglais Humphrey Davy (1778-1829), André Marie Ampère (1775-1836) présente l'existence du chlore et du fluor en tant qu'éléments chimiques mais

ne publie pas ses hypothèses. Frappé par les analogies entre l'acide muriatique (acide chlorhydrique) et l'acide fluorique (acide fluorhydrique), il conclut à l'existence d'un élément qu'il appelle tout d'abord oxy-fluorique puis fluorine, une fois convaincu que l'acide fluorhydrique ne contenait pas d'oxygène.

La quête de ce nouvel élément occupa de nombreux chercheurs tout au long du XIX^{ème} siècle. Une des premières étapes fut la préparation de l'acide fluorhydrique pur, exempt d'eau, par Louis-Jacques Thenard (1777-1857) et Louis-Joseph Gay-Lussac (1778-1850). Le produit qu'ils avaient obtenu produisait d'épaisses fumées à l'air, dissolvait rapidement le verre et causait des brûlures très tenaces, phénomène qui avait été observé depuis fort longtemps. Quelques temps après, J. J. Berzelius (1779-1848) caractérisa le fluorure d'ammonium. Durant cette période plusieurs chercheurs payèrent un lourd tribut à la recherche du fluor : Georges et Thomas Knox furent fortement intoxiqués et le chimiste belge P. Louyet décéda. Aux environs de 1860, J. C. G. de Marignac (1817-1894) synthétisa et décrivit d'une manière étonnamment précise les caractéristiques morphologiques de très nombreux cristaux de sels fluorés anhydres ou hydratés tels que les fluorotitanates ou les fluorozirconates. Ses conclusions sont toujours valables un siècle plus tard. Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881) ou Edmond Frémy (1814-1894) caractérisèrent également de nombreux fluorures minéraux. En 1869, le grand chimiste russe D. I. Mendeleev (1834-1907) positionnait de manière irréfutable l'élément dans le tableau périodique qu'il venait de concevoir.

Une étape décisive fut franchie lorsque Frémy réussit à préparer du fluorure d'hydrogène anhydre de haute pureté ainsi que KHF_2 , appelé aussi sel de Frémy : "KFl.HFl" avec les notations de l'époque. G. Gore (1826-1904) en détermina les caractéristiques physico-chimiques. Il convient toutefois de signaler que dès 1836 Frémy était passé tout près de la solution en électrolysant des sels à base de fluorures de calcium ou de potassium fondus. Frémy a d'ailleurs longtemps revendiqué la paternité de cet isolement car déjà en 1856 il constatait le dégagement d'un gaz décomposant l'eau avec production d'acide fluorhydrique : "Il se dégage par le col de la cornue de platine, un gaz odorant qui décompose l'eau en produisant de l'acide fluorhydrique, et qui déplace l'iode contenu dans les iodures : ce gaz me paraît être le fluor». Toutefois, à la température à laquelle il opérait, Frémy n'avait pu aller plus loin dans l'isolement du fluor et jamais il n'envisagea d'utiliser KHF_2 ,

vraisemblablement en raison des difficultés technologiques liées à la température de fusion élevée du composé : $T_f = 293^\circ\text{C}$.

C'est donc finalement en juin 1886 qu'Henri Moissan (1852-1907), un ancien élève de Frémy réussit à isoler le fluor, concluant ainsi ce long chapitre de l'histoire de la chimie. [30]

I.1.1. Généralité sur le fluor:

Le fluor est un gaz de numéro atomique $Z=9$ et masse atomique 18.98, du groupe des halogènes dont le corps simple est gazeux et présente une très forte réactivité chimique. Le fluor constitue environ 0.065% de la masse de la croûte terrestre. [38]

I.1.2. Propriétés physico-chimiques du fluor:

Aux conditions normales de température et de pression, le fluor est un halogène gazeux jaune-verdâtre formé de molécules de F_2 à odeur irritante et âcre. [39]

Le fluor a sept électrons sur sa couche périphérique. C'est l'halogène le plus électronégatif de tous les éléments; c'est par conséquent un oxydant extrêmement puissant. Il réagit sur l'eau pour former l'oxygène et l'acide fluorhydrique, ainsi qu'un peu d'ozone. Il attaque pratiquement tous les métaux sauf l'or, le platine et l'iridium qui résistent à la température ordinaire. [11]

Tableau 1: propriétés physique du fluor.[4]

Point de fusion ($^\circ\text{C}$)	- 223
Point d'ébullition ($^\circ\text{C}$)	- 187
Masse atomique	19
Structure électronique	$1s^2, 2s^2, 2p^5$
Electronégativité	4.00
Rayon atomique (A°)	0.64
Rayon ionique (A°)	1.36

I.1.3. Sources des fluorures:

En raison de sa grande réactivité, le fluor ne se présente pas à l'état élémentaire dans la nature mais plutôt sous forme de sels que l'on regroupe sous le terme générique de fluorures. [21]

Les trois plus grandes sources des fluorures de la planète sont : La pollution atmosphérique causé par les industries métallurgiques et les volcans ; la fluoruration des réservoirs d'eau municipaux ; et les produits agro-alimentaires récoltés ou transformés dans des zones fluorées. [23]

a) Les sources naturelles:

En raison de l'abondance du fluor dans la nature, nous trouverons des fluorures dans de nombreux sites:

b) Le fluor dans les sols:

Il est retrouvé au niveau des gîtes minéraux, les roches, les dépôts salins d'origine marine c'est le cas de Fatick, où les terres sont salées avec une teneur en fluor de 2 mg/l. [13]

Principaux composés naturels:

- CaF_2 : fluorine ou spath fluor en est le principal minéral.
- $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, fluoroapatite ou apatite fluorée: Ce minéral, exploité pour la production d'acide phosphorique et de phosphates, est aussi une source non négligeable d'acide fluorhydrique.
- AlNa_3F_6 : cryolithe ou cryolite, minéral exploité au Groenland. [25]

En Inde par exemple, le recensement gouvernemental (Ministère de la santé) affirme que 62 millions d'Indiens ont des problèmes de fluorose et il n'y a pas de solution à court terme pour résoudre ce malaise. Dans ce pays chaud, la sécheresse, la chaleur et la rareté de l'eau ont provoqué un sur creusage des puits artésiens. Les sols riches en fluorite et en apatite ont dégradé la qualité de l'eau. Sur les 8700 villages recensés, le taux de fluorure dans la nappe d'eau phréatique varie entre 0.5 ppm et 38.0 ppm. Les gens n'ont pas le choix ; ils boivent l'eau la plus facilement accessible et les cultivateurs irriguent leurs champs et leurs récoltes avec cette qualité d'eau. [23].

c) Le fluor dans l'air:

Il est retrouvé au niveau des pollutions industrielles ou minières, les feux de charbons et les émanations volcaniques. [13]

Les poussières dans les régions phosphatières, l'ingestion de quantités importantes de fluorures peut être due à l'inhalation des poussières riches en cet élément et à l'utilisation de végétaux contaminés par ces poussières. [11]

d) Dans les eaux naturelles:

La teneur en fluorures est faible dans les eaux superficielles, par contre elle est plus élevée dans les eaux souterraines. [13]

L'eau de mer typiquement Contient environ 1 mg/ L tandis que les rivières et les lacs présentent généralement des concentrations de moins de 0,5 mg /L. [26]

I.2. Le fluor en chimie médicinale:

Les effets résultants de l'ajout d'un atome de fluor ou d'un groupe fluoré dans une molécule sont nombreux et peuvent, en partie s'expliquer par les propriétés décrites précédemment. Nous pouvons citer des effets sur :

- la stabilité métabolique : une molécule biologiquement active circule dans l'organisme et est peu à peu dégradée (métabolisée) de façon à être éliminée. En diminuant la métabolisation, la molécule peut exercer son activité plus longtemps ; par conséquent les doses de médicament sont réduites et plus espacées. Ainsi par remplacement d'une liaison C-H métabolisable par une liaison C-F plus résistante on permet à la molécule de « survivre » plus longtemps dans l'organisme.

- l'acidité et la basicité : l'atome de fluor, par son électronégativité va modifier fortement l'acidité d'une molécule. Ainsi insérer un groupe $-CF_3$ en d'un alcool rend ce dernier plus acide et renforce donc les liaisons hydrogènes, contribuant à augmenter les interactions et donc l'affinité d'une substance pour sa cible biologique. La basicité des amines est fortement réduite en présence d'un $-CF_3$ en position . Une telle amine ne sera donc pas protonée dans le corps et son absorption en sera donc modifiée.

- l'hydrophobie : pour qu'une molécule soit bien absorbée par l'organisme, il faut qu'elle soit soluble dans le sang – qu'elle soit donc hydrophile. Mais pour franchir les barrières cellulaires (des couches lipidiques hydrophobes), il faut que la molécule soit également lipophile... Un vrai casse-tête en somme puisque qu'il faudra trouver le juste compromis entre ces deux propriétés antagonistes. C'est là que le fluor peut intervenir.

- les effets conformationnels : l'introduction d'un atome de fluor peut induire des changements de conformation des molécules. Ceux-ci résultent de nombreux facteurs et parce qu'encore mal compris nous ne les développerons pas.[46]

I.3. Effet des fluorures sur la santé humaine:

À l'état naturel, l'eau renferme une certaine quantité de fluor. En faible concentration, ce dernier protège les dents contre les caries. Mais si il' est absorbé en excès il peut entraîner une véritable maladie. C'est la fluorose, qui s'attaque aux dents mais aussi aux os, ses conséquences alors sont dévastatrices.

I.3.1. Les normes :

a) Normes de la communauté Européenne (CE)

La communauté européenne considérée les fluorures comme un élément à contrôler. Les normes européennes applicables à l'eau de boisson concernant les fluorures sont de 1,5 mg/l pour une température moyenne de l'air ambiant comprise entre 8 et 12°C, et de 0,7 mg/l pour une température moyenne de l'air ambiant comprise entre 25 et 30°C. [33]

b) Normes USA:

Les recommandations de PHS (PRO HYGIENE SERVICE) pour l'usage du fluorure inclue une concentration optimale ajustée de fluorures dans l'eau potable pour maximiser la prévention de la carie et limiter la fluorose de l'email. Cette concentration varie de 0,7 à 1,2 mg/l (tableau 8) selon la température quotidienne maximale moyenne de l'air. [33]

c) Normes Canadiennes

Au Canada, la concentration maximale de fluorures permise en vertu du règlement de la qualité de l'eau potable est de 1,5 mg/l (Gouvernement de Québec, 2001). Les municipalités qui sont inscrites au programme de fluoruration artificielle des eaux de consommation doivent maintenir une concentration optimale en fluorures de 0,7 mg/l. La concentration maximale acceptable proposée par le ministère de la santé Canadienne en 2002 est de 1,5 mg/l. [33]

d) Normes Françaises

La norme Française, définie dans le décret du 3 janvier 1989, recommande une teneur en ions fluorures, dans l'eau potable inférieure à 1,5 mg/l pour une température moyenne de l'air ambiant comprise entre 8 et 12°C, et de 0,7 mg/l pour une température moyenne de l'air ambiant comprise entre 25 et 30°C. Pour une température moyenne comprise entre 12 et 25°C, la teneur limite en ion fluorure est calculée par interpolation. [33]

e) Normes Algériennes

En Algérie la concentration maximale admissible en fluorures dans les eaux potables est de 1 mg/l en 20°C et le niveau guide est 0,3 mg/l. Ces normes ont été établies en tenant compte de la température moyenne de l'eau et de l'air. [33]

I.3.2. Les bienfaits des fluorures

Depuis des années le fluor est utilisé en prévention de la carie dentaire. On admet aujourd'hui que c'est l'action topique du fluor qui est la plus importante dans le mécanisme cari protecteur. Cette conception s'oppose à l'idée ancienne qui supposait que c'était le fluor absorbé par voie systémique avant l'éruption dentaire qui était déterminant. Pour être efficace, il faut que le fluor soit présent régulièrement à de faibles concentrations (1ppm) dans la cavité buccale. [38]

Pendant l'amélogenèse, le fluorure systémique de l'environnement du germe peut s'intégrer dans les structures cristallines de l'émail en formation. Il se substitue à

un ion hydroxyle, de même forme et de même taille que lui, et augmente la stabilité de la maille cristalline, la rendant moins soluble aux acides. [14]

a) I.4.2.A Rôle antibactérien des fluorures:

Les fluorures ont une activité antibactérienne vis-à-vis de certains éléments des flores responsables des caries et des maladies parodontales, Leurs effets biologiques sur les bactéries orales peuvent interférer avec le métabolisme bactérien et l'acidité de l'écologie de la plaque dentaire.

En effet, elles exercent lorsqu'elles sont en quantité suffisante :

- d'abord une inhibition des enzymes de la glycolyse qui est une dégradation du sucre en acide lactique par les bactéries responsables de la décalcification de l'émail

- ensuite, il y a une compétition entre le fluor et les protéines qui sont responsables de l'adhésion de la plaque bactérienne sur les surfaces dentaires. Tous ces effets ne sont obtenus qu'avec des concentrations très supérieures aux taux normaux en fluorures dans des liquides biologiques et des tissus mous. [34]

De nombreuses études ont montré que la fluoration de l'eau potable réduit considérablement le nombre de caries dentaires chez les enfants. [12]

La carie dentaire est encore un problème important pour la région de Québec. Plus de 40 % des enfants à la maternelle en sont affectés et, dès l'âge de 12 ans, 73 % des jeunes québécois ont des caries sur leurs dents permanentes. [18]

De nombreux gouvernements et organismes de santé, dont Santé Canada, l'Association Canadienne de Santé Publique, l'Association dentaire canadienne, l'Association médicale canadienne et l'Organisation mondiale de la santé appuient la fluoration de l'eau potable afin de prévenir la carie dentaire.

I.3.3. La fluoration des eaux:

La fluoration de l'eau est l'addition contrôlée d'ions fluorures (fluor) dans le système d'eau potable public, à fin d'augmenter volontairement la concentration des fluorures dans l'eau de consommation.

La fluoration de l'eau se fait au Québec depuis 1955, après une longue étude des effets du fluorure naturel. Ces études ont démontré une baisse spectaculaire de la carie dentaire dans les villes où le fluorure survenait naturellement, Le 1^{er} avril 2008 la Ville de Québec à cesser de fluorer son eau potable. [17]

Les procédés utilisés pour la fluoration des eaux de consommation sont analogues aux procédés de coagulation des colloïdes en suspension. La différence la plus importante réside dans la nécessité d'une régulation plus rigoureuse des additions de produits chimiques, mais cette régulation est facilitée par le fait que les doses à ajouter sont constantes, quelles que soient la température et les autres caractéristiques de l'eau à traiter. [16]

La fluoration de l'eau est la méthode la plus efficace par rapport aux autres méthodes préventives. En effet, elle intéresse l'ensemble de la population et est plus accessible pour les personnes qui ne peuvent pas accéder aux soins dentaires préventifs et curatifs. Dans les pays tropicaux, avec une dose de 0,8 mg/l, le fluor permet de réduire la carie de 50%. [34]

I.3.4. Absorption des fluorures

Les voies d'absorption des fluorures sont au nombre de trois :

- Voie digestive
- Voie aérienne
- Voie cutanée. [13]

Les fluorures sont rapidement absorbés au niveau intestinal. Ils sont d'abord distribués de la même façon que les chlorures et demeurent presque totalement dans le compartiment extra-cellulaire. Ils s'accumulent normalement en petites quantités seulement dans les os, les dents et les cartilages. [11]

Quantité absorbée:

Pour les composés inorganiques, il y a libération et absorption des ions F^- selon le degré de solubilité de ces composés. Quant aux composés organo-fluorés, ils sont absorbés dans leur intégralité et non sous forme de F^- .

Les composés solubles dans l'eau de boisson sont presque complètement absorbés quelque soit leur concentration. [13]

En effet, jusqu'à la concentration de 16 ppm les fluorures contenus dans toutes les eaux de boisson de PH égale ou supérieure à 5 peuvent être absorbées intégralement sous forme ionique. [13]

Pour les composés très peu solubles, l'absorption est moins complète et beaucoup plus lente. Elle se situe aux alentours de 60%. Les fluorures naturels de l'alimentation de l'homme sont absorbés à 80%. Les vapeurs, les émanations et les poussières fines sont absorbés presque totalement. [13]

I.3.5. Distribution des fluorures dans le corps humain:

- Squelette (99%, siège de stockage).
- Tissus mous et sang (75% plasma).

Se fixe aussi à l'émail et la dentine pendant la formation des dents.

Passage trans-placentaire des fluorures. [15]

I.3.6. Les effets nocifs des fluorures

Intoxication aiguë:

L'inhalation de vapeur d'acide fluorhydrique à faibles concentrations se traduit par :

- une irritation des muqueuses oculaires : larmoiements, conjonctivites,
- des nausées et des vomissements,
- des diarrhées parfois.

Avec des concentrations plus fortes, une dyspnée importante avec une cyanose apparaît avec le risque d'un œdème aigu ultérieur du poumon. [34]

Intoxication chronique:

a) Fluorose dentaire:

La fluorose est une pathologie liée à un excès de fluor, C'est une lésion dyschromique et structurale des tissus durs de la dent consécutive à une ingestion chronique de fluor supérieure à la dose optimale comprise entre 0,5 et 1,5 mg/l pendant la période de la minéralisation des dents, qui débute dans le troisième mois de

vie in utero et se termine vers 12 ans environ, elle se caractérise par un aspect tacheté de l'émail dentaire. [13]

On distingue plusieurs stades de fluorose dentaire, de très léger (à peine visible) à très sévère (classification de DEAN) (au dernier stade, après que des trous sont apparus sur la surface des dents, ces dernières s'effritent).

Classification de DEAN est basée sur 5 classes qui sont fonction de la qualité de la dent :

Indice	Description	Illustration
0. NORMAL	Structure normale, translucide, semi-vitreux. Surface lisse, brillante couleur blanc crème pâle.	
1. TRES LEGER	Petites zones opaques blanches dispersées de façon irrégulière à la surface de la dent (<25%)	
2. TEMPERE	Zones opaques blanches plus développées (<50%)	
3. MODERE	Toutes les parties émaillées sont atteintes. Existence de taches brunes inesthétiques	
4. SEVERE	Toutes les faces émaillées sont atteintes et la forme générale de la dent peut être altérée. Présence de petites cavités isolées ou confluentes, de taches brunes nombreuses. Aspect souvent corrodé	

Figure1: Classification de DEAN. [19]

La fluorose dentaire peut être suivie d'une :

- Fluorose osseuse.
- Fluorose léthale.

b) Fluorose osseuse:

Connue encore sous le nom d'ostéose fluorée, elle résulte d'une intoxication massive (>4mg/l) et surtout prolongée (10 à 20 ans). Elle se traduit par des changements au niveau d'os :

- Augmentation de la densité osseuse.
- Calcification aux points d'insertion des muscles et exostoses osseuses.

Cette fluorose se manifeste par des douleurs articulaires et/ou une ankylose des articulations d'où le nom de « fluorose ankylosante ». Toutefois, ce n'est qu'après 2 ans au moins d'exposition pour des concentrations hydriques supérieures à 3 mg/l que les symptômes apparaissent. [11]

Les cas les plus graves se manifestent par une réduction de l'amplitude des mouvements, des déformations du squelette et l'accroissement des risques de fracture. Les symptômes les plus sévères tendent à toucher la colonne vertébrale dans les parties inférieures et portantes du corps. La fluorose osseuse peut être réversible (jusqu'à un certain point). [21]



Figure2: Fluorose osseuse [44]

I.5. La sensibilité des végétaux aux fluorures:

Les premières expériences sont faites sur la flore alpines, il est évident que les examens sont limités en ce qui concerne la flore herbacée à un court intervalle de temps compris entre la date de la reprise annuelle de la végétation et la période de fructification, soit en pratique aux seuls mois de mai et juin.

Les observations poursuivies en Maurienne depuis quelques années, toujours dans la première quinzaine de juin, ont permis de relever avec une grande fidélité des atteintes au manteau végétal et plus particulièrement à la flore herbacée. [35]

Les observations:

I — La reproduction fidèle et la présence constante de nécroses sur certains végétaux, alors même que la différence d'altitude est marquée (1 000 m et plus) ou qu'une situation particulière permettrait de penser, soit à une concentration moins élevée en polluants, soit même à une pollution intermittente ou discontinue, autorisent le classement de tels végétaux comme particulièrement sensibles. C'est ainsi qu'à (1 300-1 400 m) d'altitude au hameau de la Planchette (Commune de Beaune) dans un site abrité par une crête qui s'interpose entre la source d'émission et la station, on a pu relever début juin des nécroses déjà bien développées sur:

-Berbéris vulgaris

-Gentiane lutea

-Colchicum autumnale

Alors que les atteintes n'étaient encore que faiblement marquées sur les:

-Veratrum album

-Silène inflata

Sur les végétaux herbacés par contre, le stade avancé de la végétation, l'état de vie ralenti qui suit la fructification peuvent entraîner certains dépérissements des feuilles qui pourraient être confondus avec les effets de la sécheresse, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions certaines d'observations faites trop tardivement. [35]

II— Les chercheurs américains de l'Institut de Riverside (Californie) ont plus spécialement étudié et expérimenté en laboratoires ou en serres l'influence d'une

pollution fluorée sur les plantes cultivées, fleurs, légumes, fruits et plantes de grande culture (céréales diverses, légumineuses...). [35]

-les chercheurs américains ont montré que de fortes concentrations appliquées pendant un temps suffisamment court ralentissent la photosynthèse sans que des nécroses ne soient apparues, la fonction reprend son cours normal quelques heures ou quelques jours après l'arrêt de la fumigation selon la durée de l'expérience. Il s'agit là en fait de pollutions de caractère artificiel qui se présentent assez rarement à l'extérieur des laboratoires, sauf toutefois à l'occasion de pollutions aiguës mais accidentelles dont la durée est souvent telle qu'elles provoquent des dégâts très spectaculaires

- La sensibilité des végétaux paraît pour certaines espèces assez différentes selon le stade de développement du sujet examiné. Ainsi les jeunes plants de frêne portent des nécroses bien développées d'origine fluorée dès le début juin, alors que les sujets adultes sont encore indemnes. [35]

I.6. Qualité des eaux du Sahara Algérien:

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays

Pour le Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde dont les potentialités mobilisables sont estimés à 5 milliards de mètres cube d'eau. [40]

Les conditions lithologiques, hydrodynamiques et hydro chimiques sont variées, notamment dans la partie Est de la région, et confèrent de ce fait un intérêt particulier à ces nappes.

Par ailleurs, diverses études entreprises depuis une trentaine d'années, ont montré que les eaux de cette région sont caractérisées par une minéralisation totale excessive, le plus souvent associées à une dureté élevée et des concentrations élevées en fluorures. [40]

En Algérie, le Sahara septentrional et notamment la zone orientale constitue la région la plus exposée au risque fluorotique. [40]

I.7. Chimie du fluor dans les eaux souterraines:

Les eaux souterraines se chargent en fluor après lessivage de roches phosphatées probablement par dissolution des apatites fluorées dont la solubilité augmente avec la température des nappes considérées (à $T < 35^{\circ}\text{C}$). Le niveau de saturation des eaux dépend principalement du déplacement de l'équilibre de formation de la fluorine: (CaF_2):



La teneur en calcium, l'équilibre des eaux en calcite (CaCO_3), gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Et la formation des complexes calciques (CaSO_4 , CaHCO_3^{+} , CaCO_3) sont des facteurs importants pour le déplacement de cet équilibre. Les eaux des zones de sud Algérie peuvent être soit sous-saturées, soit sursaturées en fluorine. Pour les eaux sous-saturées en fluorine, c'est le rôle de l'écoulement dans le réservoir qui est prépondérant.

En effet, un forage peut modifier la nature des écoulements et la vitesse d'échange des sels minéraux entre le réservoir et la nappe. Pour les eaux sursaturées, l'équilibre de formation de la fluorine contrôle la concentration en ion fluorure. [37]

I.8. Caractéristiques physico-chimique des eaux souterraines de quelques régions du sud algérien:

Tableau2: Analyse physico-chimique des eaux souterraines de la région BISKRA.
[40]

Localité	nappe	Désignation	Conductivité mS/cm	pH	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)
Biskra	Phréatique	O. Biskra	3.8	8.08	93	198	107	-	-	172	976	1200	1.07
		Doucen	4.88	7.14	351	702	421	-	-	1150	-	-	2.94
		El-Hadjeb	3.19	7.14	179	645	43	-	-	185	1100	1750	2.41
	Miopliocène	M'Cid2	6.32	7.04	156	189	261	690	33	351	1999	700	1.49
		El-Alia	5.12	7.23	120	168	187	552	24	290	1799	833	1.33
		F-Wilaya	4.82	7.56	123	184	185	450	37	212	1949	366	1.49
Eocène Albien	S-Chaïba	1.44	8.22	59	133	62	-	-	167	639	370	2.63	
	O- Djellal	3.97	7.97	191	454	186	356	56	139	1545	1250	0.65	

Tableau2: Analyse physico-chimique des eaux souterraines de la région BISKRA.
[40]

Tableau3: Analyse physico-chimique des eaux souterraine des régions OUARGLA et TOUGGOURT. [40]

Localité	nappe	Désignation	Conductivité mS/cm	pH	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	
Ouargla	Phréatique	P128	6.71	7.73	286	707	264	2472	100	196	2249	2556	0.51	
		P121	4.46	8.20	188	363	235	591	21	198	1874	2302	1.07	
	Miopliocène	DIF146	3.63	7.069	136	364	109	438	22	90	830	650	1.72	
		DIF141	3.10	8.40	130	280	145	516	21	74	790	650	1.47	
	Sénonien	DIF142	2.54	8.33	97	285	62	233	14	122	382	650	1.37	
		DIF128	1.90	7.58	102	245	99	233	14	124	360	620	1.68	
	Albien	HADEB	2.50	8.06	103	196	131	178	22	165	400	580	0.63	
		K-EL-RIH	2.83	7.80	110	230	127	-	-	63	-	-	0.56	
	Touggourt	Miopliocène	D38F36	5.09	8.24	268	796	166	455	30	146	1744	900	2.70
			D26F9	7.78	8.30	346	768	373	775	35	155	3224	2310	3.01
Albien		TEMACINE	2.16	8.31	120	320	97	145	33	159	699	760	0.70	
		MEGARINE	2.81	8.11	158	380	152	215	34	134	924	800	0.70	

Les valeurs élevées de la conductivité et une concentration en fluor au-delà des normes de potabilité, soit des teneurs supérieures à 0,6 à 0,8 mg/l de F⁻. Les pH tendent vers l'alcalinité, avec des valeurs entre 7,34 et 8,7. Trois éléments chimiques présentent des teneurs dominantes (SO₄²⁻, Cl⁻ et Na⁺) suivis par Ca²⁺, Mg²⁺ et HCO₃⁻ avec des concentrations variables.

La richesse des eaux en éléments Na^+ , Cl^- , et SO_4^{2-} est liée à la dissolution des formations évaporitiques. Par contre, les éléments Ca^{+2} et Mg^{+2} , proviennent de deux origines, en l'occurrence les formations gypseuses (évaporites) et le calcaire dans le cas des carbonates. [41]

Chapitre II:

Techniques de défluoruration des eaux

II. Les techniques de défluoruration des eaux:

Un grand nombre de techniques permettant de réduire les fortes teneurs en fluorures dans les eaux de consommation, ont été développées. Le choix se fait généralement en fonction du coût de l'opération, des caractéristiques chimiques de l'eau ou encore des infrastructures disponibles [38].

On distingue:

- les procédés chimiques (précipitation).
- les procédés physico-chimiques classiques (adsorption, échange d'ions) et à membranes (électrodialyse, osmose inverse et nanofiltration).

Tableau4: les techniques de défluoruration des eaux.

Précipitation	Précipitation a la chaux et aux sels de calcium
Adsorption	-sur alumine activé. -Bauxite activé. -Bentonite (argile), kaolinite. -sur des matériaux échangeurs d'ions.
Procédé membranaires	-Osmose inverse. -Nano filtration.
Procédé électro membranaire	-Dialyse. -Électrodialyse
Électrochimique	-Electrosorption, -Electrocoagulation.

II.1. Procédé chimique:

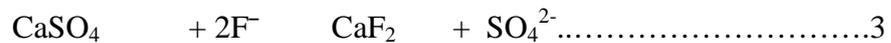
II.1.1. La précipitation:

-Ces procédés sont basés sur la formation de précipités ou d'adsorption du fluorure sur les précipités formés en ajoutant à l'eau traiter un agent défluorant adéquat.

-Compte tenu de la faible insolubilité des fluorures, il est difficile d'effectuer des traitements par précipitation de fluorures insolubles pour le traitement des eaux potables. [1]

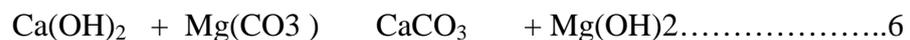
- En pratique, peu de composés permettent de réduire la concentration en fluorures dans les eaux au-dessous des normes. Toutefois, le traitement à la chaux [Ca(OH)] Les sels de calcium comme Ca(OH)₂, CaCl₂ et CaSO₄ sont les plus utilisés pour précipiter les ions fluorures sous forme d'un produit insoluble CaF₂ (fluorure) dans l'eau. La précipitation à la chaux est appelée aussi la décarbonatation. [1], [3]

Les réactions mises en jeu sont les suivantes :



Mais cette méthode ne permet pas d'obtenir une concentration résiduelle en fluor inférieure à celle exigée par la norme (1,5 mg/l) pour des eaux dont la concentration en calcium est inférieure à 200 mg/l.

Cependant, un deuxième phénomène intervient lors du traitement à la chaux. Si l'eau contient du magnésium, il se forme de l'hydroxyde de magnésium selon les équations suivantes



L'hydroxyde de magnésium formé peut alors adsorber les fluorures, puis décanter. Théoriquement, il faut une concentration en magnésium de 50 mg/l environ, pour éliminer 1 mg/l de fluor. Pour les eaux ne contenant pas cette quantité de magnésium, ce qui est couramment le cas, il faudrait ajouter du sulfate de magnésium ou de la chaux dolomitique (CaCO₃, MgCO₃).[3]

II.2. Les procédés physico-chimiques classiques :

II.2.1. L'adsorption:

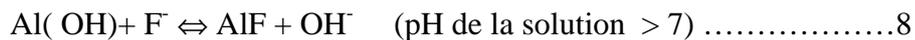
Les fluorures ont la propriété de s'adsorber sur différents composés minéraux (comme l'apatite (3Ca3(PO4)3) où l'ion carbonate peut être remplacé par les ions fluorure pour donner une fluoroapatite insoluble), mais également sur l'alumine, le charbon actif, la chaux enrichie de magnésie, et aussi des poudres ou des charbons d'os.

II.2.1.1. L'alumine activée:

L'alumine activée est obtenue par calcination, sans dépasser 500°C, de l'alumine hydratée Al₂O₃.3H₂O provenant d'une attaque alcaline de la bauxite. [9]

Il s'agit d'une filtration à travers un lit dense d'alumine activée (en série ou en parallèle) il y a un échange entre les ions de fluorure et les hydroxydes à la surface de l'alumine. Des facteurs comme le pH, la concentration influente de fluorure, la taille des particules du milieu filtrant et les ions concurrents (arsenic, sélénium, silice, ions de dureté) ont un effet important sur la réduction du fluorure.

À cause de la nature amphotère de l'AA, le pH a un effet sur ce procédé. À un pH inférieur à 8,2 (point de charge nulle typique de l'AA), la surface de l'AA a une charge positive nette et adsorbe les anions qui se trouvent dans l'eau. [8]



Il y a relâchement des ions OH⁻ et fixation des ions F⁻



Il n'y a pas de relâchement d'ions OH⁻. [2]

II.2.1.2. La bauxite activée:

La bauxite activée est constituée essentiellement par un mélange de composés Al-O-OH et FeO-OH. Le procédé de défluoruration par la bauxite est semblable à celui utilisant l'alumine activée. Mais avec une efficacité moindre. Cependant, il est beaucoup plus efficace que le charbon actif. La réduction des fluorures est importante lorsque le pH de l'eau est situé entre 5.5 et 7.0. [4]

II.2.1.3. L'argile (bentonite):

L'adsorption sur la bentonite activée peut constituer un procédé efficace pour l'élimination du fluor. Ce procédé est particulièrement adapté pour des eaux qui présentent d'une part des teneurs moyennes en fluor et d'autre part des duretés totales importantes pouvant favoriser la fixation du fluor sur l'argile. [10]

II.3. Procédés membranaires:

Ils permettent de retenir totalement les ions fluorures, mais leur coût d'investissement élevé implique que ces procédés soient utilisés seulement lors d'une correction de la minéralisation de l'eau. De plus, les ions fluorures étant monovalents, la nanofiltration s'avère peu efficace. [3]

II.3.1. L'osmose inverse:

Dans le cas de l'osmose inverse, la membrane est perméable à l'eau pure mais constitue une barrière infranchissable pour certaines espèces dissoutes (membrane semi-perméable).

Dans ce procédé. Un réservoir est séparé en deux compartiments à l'aide d'une membrane semi perméable.

On remplit d'eau douce le premier compartiment, cette eau douce traverse la membrane, vers la solution salée, et la pression augmente du côté de cette dernière. Le

passage de l'eau à travers la membrane cesse lorsque la différence de pression entre les solutions est égale à la pression osmotique.

Si on exerce sur la solution salée une pression supérieure à la pression osmotique, de l'eau douce traverse en sens inverse la membrane osmotique, l'osmose inverse est donc une sorte d'hyper filtration. La pureté de l'eau obtenue dépend de la qualité des membranes et de la qualité d'impuretés à éliminer. Normalement, les ions dont le diamètre et la valeur sont élevés sont éliminés plus facilement. [7]

II.3.2. Nano filtration:

C'est un procédé qui est proche de l'osmose inverse. Cette technique permet la rétention d'espèces moléculaires de l'ordre des nanomètres. à savoir de poids moléculaire compris entre 200 et 600 daltons. Elle se situe sur une échelle de taille de particules entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration.

Elle requiert des pressions plus faibles que l'osmose inverse (5 à 10 bars) car la membrane est poreuse et fournit des débits de perméation supérieurs. [4]

Tableau 5. Résultats du traitement par nanofiltration et osmose inverse d'une eau saumâtre fluorée. [33]

	TH (°F)	pH	Cl⁻ (mg/l)	F⁻ (mg/l)
eaux brutes	44,5	7,75	600	0,84
après osmose inverse	0	6,04	7	0,15
après nanofiltration	1,9	7	112	0,59

II.4. Procédé électro-membranaire:

II.4.1. Électrodialyse:

Électrodialyse, se traduit par une dissociation de l'eau et par conséquent par une production de protons H⁺ et d'ions OH⁻ qui d'une part, entrent en compétition dans le transport membranaire avec les espèces à extraire et d'autre part, peuvent provoquer des précipitations d'hydroxydes. [6]

Les ions sont transférés à travers une membrane d'un compartiment contenant une solution appelée « diluât » vers une solution appelée « concentrât ». Ce transfert dépend beaucoup des interactions entre ions d'une part et entre ions et membrane d'autres part. [5]

Une étude de défluoruration a été faite en appliquant le procédé d'électrodialyse à une eau contenant 20mg/l de fluorure. Les conditions opératoires ont été optimisées afin d'obtenir une eau potable dont le pH est de 6 et la concentration en fluorure inférieure à 1.5 mg/l avec un taux d'élimination de 96%. [4]

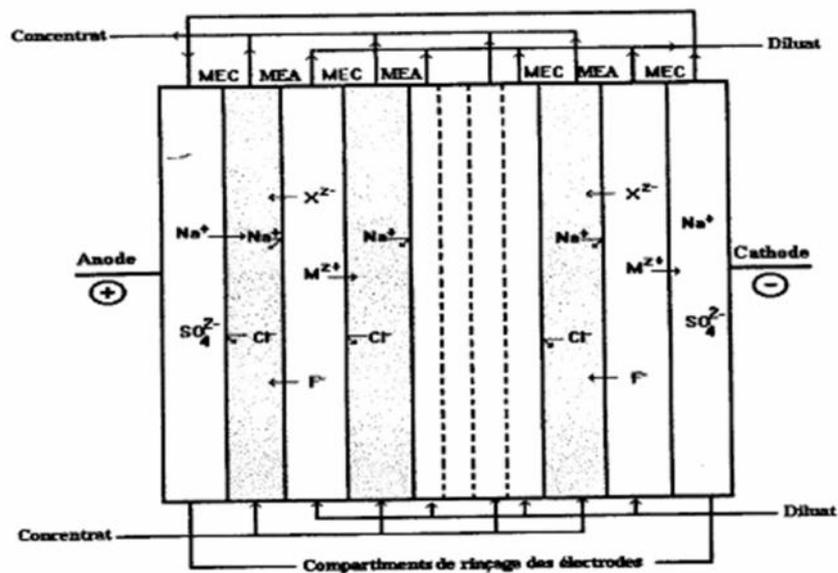


Figure3: Représentation schématique du procédé d'électrodialyse.[9]

II.4.2. Dialyse ionique croisée:

La dialyse ionique est un procédé de séparation membranaire dans lequel les ions sont transportés de part et d'autre de la membrane ionique sous la seule action de leur gradient de concentration.

Pour étudier sa performance en défluoruration une cellule de la dialyse de type filtre-presse a été utilisée, elle comprend deux compartiments avec une membrane anionique insérée au milieu.

L'étude systématique de tous les paramètres variables tels que l'agitation des compartiments ainsi que les caractéristiques de la membrane a montré une influence prépondérante sur le débit transmembranaire. La dialyse ionique croisée pouvait donc constituer une technique de défluoruration présentant les qualités requises. [4]

II.5. Procédé électrochimique:

II.5.1. L'électrocoagulation:

Cette technique se résume à utiliser des anodes pour former un coagulant actif qui servent à dépolluer par précipitation et flottation in situ traditionnelle, L'EC n'exige pas de dilution ni l'ajustement de pH Cette action permet de rassembler la matière en suspension en floccs.[9]

Il permet, au cours du traitement d'épuration des eaux fluorées, de produire des microbulles d'oxygène et d'hydrogène suivant les réactions :



En remontant à la surface, ces bulles finement divisées (< 10 µm) vont entraîner les matières en suspension, les hydrocarbures, les colloïdes, et arriver ainsi à une clarification totale des solutions. De plus, l'oxygène naissant, très réactionnel, fait office d'oxydant puissant et permet aux molécules organiques de se scinder plus facilement. [1]

II.5.2. L'électrosorption:

Cette technologie est basée sur la combinaison de la colonne à l'alumine activée et d'un système électrochimique qui crée un champ électrique dans la colonne et augmente la sorption du fluorure dans les milieux.

L'efficacité de ce procédé dépend de: pH la température, la concentration initiale de fluorure et la dureté de l'eau. [4]

Chapitre III:

coagulation floculation

III.1. La coagulation floculation:

Le procédé de coagulation floculation est un traitement primaire qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent grâce à la réaction d'émulsion. La coagulation a donc pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération. Généralement caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements secondaires [43]



Figure4: procédé coagulation floculation.[44]

III.2. Le processus de coagulation

Il s'agit de déstabiliser les particules colloïdales et à provoquer leur agglutination pour en faire des flocons qui se prêtent à la sédimentation.

Pour vaincre l'énergie d'interaction entre les particules colloïdales, il existe deux possibilités:

-la diminution du potentiel zêta, en ajoutant des réactifs minéraux contenant des cations multivalents qui seront adsorbés au niveau de la surface colloïdale. Il va y avoir donc une neutralisation de charge électrique, appelée généralement coagulation

- l'utilisation, comme réactif de floculation, des polymères organiques qui permettent de rassembler les colloïdes non seulement par réduction de charge électrique, mais également par des effets de pontage entre colloïdes. [42]

Ces réactifs macromoléculaires agissent à la manière d'un filet dans lequel sont emprisonnées les particules.

C'est, en général, à cette forme de déstabilisation qu'on réserve le terme floculation, le terme coagulation étant employé essentiellement pour caractériser une déstabilisation des particules colloïdales par réduction de charge. On distingue ainsi quatre mécanismes de base pour la déstabilisation des particules colloïdales:

- Compression de la double couche (coagulation électrostatique) ;
- Adsorption et neutralisation des charges;
- Emprisonnement des particules dans un précipité.
- Adsorption et pontage.[42]

. Le type de coagulant et la dose ont une influence sur :

- La bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée,
- Le bon ou le mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration,
- Le coût d'exploitation.[36]

III.2.1. Mécanismes de la coagulation:

III.2.1.1. Compression de la double couche:

Les colloïdes sont chargés négativement. Etant de même signe, deux particules colloïdales se repoussent. Elles sont soumises à deux types de forces de direction opposées :

-Force d'attraction gravitationnelle de Van Der Waals, liée à la surface spécifique et à la masse des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu (FA).

-Force de répulsion électrostatique, liée aux charges superficielles des colloïdes et donc à leur potentiel zêta (FR).

_ Si $FA > FR$, l'agrégation se produit,

_ Si $FA < FR$, il y'a principalement la répulsion entre les particules colloïdales.

L'énergie totale d'interaction (E) entre les particules colloïdales est la somme de

l'énergie répulsive E_R due au potentiel électrique et l'énergie attractive E_A [36]

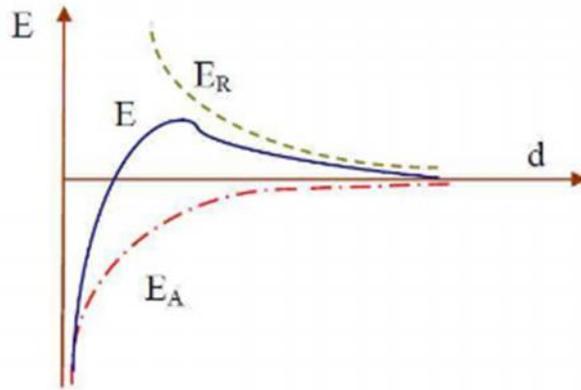


Figure5: Énergie d'interaction entre deux particules lipophiles en fonction de la distance depuis la surface de la particule

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de Van Der Waals ne sont pas affectées. La force ionique est donnée par l'équation: [36]

$$\mu = \frac{1}{2} \sum^n C_n Z_n^2 \dots\dots\dots 12$$

III.2.1.2. Adsorption et neutralisation des charges

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées.[36]

III.2.1.3. Emprisonnement des particules dans un précipité

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme $Al_2(SO_4)_3$ ou $FeCl_3$ sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive. Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précipité formé, appelé floc, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation. La figure ci-dessous résume le mécanisme décrit:

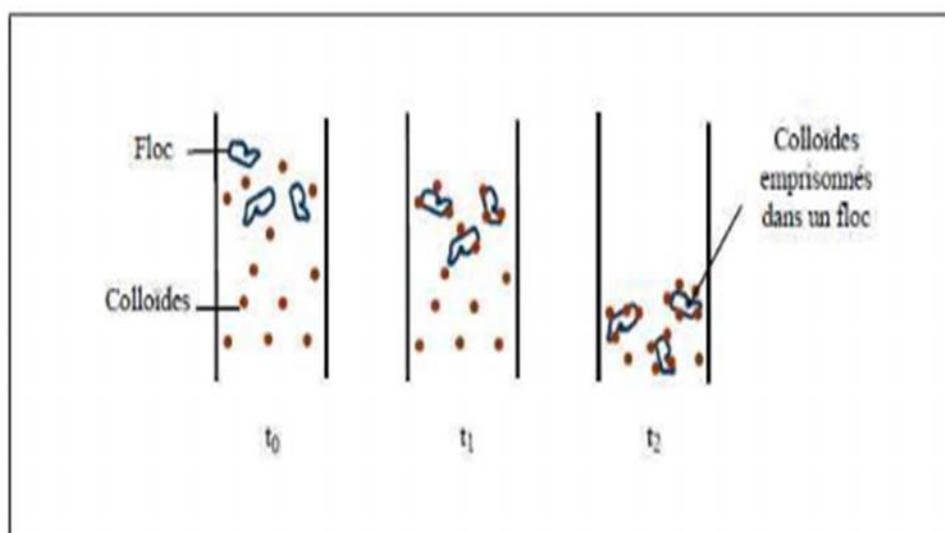


Figure6: Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.[36]

III.2.1.4. Adsorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non-anioniques ou anioniques, ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde l'adsorbe à une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels.

Les autres extrémités demeurent libres et peuvent adsorber un autre colloïde. Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par pontage des polymères. Par contre, une concentration de polymères trop élevée peut réstabiliser les colloïdes[36]

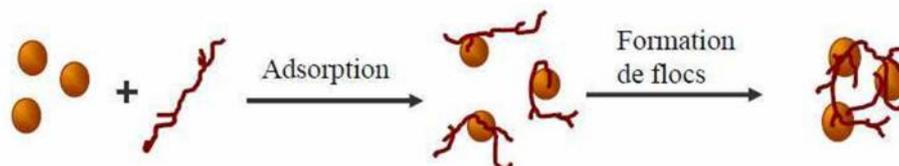


Figure7: Adsorption et pontage à l'aide de polymères[36]

III.3. Le processus de floculation

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules.

Pour mieux illustrer ceci, la figure résume les différents phénomènes de la coagulation-floculation produits par un polymère. La théorie des ponts chimiques propose que la molécule de polymère soit attachée à la particule colloïdale par un ou plusieurs sites comme c'est représenté dans la réaction 1 de la figure. L'attachement résulte d'une attraction coulombienne si le polymère et la particule ont des charges opposées, ou d'un échange des ions, liaisons d'hydrogène, ou des forces de van der Waal's s'ils ont des charges de même signe. [42]

La queue du polymère adsorbé peut s'étaler dans la solution et se lier à un site vacant d'une autre particule formant ainsi un pont chimique comme représenté dans la réaction 2. Cette action de pontage a pour résultat la formation de flocons ayant tendance à se décanter.[42]

Si l'extension du polymère dans la solution ne réussit pas à entrer en contact avec une autre particule, il est possible qu'elle se replie sur la même particule, ce qui restabilise cette dernière comme c'est montré dans la réaction 3. Une coagulation inefficace peut résulter d'une surdose de polymère au système ou d'une longue agitation intense. Si un excès de polymère est ajouté, la chaîne peut saturer les surfaces des particules colloïdales. Ainsi, il ne reste plus des sites disponibles pour la formation des ponts de polymères comme montré dans la réaction 4. Ceci restabilise

les particules et cette restabilisation peut être accompagnée ou non d'une inversion de charge. Une agitation intense ou prolongée peut détruire les ponts déjà établis, entraînant une restabilisation selon les réactions 5 et 6. [42]

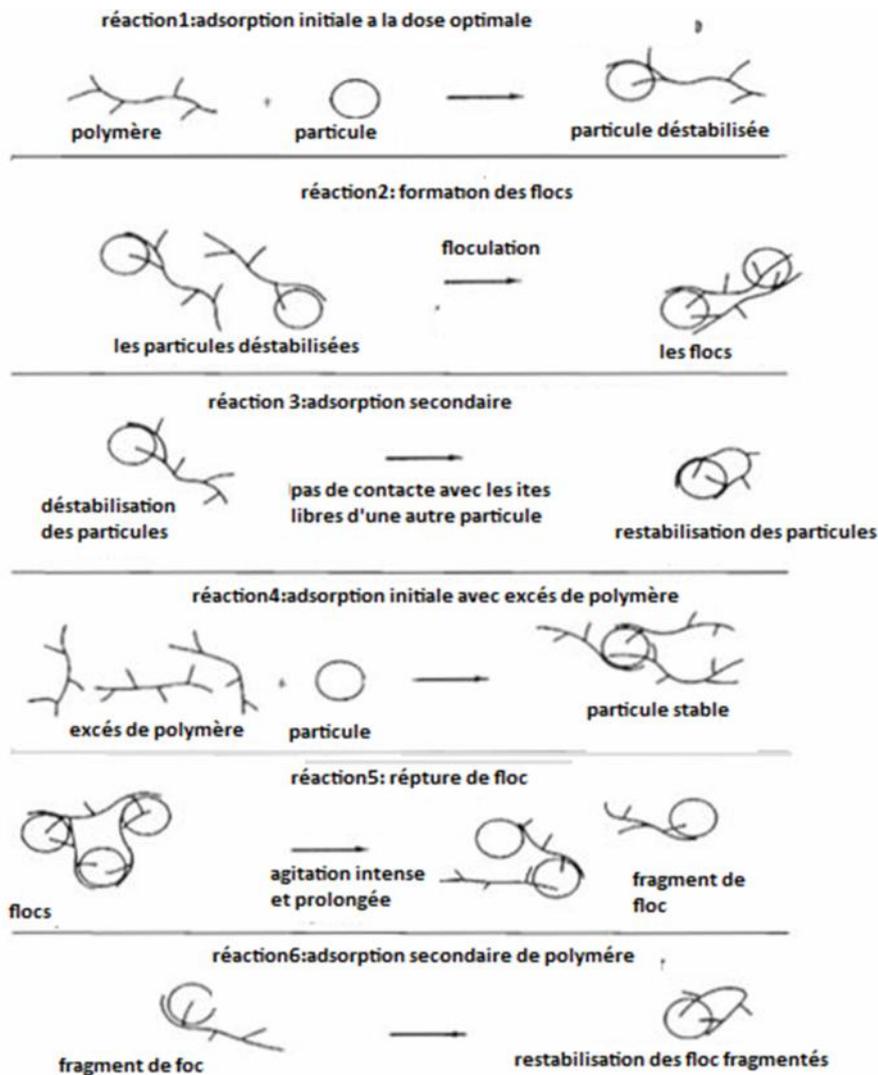


Figure8: les différentes étapes du procédé coagulation floculation.[42]

L'affinité du fluor pour l'alumine peut être utilisée de façon avantageuse lors d'une clarification utilisant des sulfates d'alumine comme coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Les fluorures sont éliminés sur le floc d'hydroxyde[4]

Les sulfate d'aluminium, sous forme de poudre granulométrique de 2,5 à 25 mm se dissout en milieu aqueux avec une apparition concomitante d'une coprécipitation d'hydroxyde et de fluorure d'aluminium.[4]

III.3.1. Floculation péricinétique

Il ya floculation péricinétique liée à l’agitation brownienne, où toutes les particules ont la même énergie cinétique et donc les plus petites ont les vitesses les plus élevées, d’où une plus grande probabilité de rencontre. Le taux de variation du nombre de particules, lors de la floculation péricinétique, est important lorsque la taille des particules est inférieure à 1micron.

Au-delà de cette taille, d'autres mécanismes doivent être utilisés afin d'assurer un taux raisonnable d'agrégation des particules. Le nombre total de particules varient donc selon le modèle de Von Smoluchowski dont les hypothèses sont les suivantes:[36]

- régime permanent
- mélange parfait
- pas d'attrition, ni de fragmentation
- chaque collision conduit à une agrégation. [44]

On obtient alors l'équation suivante :

$$\frac{dN}{dt} = -Gd_p^3 N^2 \dots\dots\dots 13$$

III.3.2. Floculation orthocinétique:

La floculation ortho_cinétique est, liée à l’énergie mécanique dissipée dans la zone de floculation. Elle permet d’obtenir un floc volumineux facilement séparable.

La vitesse du fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par le gradient de vitesse, G. L'efficacité du processus est exprimée selon l'équation suivante lorsque le régime est turbulent:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{2}{3} \Gamma G d^3 N^2 \dots\dots\dots 14$$

Le gradient de vitesse agit sur la probabilité de rencontres des microflocs mais il n'est pas possible de l'augmenter exagérément. Pour des valeurs élevées de G , les flocs subissent un cisaillement mécanique qui les détruit. En coagulation, on admet une valeur de G comprise entre 400 et 1000 s^{-1} mais en floculation le gradient ne peut excéder 100 s^{-1} et beaucoup moins quand les flocs sont de taille supérieure au millimètre. La coagulation se produit de façon rapide (quelques secondes) alors que la floculation requiert plus de temps (20 min et plus)

III.4. Les flocculants minéraux

Le principal agent flocculant d'origine minérale employé dans le domaine du traitement des eaux est la silice activée. Ce composé offre de bons rendements lorsqu'il est associé au sulfate d'aluminium en eau froide. Un inconvénient accompagne l'utilisation de la silice, elle doit être préparée juste avant son utilisation, vu sa faible stabilité.

Les polymères d'origine biologique [42]

Alginates:

Les alginates de sodium sont extraits de l'acide alginique, un composé provenant d'algues marines. Ces produits sont particulièrement employés en combinaison avec les sels ferriques, mais peuvent donner de bons résultats avec les sels d'aluminium. [42]

Amidons:

Obtenus de la pomme de terre, du tapioca ou d'autres végétaux, ces polymères de glucopyranose non linéaires ramifiés sont utilisés de préférence avec les sels d'aluminium. Une fois dilués, leur biodégradation peut-être rapide. [42]

Autres composés:

Plusieurs polysaccharides naturels ont des propriétés flocculantes (cellulose, gommes, tanins, xanthanes), mais ils sont très peu utilisés dans le traitement des eaux. [42]

III.5. Le biofloculant extrait du cactus:

III.5.1. Généralité sur le cactus:

Le cactus est une plante qui produit des fruits comestibles. ces raquettes sont riches en eau et en éléments nutritifs. il peut être considéré comme une espèce adéquate pour une agriculture durable des régions arides et semi arides et ce grâce à sa résistance à la sécheresse et sa contribution dans l'alimentation de l'homme.[45]



Figure 9 : figuier de barbarie "cactus"

Chapitre IV:

Partie expérimentale

IV.1. Introduction:

L'objectif de notre étude est de tester l'efficacité de la rétention du fluor par L'extrait du cactus (figue de barbarie), ce biofloculant à montrer son efficacité dans la réduction de la turbidité et la teneur en chrome des eaux.

Notre étude consiste d'un premier point de caractériser le biofloculant extrait de cactus.

déterminer les conditions optimales d'utilisation de l'extrait sur des solutions synthétiques de fluorure de sodium.

IV.2. Préparation du biofloculant (jus de cactus):

L'extraction du floculant a été réalisé selon les étapes suivantes:

- Nettoyage de la raquette de cactus, par enlèvement des épines et épluchage, puis broyage du cactus,
- Extraction du jus de cactus par filtration par tamisage (500 microns),
- Dilution de jus de cactus dans de l'eau à et homogénéisation par agitation. Le mélange obtenu peut conserver sa capacité de floculation pendant plusieurs mois, lorsqu'il est conservé dans un réfrigérateur. [36]
- Plusieurs dilutions ont été faites pour arriver à la concentration optimale.

l'extrait obtenu est analysé par spectre infrarouge, ultraviolet ainsi que MEB

IV.3. Méthode de dosage des fluorures:

la méthode de dosage utilisée est la méthode ionométrique, elle est basée sur la mesure de l'activité ionique dans des conditions expérimentales bien définies, de concentration en ion en pH et de complexant.

IV.3.1. Matériel et solution utilisé:

- Une électrode spécifique du fluor .
- Un pH-mètre ou un ionomètre.
- Agitateur.
- Solution stabilisante (TISAB)
- Solution synthétique (0.1g/L)

IV.3.2. La préparation des solutions à utiliser:

les produits utilisés:

- Fluorure de sodium NaF.
- Pastilles de soude.
- Chlorure de sodium.
- Citrate de sodium.
- Eau distillée.
- Acide acétique.

IV.4.1. Préparation de la solution mère synthétique:

- Solution synthétique de fluorure de concentration 0,1 g/l en fluor.

On met 0.221 g de NaF dans un litre d'eau distillée

IV.4.2. Préparation de la solution tampon (TISAB):

- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH a 5M:

Pastille de soude..... 59,99g

Eau distillée..... 300ml

- Solution TISABE: (Total Ionic Strength Adjustment Buffer)

- Acide acétique pur 57ml.
- Chlorure de sodium58g.
- Citrate de sodium 4g.
- Eau distillée500ml.

A l'aide de la solution hydroxyde de sodium 5M on ajuste le pH de la solution TISAB à 5.5 puis on complète à 1l avec l'eau distillée.

IV.5. Principe de dosage:

Dans un bécher on introduit 50ml de la solution à doser , on ajoute le même volume de la solution TISAB. On met le mélange sous agitation pendant 3 min, on introduit par la suite l'électrode horizontalement la mesure est prise au bout de 3min en commençant par les solutions diluées pour éviter l'effet de mémoire.

IV.6. Établissement de la courbe d'étalonnage:

Préparer une série de dilutions à partir de la solution mère synthétique 0.1g/L allant d'introduire dans un bécher 50 ml de chaque dilution et ajouter 50 ml de la solution tampon. Après 3 min d'agitation on effectue la mesure en respectant l'intervalle du temps.

IV.7. Le processus de biofloculation:

- Dans des béchers de 1 L on verse 500 ml de l'échantillon, les placer sous les rampes du flocculateur.après les avoir bien nettoyer.
- Régler le temps de contact des différentes étapes de traitement (injection du bioflocculant)
- Régler de temps et la vitesse d'agitation:

- Une agitation rapide (avec une vitesse de rotation de 200 rpm) au début pendant 3 min. Permettant une très bonne diffusion du coagulant, et une bonne déstabilisation.
- Diminuer la vitesse de rotation à 80 rpm
- Ajouter immédiatement et simultanément les différentes doses du floculant. 5ml pour chaque dose.
- Démarrer le programme d'agitation lente qui est de 40 rpm pendant 30 min.

Laisse décanter pendant 20 min, prélevé l'émergent à différents temps de décantation (5, 10, 15, 20) min.

IV.8. Essais de traitement par jar test

Dans une première étape de notre étude, nous avons d'abord effectué des essais pour évaluer la faisabilité et l'efficacité du jus de cactus pour diminuer, voire éliminer par coagulation floculation les ions du fluor présente dans une eau synthétique chargée en fluorure 100mg/l,

Dans une seconde étape, nous appliquerons notre procédé de traitement à des eaux synthétiques de faible concentration en fluorure 5mg/l .étant donné que les concentrations en fluor des eaux au sud algérien sont très proche ou inférieur à cette valeur.

Les effets de la dose du coagulant, du temps de décantation sur le procédé de coagulation-floculation ont été étudiées.



Figure 10 : L'essai du jar test

Pour déterminer l'efficacité du jus de cactus des séries d'essais ont été effectuées à une concentration initiale du fluor 100mg/L.

Le procédé est appliqué ensuite sur des concentrations moins élevées du fluor 5mg/l

Avec variation de quelques paramètres :

- Dose du biofloculant.
- Temps de décantation.
- pH

Chapitre V:

Résultats et Interprétation

V. Caractérisation du jus de cactus:

Le produit est liquide visqueux de coloration verte miscible à l'eau

Aspect: liquide visqueux de couleur verte.

Texture: mucilagineuse et il contient 96% d'eau.

Densité: 1.008 kg/l.

Ph: entre 4 et 5

Turbidité à dilution de 10%: 283 FTU



Figure 11: jus de cactus

V.1.1. Spectre infrarouge :

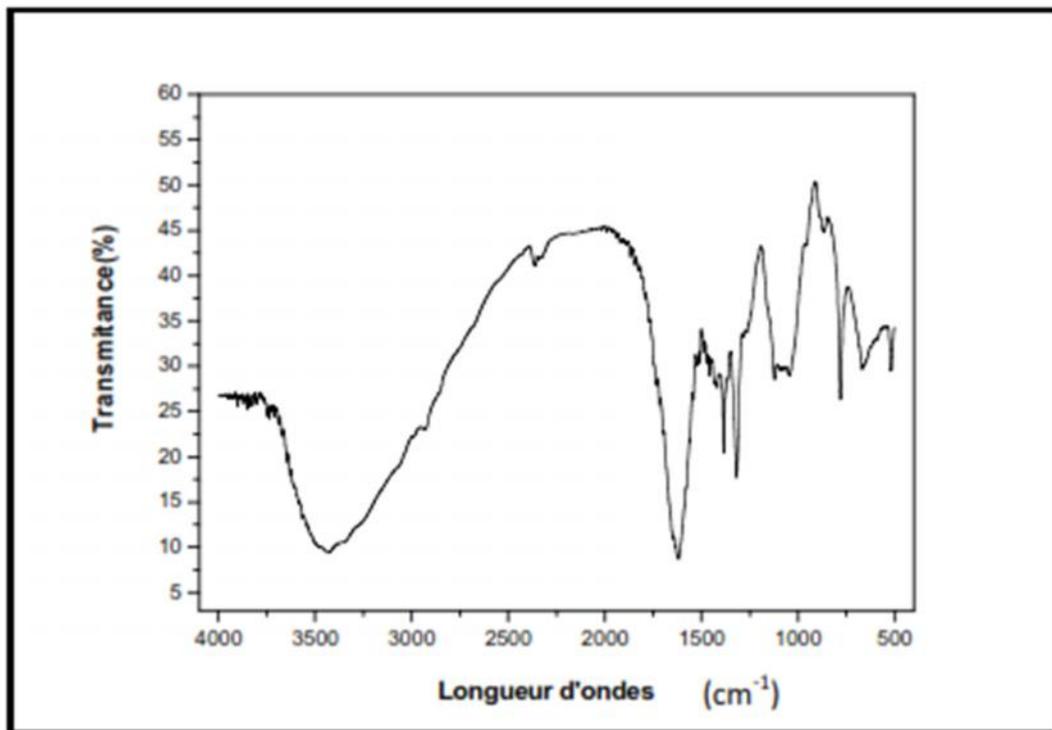


Figure12: Spectre Infrarouge du biofloculant

Si l'on compare les différents pics, on peut observer la présence d'une bande aux environs des $2918-2850\text{ cm}^{-1}$, qui correspond à l'élongation des liaisons CH et CH₂ des polysaccharides. Les groupements carboxyles de l'acide galacturonique, qui est le constituant principal des pectines, constituent un bon marqueur caractéristique de la présence des polysaccharides pectiques. Ces groupements donnent, en infrarouge, des bandes très différenciées de celles des autres groupements présents dans la cellulose ou les hémicelluloses.

La détection par infrarouge des hémicelluloses n'est pas toujours évidente. Ces derniers sont généralement dépourvus ou renferment de faibles quantités de groupements permettant de les différencier de la cellulose. [36]

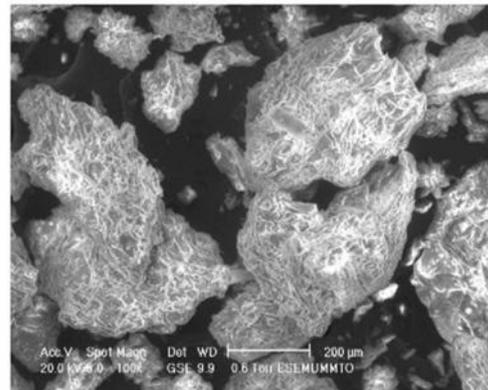
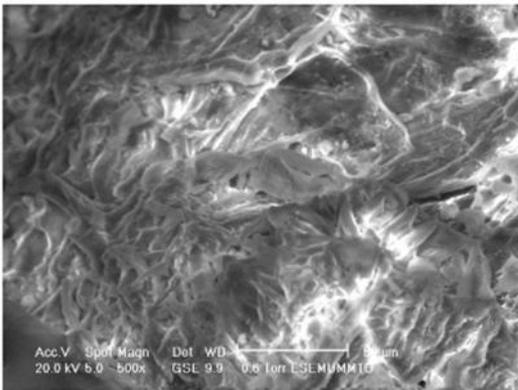
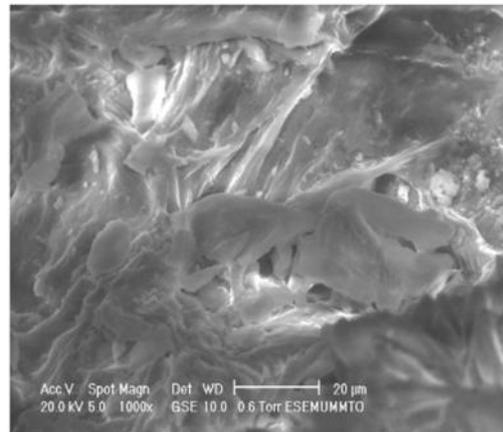
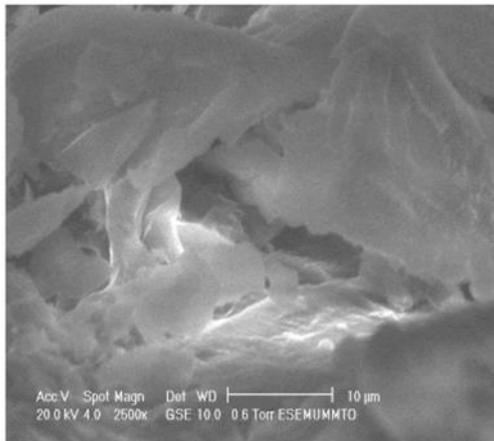
L'eau absorbée est à l'origine d'un pic observée à 1650 cm^{-1} . Cependant, aux environs de 1730 cm^{-1} , on observe la présence de liaison C=O des acides et des esters. [36]

V.1.2. Spectre UV visible du biofloculant:

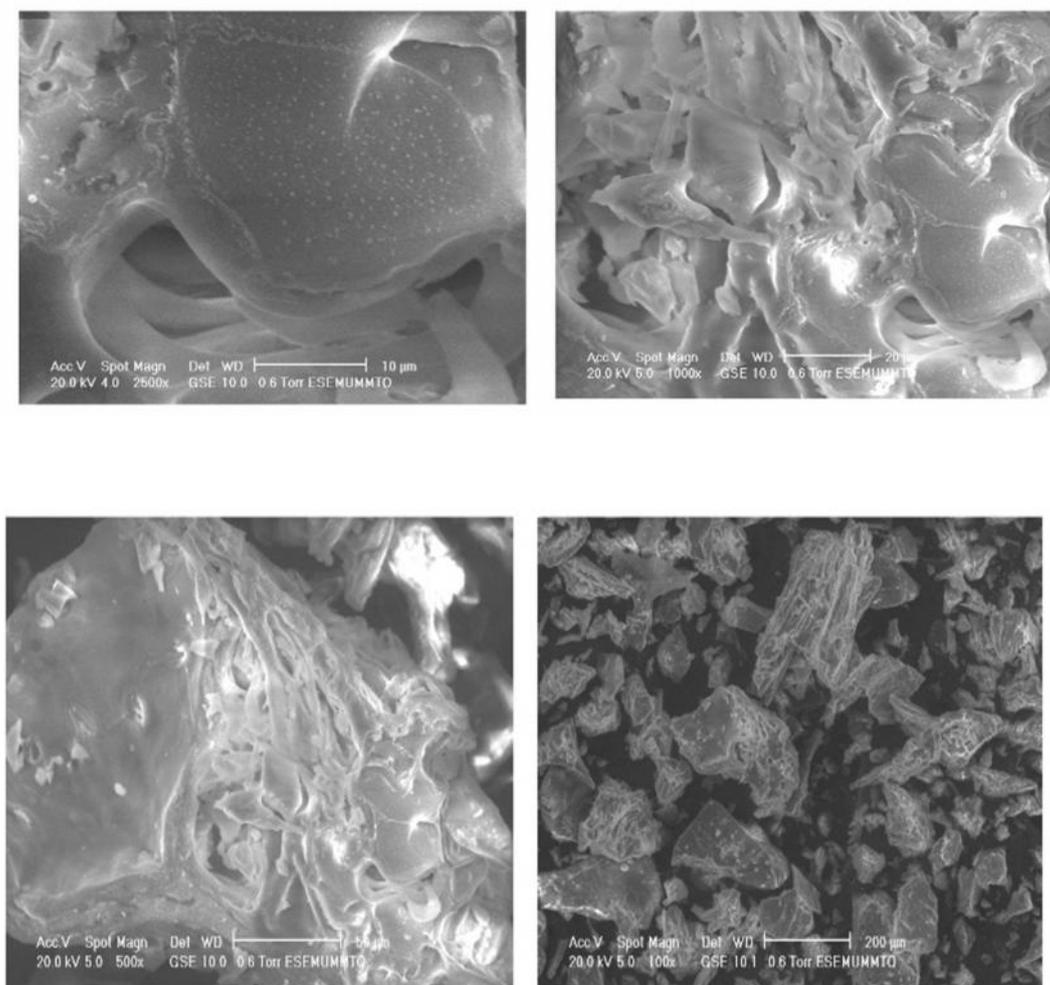
Le spectre UV-Visible du jus brut à 100% se situe entre 400 et 450 nm. Contrairement à celui publié dans la littérature. Cette différence est due à la composition du sol et des conditions climatiques. [36]

V.1.3. Analyse du biofloculant par MEB:

Les photos du jus de cactus obtenues au microscope électronique à balayage sont présentées sous ses deux formes liquide et solide sur la figure suivante. [36]



-Jus de cactus sous forme liquide



-Jus de cactus sous forme solide-

Figure13 : Images du Microscope Electronique à Balayage du jus de cactus sous ses deux formes liquide et solide. [36].

V.1.4. Composition du biofloculant:

L'analyse physicochimique des raquettes de cactus est présentée au tableau Les résultats montrent des similitudes de composition par rapport à celles des légumes de large utilisation.

Tableau6: Composition du biofloculant

Paramètres et unités	Valeurs
pH	4,2
Viscosité (cSt)	11
Azote total (mg/L)	30,42
Protéine (mg/L)	28,31
Sucres Réducteurs (mg/L)	5,84
Ammonium (NH ₄ ⁺) (mg/L)	243
Sulfate (SO ₄ ²⁻) (mg/L)	0,13
Phosphate (PO ₄ ³⁻) (mg/L)	3,48
Sodium (Na ⁺) (%)	2,5
Calcium (Ca ²⁺) (%)	7,7
Potassium (K ⁺) (%)	4
Chlorure (Cl) (mg/L)	150
Taux de cendres (%)	0,79
Extrait sec total (EST) (g/L)	20
Teneur en eau (%)	80
Densité optique (DO) 400 nm	3,4

les jeunes cladodes, sont très riches en eau, 91 à 93%. Et renferment des minéraux représentant plus de 13% de la matière sèche. Ils sont riches en calcium, magnésium, potassium et Cuivre mais ont une faible teneur en phosphore.[36]

une prédominance du calcium est observée à tous les stades de croissance avec un taux variant de 5,18 à 6,13% pour les plus jeunes cladodes.

Cette teneur est plus élevée pour des cladodes dont le poids est égal ou supérieur à 170g, elle atteint 7,27%. La teneur en calcium et magnésium est, quel que soit le stade de croissance, plus élevée que celle trouvée dans les feuilles d'épinard.[36]

La teneur en potassium K⁺ varie de 2,75 à 2,30 % chez les jeunes cladodes; alors que pour les cladodes de poids plus élevé (4 et 5) la teneur connaît une diminution jusqu'à 1,66 % de la matière sèche. Alors que la teneur en magnésium Mg⁺⁺ augmente de 1,21 à 1,66% dans les jeunes cladodes.[36]

V.2. Influence de la dose du flocculant et le temps de décantation:

L'effet de la dose du bioflocculant sur l'élimination des fluorures a été étudié à température ambiante.

Pour déterminer la dose optimale du jus de cactus des séries d'essais ont été effectuées à plusieurs doses de coagulant et à une concentration initiale du fluor 100mg/L.

Le procédé est appliqué ensuite sur des concentration moins élevés du fluor 5mg/l. Les résultats donnant la variation de la concentration initiale résiduelle en fonction de la dose du jus de cactus, pour différents temps de décantation.

V.3. L'Influence du pH

La concentration a été suivie en variant le pH de la solution par l'addition de 0,1 M de HCl ou 0,1 M de NaOH, avant l'ajout du bioflocculant.

V.4. Résultats et interprétation:



Figure 13 :l'agglomération des floccs après 5 minute de décantation.

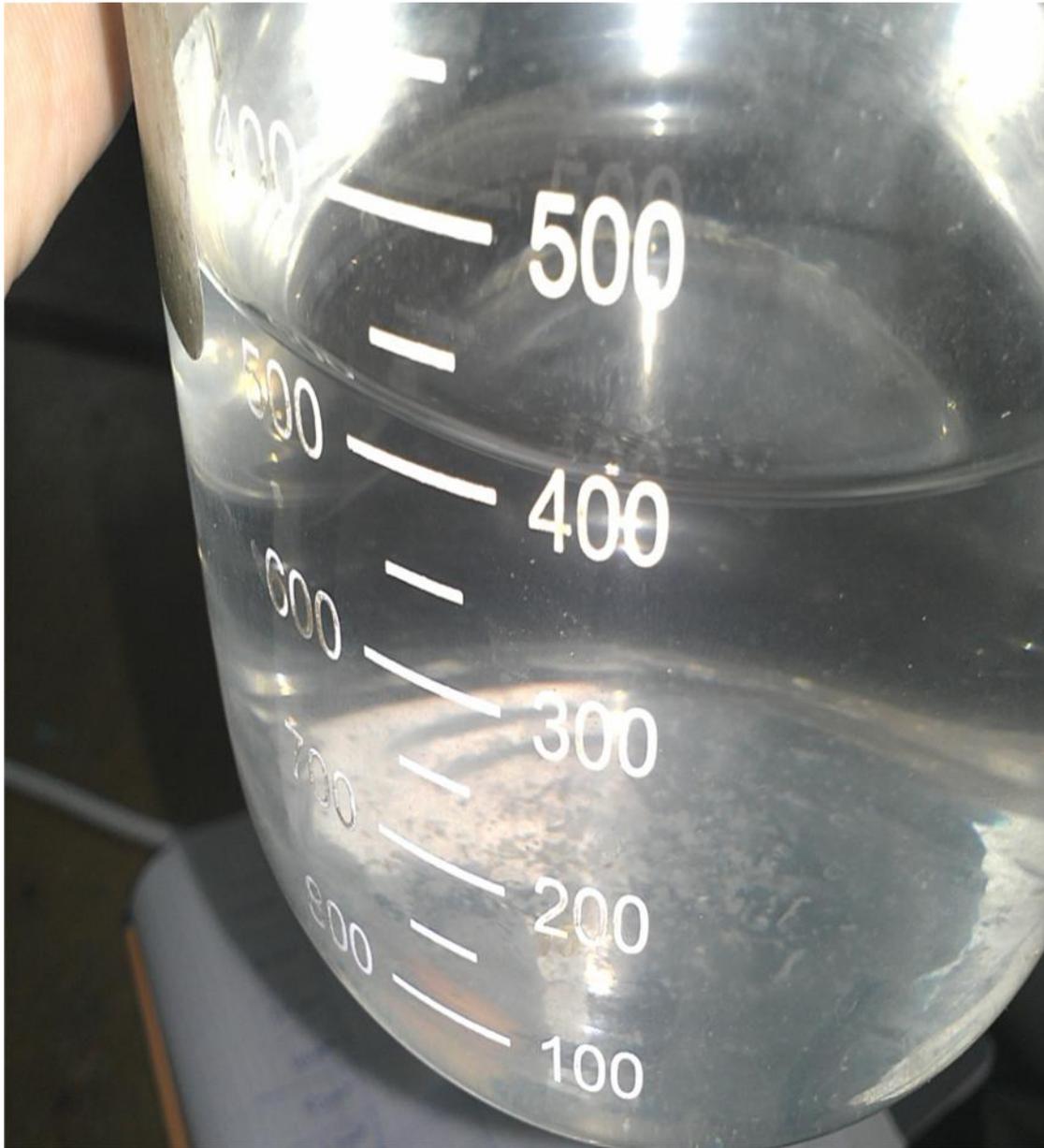


Figure 14 : L'agglomération des floes pour une eau de concentration 5mg/l en fluor après 20 min de décantation.

V.4.1. Influence de la dose du biofloculant et temps de décantation:

Résultats Pour différentes concentrations de biofloculant allant de 0.002g/L à 0.012g/l avec une concentration de 5mg/l de fluorures pour l'échantillon à traiter.

Tableau 7 : Influence de la dose du biofloculant et temps de décantation

	0min	5min	10min	15min	20min
0.002g/L	5	3.67	2.50	2.20	2.08
0.004g/L	5	3.38	2.15	2.19	2.18
0.006g/L	5	2.34	2.36	1.93	1.90
0.008g/L	5	2.12	1.57	1.20	1.18
0.01g/L	5	2.10	1.60	1.08	1.04
0.012g/L	5	2.16	1.43	1.08	1.08

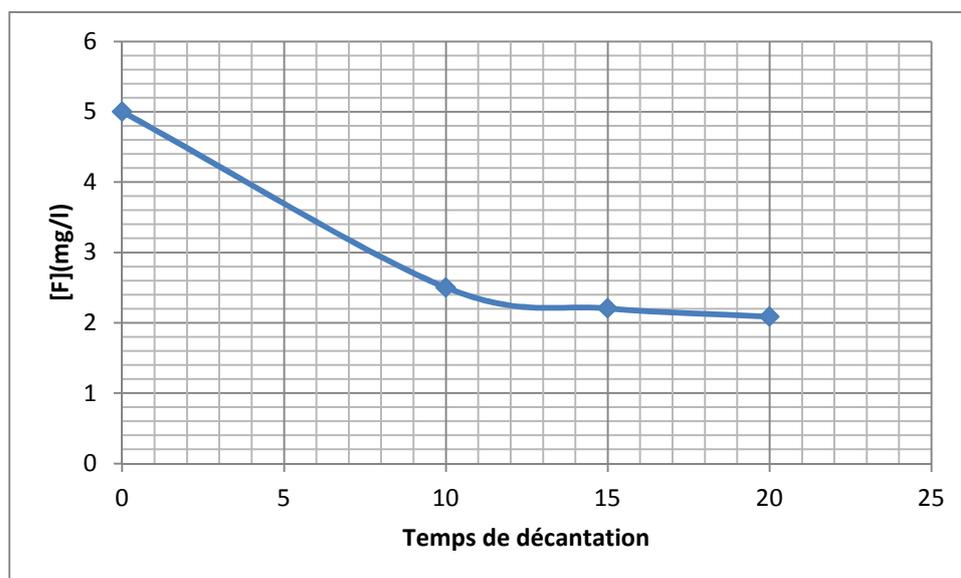


Figure 15: la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.002g/l du biofloculant

D'après ce graphe on remarque que le jus de cactus présente une grande capacité de floculer les fluorures vu que ces derniers sont des particules très réactif ,donc instable

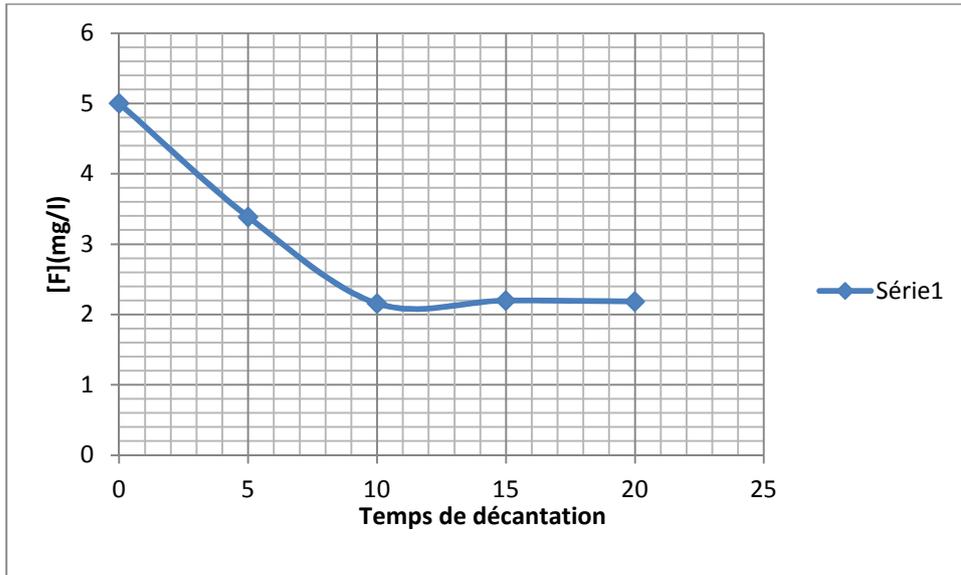


Figure 16 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.004g/l du biofloculant

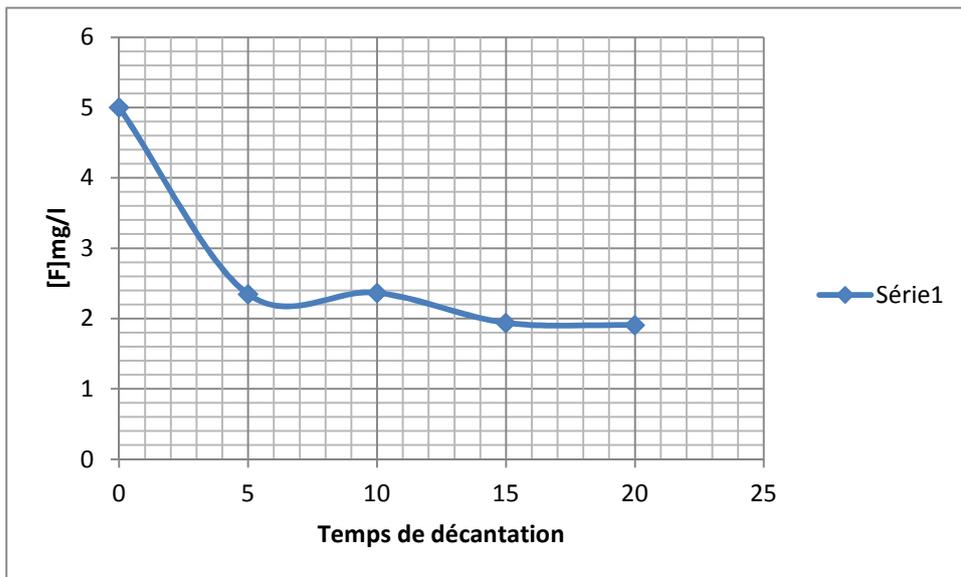


Figure 17 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.006g/l du biofloculant

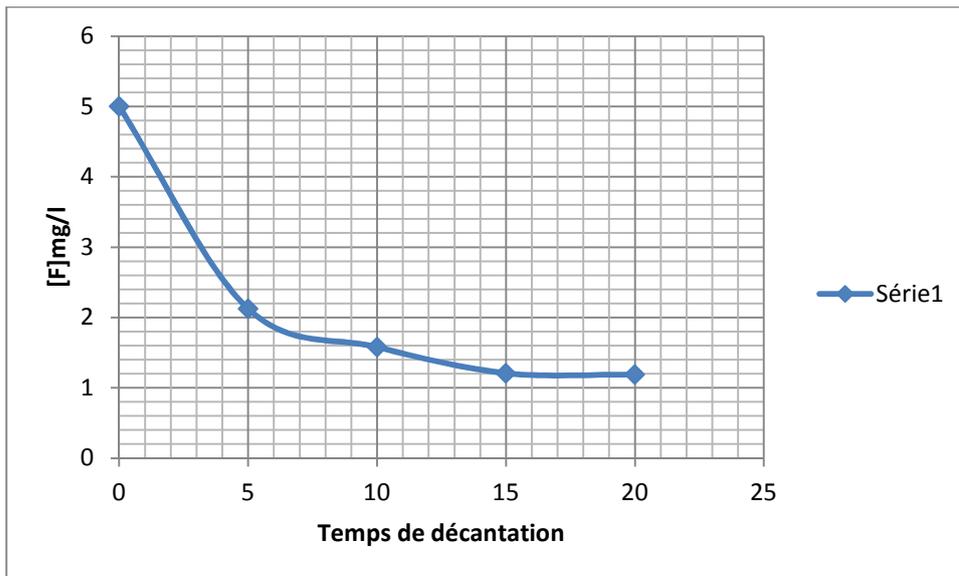


Figure 18 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.008g/l du biofloculant

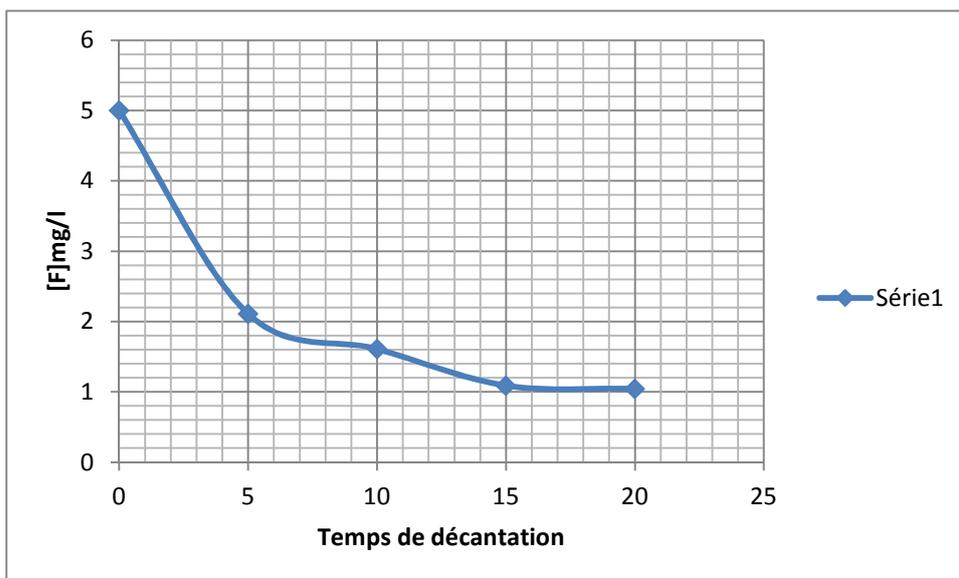


Figure 19 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.01g/l du biofloculant

On remarque que pour des concentrations de 0.01g/l du biofloculant utilisées pour une concentration initiale de 5mg/l en fluor , on peut atteindre une valeur inferieur a la norme recommandée.

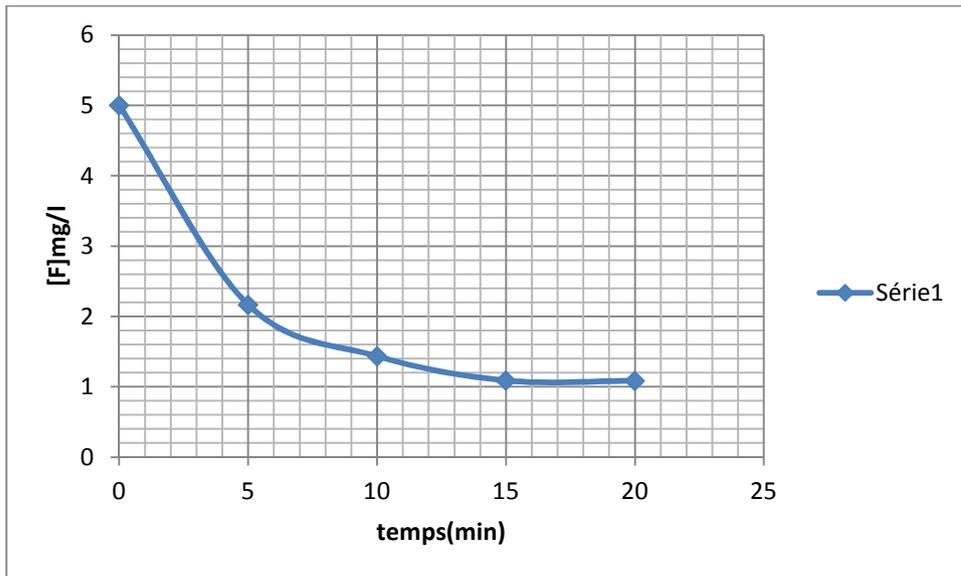


Figure 20 : la quantité du fluor éliminée pour une concentration de 0.012 mg/l du bioflocculant

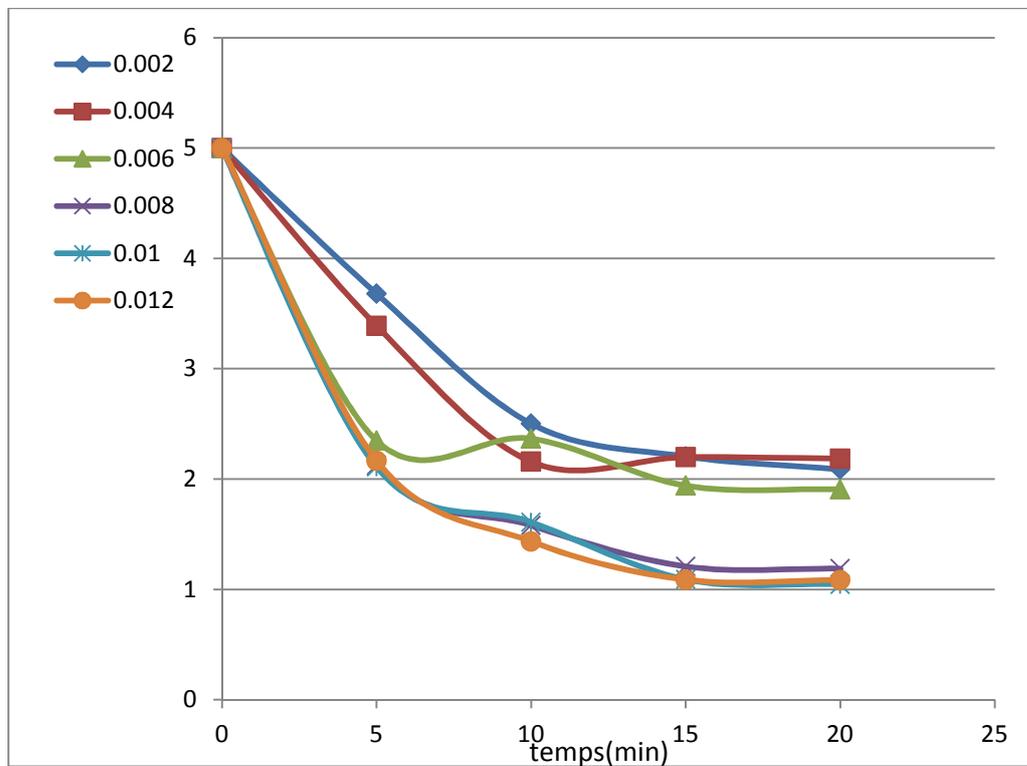


Figure 21 : Influence de la dose du bioflocculant et temps de décantation

Les graphes nous montre une différence entre le pouvoir flocculateur du bioflocculant et la concentration de ce dernier ainsi que le temps de décantation qui joue un rôle très important, on remarque que après environ 20 min de décantation qu'on a pu avoir les concentrations les plus faibles en fluor.

Rendement sur la méthode:

Le rendement est calculé par la formule:

$$R = (C_0 - C) / C \times 100$$

Les rendements sont calculés après 20 min de décantation.

Tableau 7 : Rendement sur la méthode

Concentration de flocculant	rendement
0.002	58.4%
0.004	56.4%
0.006	62%
0.008	76.4%
0.01	79.2%
0.012	78.4%

La floculation avec le jus de cactus peut réduire jusqu'à 79.2% du fluor ce rendement correspond à une concentration de 0.01mg/l en bioflocculant

V.4.2. Influence du PH:

Tableau 8: influence de pH

pH	2	3	4	5	6	7	8
[F](mg/)	3.69	3.04	2.95	2.25	1.12	1.26	1.84

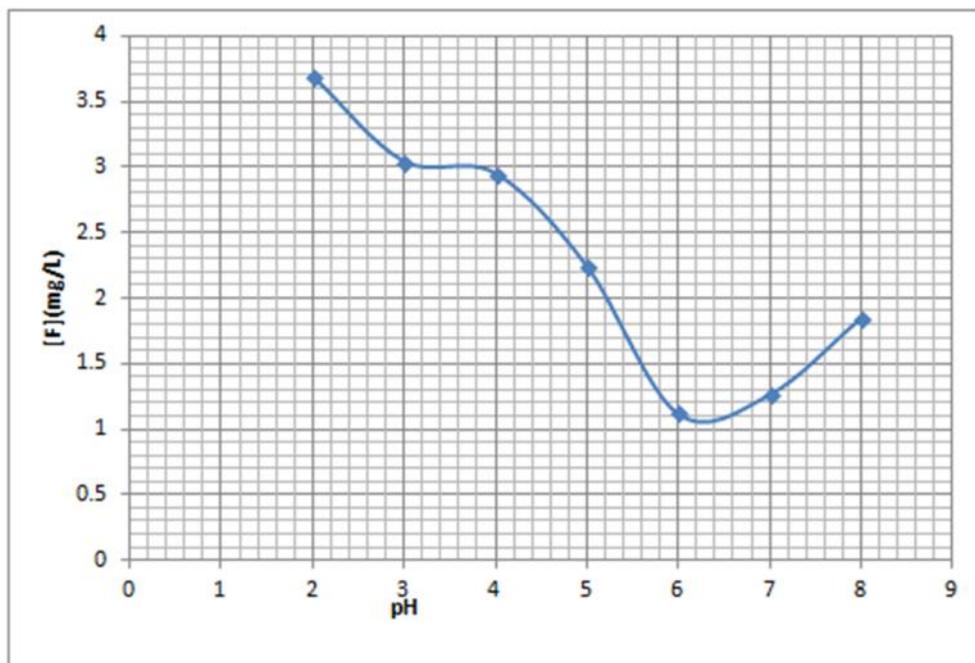


Figure 22 : Influence du pH

le pH optimale pour la floculation est environ 6 à 7 qui'est généralement le pH parfait d'un traitement de floculation.

V.4.3. Avantage :

- Outre son utilisation comme biofloculant le cactus peut-être utilisée comme plante médicinale et comme aliment. C'est un produit biodégradable ne présente aucune toxicité pour la santé humaine.
- Le coût d'utilisation est beaucoup plus bas que les traitements chimiques. C'est donc une alternative envisageable tant pour les pays en voie de développement que pour les pays développés.
- Disponible , le cactus présente un grand pouvoir d'adaptation au climat sec il peut être cultivé dans les région désertique.

V.4.4. Inconvénients :

- L'extrait aqueux provenant des graines augmente considérablement la quantité dematière organique dans l'eau usée, ce qui cause des problèmes d'odeurs, de couleurs.

V.Conclusion:

l'ensemble des essais réalisés en expérimentation, montrent que le nouveau biofloculant présente un bon pouvoir flocculateur son efficacité est comparable à d'autre flocculant couramment utilisés dans le traitement physico- chimiques.

l'invention est confrontée à au problème qui consiste à fournir un flocculant stable, biodégradable et non toxique et cancérigène. la solution offerte par la présente invention se base sur le que certaine étude se sont rendu compte sur le fait que l'ajout de produits naturels permet d'améliorer la cinétique de la séparation solide - liquide. par conséquent, un aspect de l'invention se rapport à l'utilisation d'un produit naturel pour recycler l'eau des boues des fines de phosphates. le produit comme celui fourni par cette invention présente en outre les avantages suivants :

- produit biodégradable n'ayant pas d'impact négatif sur l'environnement lors du stockage des boues.ni sur la santé humaine lors de consommation.
- ne présente aucune toxicité pour le manipulateur.
- stable au cours du temps , facile a extraire et concerver.

Conclusion générale:

Ce travail, a pour l'objectif principal d'améliorer les technique de floculation par l'ajout d'un flocculant biodégradable extrait du cactus "figuier de babaries".

Dans la première étape de la présente étude, nous avons extrait et caractérisé le jus de cactus par les rayons UV , infrarouge et MEB.

Ensuite on a appliqué un procédé de floculation, au cours de cette étape nous avons étudié l'influence de différents paramètres sur le processus de défluoruration tel que : pH , temps de décantation et la dose du bioflocculant.

Nous avons déduit que ces paramètres influent sur l'efficacité du traitement.

Cette méthode peut représenter une alternative au méthode chimiques.

Références:

- [1]:(Actualité chimique 2006)
- [2]:**LOUNICI,GHRIB,MAMERI,ADOUR,BELHOCINE** Fluor dans l'eau potable et la fluorose.
- [3]: (**Memotec n° 15**) L'élimination du fluor dans l'eau destinée à la consommation humaine
- [4] (**ANNANE Ourdia**) :amélioration de la technique de défluoruration par le nouveau procédé d'électrocoagulation bipolaire .
- [5]: (**Courfia Keba Diawara, Abdellahi Lhassani, Maxime Pontié, Pascal Jaouen**) possibilité d'éliminations d'ions fluorure par électrodialyse et nanofiltration
- [6]: (**M HICHOIR, F PERSIN,JSANDEAUX,J MOLENAT, C GAVACH**). défluoruration des eaux par dialyse de donnan et électrodialyse
- [7]:(**A.GADALIA, P.LAURENDON**) gestion de la ressource en eau de l'aquifère captif du bajocien,Phase2 origine et possibilités de traitement du fluor
- [8]: Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, Le fluorure dans l'eau potable,
- [9]: (**ENHAMAID Rima**) défluoruration pas adsorption sur les cendres des veaux
- [10] (**YOUCEF L., ACHOUR S.**) étude de l'élimination des fluorures des eaux de boisson par adsorption sur bentonite
- [11] (**M.SANA FATY, M. AMADOU SARR**) problématique du fluor dans l'alimentation en eaux potables du Sénégal (analyse de la situation et proposition des solutions).
- [12] les fluorures et la santé humaine (santé canada).
- [13] (**Mr Kéba DIONGUE**), étude de prévalence de la carie et de la fluorose dentaires dans les écoles secondaires en zone de fluorose au Sénégal
- [14] (**Jacques DESFONTAINE**) La prévention de la carie : le fluor
- [15] intoxication au fluor : la fluorose (Cours de Toxicologie_5ème Année Pharmacie, Laboratoire de Toxicologie CHU de Constantine)
- [16] technique et contrôle du traitement des eaux (fluoration)
- [17] (**Édith Lacroix, Martine Ouellet et Martine Châtelain**) pour une eau sans fluor
- [18] Fluoration de l'eau potable à la Ville de Québec

- [19] Enquête Épidémiologique Impact du fluor ingéré via les eaux de boisson sur la santé des populations de 5 Communautés Rurales des départements de Fatick, Mbour
- [20] water treatment solutions (LENNETECH)
- [21] Institut national de santé publique du Québec (Fiche Fluorures Octobre 2004)
- [22] (**PIERRE Mazet**) les eaux souterraines riches en fluor dans le monde
- [23] action fluor Québec (les enjeux du fluor)
- [24] <http://ars.sante.fr/Le-fluor.100005.0.html>
- [25] UDPPC (union des professeur de physique et de chimie)
<http://www.udppc.asso.fr/national/index.php/component/content/article/40/313-fluor-presentation>
- [26] (**SAOUD Djamila**) étude de l'effet des ions fluorures sur la formation de lithiase urinaire dans la région dur sud-est algérien
- [27] <http://fluor.sosblog.fr/>
- [29] http://fr.wikibooks.org/wiki/Wikijunior:Les_%C3%A9l%C3%A9ments/Fluor
- [30] réseau français du fluor
(http://gisfluor.univlemans.fr/article.php3?id_article=41)
- [31]
[tp://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/pharm_00352349_1983_num_71_256_2766](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/pharm_00352349_1983_num_71_256_2766)
- [32] centre d'étude et de recherche vétérinaire et agrochimique
http://www.codacerva.be/index.php?option=com_content&id=218&Itemid=212&lang=fr
- [33] Distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments consommés dans la willaya d'El-Oued
- [34] (**Ibrahima SARR**)le dosage des fluorures dans les pates dentifrices commercialisée au sénégal
- [35] (**J.BOSSAVY**) échelle de sensibilité au fluor
- [36] (**FEDALA NAZIHA**) Utilisation des composés végétaux pour le traitement des eaux
- [37] (**S.E Laouini , S Ladjel et Med, R ouarhani**) caractéristique physico-chimique et qualité des eaux d'alimentation de la ville d'EL OUED étude de cas "fluor arsenic"
- [38] **siraj djamila** Défluoruration par adsorption sur cendres d'os de veaux, 2010/2011.

[40] (**TABOUCHE.N ACHOUR.S**) Étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien

[41] approche hydrogéochimique a l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'oued m'ya (ouargla°)

[42] (**ELIAS ASSAAD**) étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite chitosane dans l'élimination de métaux de transition mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en chimie par mai 2006.

[43] Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans le effluents piscicoles

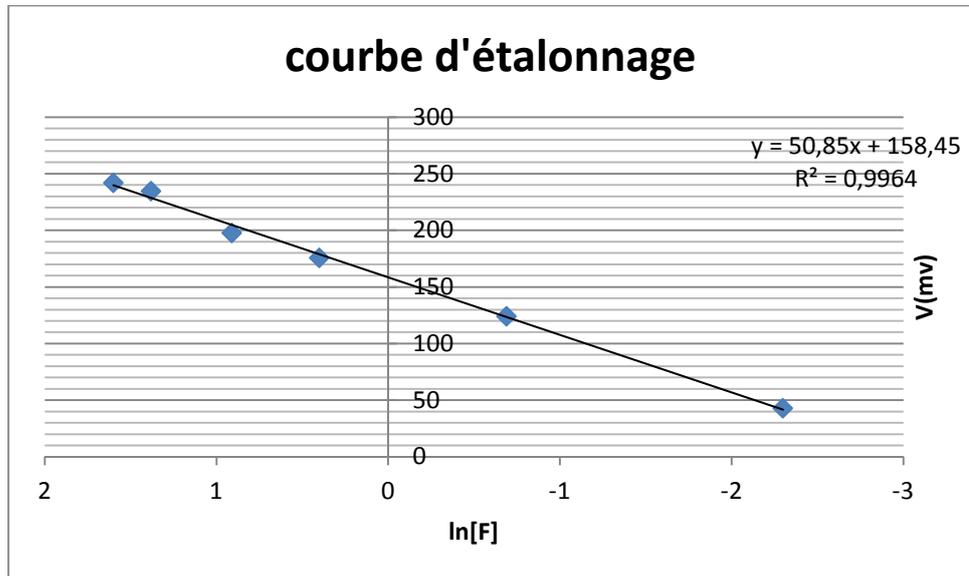
[44] <http://www.fluorideandfluorosis.com/fluorosis/fluorosis.html>

[45] (**ARBA .M**) le cactus opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. 16 mai 2009

[46] Le Fluor en chimie médicinale.

ANNEXE:

La courbe d'étalonnage du fluor:



Principe du dosage potentiométrique :

L'électrode sélective aux ions fluorures est une électrode combinée à membrane cristalline (cristal de Fluorure de Lanthane). Elle donne une réponse (potentiel) proportionnelle à la concentration aux ions fluorures :

$$E = E_0 - S \text{ Log } [F^-]$$

La relation ($E = f(\text{Log } [F^-])$) est linéaire pour une gamme de concentration allant de 10^{-1} M à 10^{-5} M en ions fluorures.

Caractéristiques du dosage potentiométrique:

- L'électrode sélective aux ions fluorures fonctionne à des teneurs supérieures à 50 ug/l.
- La précision de la méthode est de l'ordre de 5%.
- Citrate de sodium peut être remplacé par l'C.D.T.A. (0.30g) qui permet d'éviter que des ions fluorures soient complexés avec des ions tels que l'aluminium, fer, et la silice.
- il est nécessaire que le pH de l'eau soit compris entre 4 et 8.

Résumé:

Le fluor à une certaine concentration est un élément essentiel pour le corps humain il intervient dans la protection de l'émail contre les caries dentaires.

Cependant, à des concentrations élevées, ce dernier engendre de sérieux problèmes sur la santé humaine tel que: la fluorose dentaire et la fluorose osseuse.

Les eaux du sud algérien renferment des teneurs élevées en fluor exerçant un effet néfaste sur la santé de la population. Ainsi une défluoruration préalable des eaux d'alimentation s'avère nécessaire

Notre projet porte sur la défluoruration par biofloculation sur un support végétal qu'est le jus de cactus qu'a déjà donné de bons résultats pour réduire la turbidité des eaux.

Mots clés : fluor, fluorure, biofloculation, défluoruration, jus de cactus

:

يعتبر الفلوريد مهم للجسم وذلك عندما يؤخذ بكميات قليلة فهو يحمي الاسنان من التسوس لكن عندما تزيد كميات الفلوريد المستهلكة عن الحد العادي يصبح مضر لصحة الانسان . الفلوروز الذي يفتك بالاسنان و العظام, تعتبر المياه من أهم المصادر الأساسية للفلور خاصة مياه الصحراء . ومن هنا يستلزم البحث عن طرق لتنقية المياه من الفلوريد الحالية على الرغم من فعاليتها لديه العديد من العيوب, وهو ما يقودنا إلى البحث عن بدائل هذا المشروع يحتوي على طريقة لتنقية الفلوريد من المياه بالتلبد عن طريق الملبد الطبيعي عصير الصبار الذي أثبتت فعاليته في معالجة المياه العكرة, **الكلمات الجوهرية :** الفلور, الفلوريد, التلبد الطبيعي , الفلورة

Abstract:

Fluorine at a certain concentration is essential for the human body, it is involved in protecting the enamel against dental caries.

At high concentrations, it causes real problems on human health such as: dental fluorosis and skeletal fluorosis.

The Algerian Sahara especially southeastern contains high levels of fluoride. hence the need to find methods to normalize the rate as current methods despite their effectiveness has many disadvantages, which leads us to look for alternatives.

Our project focuses on the defluoridation by biofloculation a vegetable stand what the cactus juice work already been successful in reducing turbidity loaded suspension.

Key words: Fluorine, fluoride, defluoridation, biofloculation, cactus juice