

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de
Master en génie des procédés
Option : ANALYSE ET CONTROLE DE QAULITE

Le 01/06/2017

THEME :

**Préparation et caractérisation du charbon qui contient
d'oxyde de zinc et oxyde d'aluminium comme adsorbants
pour prélevé les fluorures d'eau de boisson**

Présenté par

AHMED MESSAOUD Marwa.

CHEBAB Amina.

Devant le Jury composée de

Encadré par

ZOUBIEDI Chahinez

Mr.TABCHOUC Ahmed.	M.A.A	U.K.M Ouargla	Président
Mr.CHAWKI Morade.	M.A.B	U.K.M Ouargla	Examineur
Mr.IHADDADENE Bleid.	Dr	U.K.M Ouargla	Examineur

Année Universitaire 2016/2017

Remerciement

En préambule à ce mémoire, je remercie Dieu qui nous aide toujours, et qui nous a dirigés

D'être aujourd'hui là.

*Je souhaite adresser ici mes chaleureux sentiments de gratitude et de remerciement à mon
encadreur **ZOUBEIDI Chahinaz***

Tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en

Acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur bienveillante attention.

Je tiens aussi à exprimer mes profonds sentiments de gratitude à tous les enseignants qui

Ont contribué à notre formation.

Enfin, un énorme remerciement et un grand sentiment de reconnaissance s'adressent à tous

Les participants à notre expérience pour leurs aides et leurs sacrifices

Surtout Mr. Segni laadjel, Mr., Mme aicha .F

Chef Laboratoire (A.D.E) Ouargla et son équipe,

Qu'ils ont prodigués et à tous qu'ils ont nous aidée de prêt ou

De loin pour la réussite de cette mémoire.

Chelal Amina

Ahmed Messaoud Marwa



Dédicace

A mes parents

A mes frères et sœurs

A ma famille

A mes amis

A tous ce qui me sens chère

Je dédie ce modeste travail

Chelal Amina

Ahmed Messaoud Marwa

Liste des Figure

Fig. N°	Titre	Page
Figure 1.1	Les éléments contenus dans l'eau.	6
Figure 2.2	Fluorose dentaire.	13
Figure 2.3	Email tacheté.	13
Figure 2.4	problème d'ostéofluorose.	14
Figure 2.5	fluorose osseuse.	14
Figure 2.6	les diverses techniques de traitement mise en œuvre pour réduire la teneur en fluorures dans les eaux destinées à la consommation humaine	18
Figure 3.7	Les étapes de préparation de charbon actif à partir des tiges de palmiers.	21
Figure 3.8	Etape de carbonisation.	21
Figure 3.9	Les étapes de la défluorisation.	23
Figure 3.10	UV-Visible utilisé pour mesurer les teneurs en F ⁻¹ dans les échantillons.	24
Figure 3.11	l'injection de réactif dans les échantillons.	24
Figure 4. 12	point zéro charge des différent charbons	27
Figure 4.13	Cinétique d'adsorption de fluor avec l'adsorbant obtenu à températures de carbonisation 900°C (AlZn900/C)	29
Figure 4.14	Elimination de fluor en fonction des quantités d'AlZn900/C.	30
Figure 4.15	Stabilisation de pH en fonction du temps.	31
Figure 4.16	Stabilisation de conductivité.	32

Liste des Tableaux

Tab N°	Titre	Page
Tableau 2.1	Propriétés physiques et chimiques du fluor.	10
Tableau 2.2	Effets du fluorure en fonction de sa concentration dans l'eau.	15
Tableau 2.3	Capacités de défluorisation de différents adsorbants chimiques	17
Tableau 4.4	Le rendement du charbon des tiges après la carbonisation	26
Tableau 4.5	Les valeurs pH point zéro charge	27
Tableau 4.6	doses de fluor après l'addition d'AlZn900/C	28
Tableau 4.7	valeurs des PH_{pzc} de AlZnxxx/C	29

liste des abreviation

- ❖ **ADE** : Algériennes Des Eaux.
- ❖ **CEE** : Communauté Économique Européenne.
- ❖ **OI** : Osmose Inverse.
- ❖ **OMS** : Organisation Mondial de la Santé.
- ❖ **PH** : Potentiel d'Hydrogène.
- ❖ **NA** : Norme Algérienne.
- ❖ **NF** : Nano Filtration.
- ❖ **HF** : Acide Fluorhydrique.
- ❖ **CNT** : Nano tub de carbone.
- ❖ **R** : rendement.
- ❖ **P** : poids.

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Resumé	
Liste des tableaux	
Liste des figure	
Liste des abreviations	
Introduction générale	

Chapitre 1 : Sources d'eau de boisson surfacique etsouterraine

1.1 Généralité	3
1.2 Les sources d'eau de la boisson.....	3
1.2.1 Eaux de source, eaux minérales	3
1.2.2 Eaux brutes	3
1.3 La classification des eaux.....	4
1.3.1 Les caractéristiques naturelles des eaux	4
1.4 Composition chimique de l'eau	5
1.4.1 Les composés minérales.....	5
1.4.2 Les composés organiques.....	5
1.4.3 Rôles et importances des éléments chimiques dans l'eau	6
1.4.4 Potabilité de l'eau	7
1.4.5 Critères et normes de potabilité de potabilité	8
1.5 Différents normes applicables aux eaux consommation	8
1.6 Différentes qualités de l'eau	9

Chapitre 2 : Généralité sur le fluor et les techniques de défluorisation

2.1 Introduction	10
2.2 Propriétés générales du fluor	10
2.3 Le Fluor dans l'eau.....	11

2.4 Les sources naturelles du fluore	11
2.4.1 La nature des roches de l'aquifère	11
2.4.2 Le temps de contact entre l'eau et les minéraux fluorés	11
2.5 Les sources anthropiques	12
2.6 Effet du fluor sur Organisme	12
2.7 Les techniques de défluorisation.....	15
2.7.1 Les méthodes classiques.....	15
2.7.1.1 Par précipitation.....	15
2.7.1.2 Par coagulation Floculation (Technique de Nalgonda)	15
2.7.1.3 Elimination des fluorures par échange d'ions.....	16
2.7.1.4 Elimination des fluorures par adsorption.....	16
2.7.2 Les nouvelles techniques.....	17
2.7.2.1 Les techniques à membrane.....	17
2.7.2.2 Les procédés électrochimiques	17
2.8 Conclusion	19

Chapitre 3

MATERIELS ET METHODES

3.1 Introduction.....	20
3.2 Préparation des charbons actifs	20
3.2.1 Etapes de préparation des charbons	20
3.2.2 Collecte les tiges des palmiers.....	21
3.2.3 Prétraitement des tiges de palmier	21
3.2.4 Activation chimique.....	21
3.2.5. Carbonisation des tiges de palmier	22
3.2.6. Neutralisation de charbon actif.....	22
3.3. Méthodes de caractérisation des charbons	22
3.3.1. pH pzc (point zéro charge).....	22
3.3.2. pH des charbons actifs préparés	23
3.4. Expériences d'adsorption de fluorure	23
3.4.1. Prélèvement des eaux	23
3.4.2. Technique de défluorisation appliqués	23
3.4.2.1. Principe.....	24

3.4.3. Mesure de teneur en ions de fluorures.....	24
3.4.4. Matériels utilisés.....	25

Chapitre 4:Resultats et discution

4.5. Imprégnation et carbonisation du bois.....	27
4.5.1. Caractérisation des charbons contenant des oxydes d'Al et de Zn	27
4.5.2. Titrage potentiométrique.....	27
4.6. Enlèvement du fluorure.....	29
4.6.1. Cinétique d'adsorption	29
4.6.2.Élimination de fluor en fonction des concentrations du charbon (AlZn900/C).....	30
4.6.3. Stabilisation de pH en fonction du temps	31
4.6.4. Stabilisation de conductivité en fonction du temps.....	31
4.7. Conclusion	32
Conclusion générale	33
Références bibliographiques	

Annexes

Introduction

Introduction

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques [1].

Un bien commun indispensable à la vie et à la santé. Il est universellement admis que l'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas être de mauvaise qualité ou bien polluée par des agents pathogènes, contenus en quantités dangereuses ou alors des substances chimiques, ou de germes nocifs pour la santé car il peut être aussi une source de maladies et inonder de vastes zones. Le manque d'eau ou une sécheresse prolongée peut faire de nombreuses victimes [1].

De manière générale, l'excès de certains produits chimiques dans l'eau est à l'origine de graves problèmes de santé. C'est le cas de l'aluminium (maladie d'Alzheimer), de l'arsenic (Cancers cutanés), du cadmium (effets neurologiques) mais aussi des fluorures. Ces dernières sont à l'origine de graves pathologies connues sous le nom de fluoroses, dont le degré de gravité est fonction croissante du taux d'ingestion de cet élément.

De nombreux pays possèdent des eaux dont la concentration en fluorures dépasse largement la norme O.M.S. qui est de 1,5 mg/l. Des zones de fluorose endémique sont alors observées à travers le monde [2].

Les analyses physico-chimiques des eaux de la région d'Ouargla, montrent que les teneurs en fluorures dépassent fréquemment les normes de l'OMS. Le risque de la fluorose augmente si en tient compte des apports de fluorure induit par le régime alimentaire caractéristique de la région (consommation de thé et des dattes) [3].

L'objectif de ce travail est de connaître la teneur de fluor dans les eaux de la région d'Ouargla (IFRI) et la possibilité de les défluoriser. Les traitements des eaux ont été réalisés par la technique de l'adsorption par le charbon de bois qui contient d'oxyde de zinc (ZnO) et l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3).

Ce mémoire est repartir en deux parties :

➤ **La première partie, c'est partie théorique. Elle contient deux chapitres :**

- Chapitre I : Les sources d'eau de boisson surfacique et souterraine et sa potabilité.
- Chapitre II : Techniques de défluorisation des eaux.

- **La deuxième partie, c'est la partie expérimentale. Elle contient un chapitre :**
 - ✚ Chapitre III : Analyses des échantillons de l'eau potable consommé par les habitants de la cité de la cilice (d'IFRI). Cette analyse est réalisé eau près du laboratoire de l'ADE (Algérienne Des Eaux de la wilaya d'Ouargla) en collaboration et sous la supervision des ingénieurs de ce laboratoire.

partie théorique

Chapitre 1

Les sources d'eau de boisson surfacique et souterraine

1.1 Généralité

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée.

La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé.

1.2 Les sources d'eau de la boisson

1.2.1 Eaux de source, eaux minérales

Les eaux dites «**de source** » sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine ; on parle alors d'eau potable. Les eaux minérales naturelles, possèdent des propriétés particulières : elles ont des teneurs en minéraux et en oligo-éléments qui peuvent leur donner des vertus thérapeutiques. Comme les eaux de source, elles ne peuvent être traitées. Elle est d'origine profonde et de composition physico-chimique constante dans le temps, et satisfait à des exigences microbiologiques plus strictes que les autres eaux destinées à la consommation humaine [3].

1.2.2 Eaux brutes

Ressource en eau avant tout traitement de potabilisation va dépendre à l'autorisation de prélever cette eau pour la rendre potable et la filière de potabilisation appropriée.

Ses eaux superficielles destinées à la production alimentaire doivent répondre à des exigences de qualité très précises et fixés par des organismes spécialisés [1].

Les eaux brutes utilisables pour fournir de l'eau destinée à la distribution sont classées en trois catégories de qualité [1] :

- **Bonne qualité** : traitement physique simple et désinfection.
- **Qualité moyenne** : traitement physique, chimique et désinfection.

- **Qualité médiocre** : traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.

1.3 La classification des eaux

Les critères de classement prennent en compte de nombreux paramètres de différente nature, concernant les caractéristiques physico-chimiques de l'eau :

- ❖ La présence de substances indésirables.
- ❖ La présence de substances toxiques.
- ❖ La présence de pesticides.
- ❖ La qualité microbiologique.
- ❖ Et également la couleur de l'eau Il faut souligner que c'est le facteur le plus mauvais de l'analyse qui détermine le classement de L'eau. Les eaux qui ne satisfont pas au moins aux critères retenus pour la catégorie « **médiocre** » sont exclues de l'utilisation pour la production d'eau potable [4].

1.3.1 Les caractéristiques naturelles des eaux

Qu'il s'agisse d'eaux souterraines ou superficielles, la ressource en eau doit être protégée contre les divers facteurs de pollution qui la menacent.

Ces facteurs résultent, pour la plupart, de l'activité humaine et industrielle, mais aussi de processus naturels qui peuvent dégrader la qualité de l'eau ; il y a dans la nature un milieu vivant qui renferme bien d'autres choses que des molécules H_2O . L'eau pure n'existe pas à l'état naturel [5].

Elle contient toujours quelque chose au contact des milieux qu'elle traverse :

- **Des matières dissoutes** : Provenant des terrains traversés (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, ...) : le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en certains éléments.
- **Des particules d'argiles en suspension** : Qui forment une surface susceptible d'attirer et de fixer des bactéries et des molécules diverses,
- **Des bactéries** : dans les eaux superficielles, sous l'effet du soleil, de l'oxygène ou de la chaleur, une prolifération bactérienne ou algale peut se développer.

- **Des matières organiques :** Provenant du cycle de décomposition des végétaux et des animaux.

Ainsi, une eau souterraine non polluée peut présenter une odeur ou un goût désagréable, devenir trouble, contenir des particules filamenteuses, également les eaux superficielles, sous l'effet du soleil, de l'oxygène ou de la chaleur, une prolifération bactérienne peut se développer [5].

1.4 Composition chimique de l'eau

La composition chimique de l'eau est ainsi complètement liée aux caractéristiques du forage versant dans lequel elle opère son cycle (la nature du sol et du sous-sol, les espèces végétales et animales, mais également les activités humaines [1]). L'eau contient en réalité et naturellement :

1.4.1 Les composés minéraux

L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les carbonates (CO_3^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}), les chlorures (Cl^-) et les nitrates (NO_3^-). Ils proviennent pour l'essentiel du lessivage des sols par les eaux de pluie. Aussi, leur teneur dépend-elle directement de la nature des roches du bassin versant.

L'eau contient aussi des éléments nutritifs, ou nutriments, que sont l'azote (contenu dans l'ammoniac, les nitrites et les nitrates), le phosphore (contenu dans les phosphates) et la silice, mais aussi le fer et le manganèse.

D'autres éléments ne sont présents qu'à l'état de trace, comme l'arsenic, le cuivre, le cadmium, le manganèse, le fer, le zinc, le cobalt, le plomb et autres. Ils proviennent des roches mais aussi parfois des activités industrielles et domestiques.

L'eau contient aussi des matières minérales en suspension (matériaux argileux, limons, etc.) [6].

1.4.2 Les composés organiques

Les matières organiques peuvent être présentes sous forme dissoute (carbohydrates, acides humiques, pigments et composés d'origine artificielle comme les hydrocarbures, les solvants chlorés, ou les pesticides), ou en suspension (déchets

végétaux, plancton...). Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi de composés issus de l'activité humaine. Leur concentration, infime dans les eaux profondes, peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface [6].

1.4.3 Rôles et importances des éléments chimiques dans l'eau

Il s'agit de voir les éléments chimiques présents dans l'eau n'ont pas la même importance. Ils peuvent être classés en :



Figure 1.1 : Les éléments contenus dans l'eau

- **Eléments normaux de l'eau :** L'eau potable doit en contenir, si possible, en quantité souhaitable les éléments suivants : Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_2^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- .
- **Eléments indices de pollution d'origine organique :** Ce sont les matières organiques (ou coefficient d'oxydabilité de l'eau), l'oxygène dissous, les matières azotées (l'azote ammoniacal, les nitrites, les nitrates), les phosphates, La variation de teneur de ces éléments est à surveiller.
- **Eléments à rechercher :** Le cas de pollution d'origine industrielle, subdivisés en
 - ❖ **Eléments considérés comme indésirables :** Ce sont le Fer(Fe), le Zinc(Zn), le Cuivre(Cu), le Manganèse(Mg), les Phénols(C_6H_6O), le Nickel(Ni). La présence de ces éléments à des teneurs dépassant des doses spécifiques provoque des gênes dans l'utilisation de l'eau.
 - ❖ **Eléments considérés comme toxiques :** Ce sont l'Arsenic(As), le Chrome(CH IV) valent, le Plomb(Pb), les Cyanures(CN), le Sélénium(Se), le Fluor(F). L'existence même, ou la présence à des doses dépassant des limites spécifiques de ces éléments peuvent causer des altérations graves à l'organisme.

L'eau potable qui arrive après traitement comprend donc de nombreux éléments naturels, seuls ceux qui sont nuisibles à la santé ou indésirables sont éliminés [7].

- **Le calcium** : Indispensable dans la constitution de nos os et de nos dents.
- **Le magnésium** : Combat la fatigue, lutte contre les spasmes digestifs et la constipation.
- **Le sodium** : Contrôle l'équilibre en eau de nos tissus et aide à transmettre l'influx nerveux.
- **Le potassium** : Agit positivement sur les contractions musculaires
- **Le bicarbonate ou hydrogencarbonate** : Vital dans le maintien de l'équilibre acido-basique et du pH de nos cellules.
- **Les chlorures** : Sont présents dans nos liquides intracellulaires.
- **Le sulfate** : Favorise l'élimination des toxines. C'est aussi un élément essentiel des cartilages, cheveux, vaisseaux sanguins et tissus conjonctifs.
- **Les «oligo-éléments», dits également «éléments-traces»** : Parce qu'ils existent en quantité infinitésimales, sont pour certains reconnus essentiels pour la santé. On peut citer :
 - ❖ **Le fluor** : L'anti carie par excellence.
 - ❖ **Le cuivre** : Qui intervient dans le fonctionnement de nombreux enzymes ainsi que la synthèse des protéines.
 - ❖ **Le fer** : Constituant de l'hémoglobine.
 - ❖ **L'iode** : Entre dans la composition d'hormones de la glande thyroïde, et bien d'autres encore.

1.4.4 Potabilité de l'eau

La qualité de l'eau dépend de facteurs naturels déterminants (sol, sous-sol, etc.....) et d'activités humaines (agricole, industrielle et domestique) produisant des rejets qui se retrouvent directement ou indirectement dans les milieux aquatiques, Paramètres permettant de juger de la qualité d'une eau de surface, Ces paramètres permettent d'acquérir des connaissances de base, de développer une surveillance pour détecter des perturbations et de mettre en place un suivi pour rétroagir sur la gestion et l'améliorer la qualité de l'eau.

L'approvisionnement en eau potable implique la découverte d'un gîte (eau souterraine ou de surface d'origine pluviale), le captage de l'eau (puits et sources), Son transport, sa distribution (réseau public, plomberie domestique) et enfin sa consommation ; Aussi pour

conséquence la création d'une concentration ponctuelle de pollution (eaux usées) impliquant un risque permanent de contamination de l'eau destinée à la consommation pouvant apparaître sous formes d'épidémies massives et brutales (typhoïde, choléra, dysenterie).

L'eau provenant de la nature peut contenir des algues, des pollens, des levures, des bactéries, des virus qu'il faut éviter pour rester en bonne santé. C'est pourquoi, il est nécessaire de les intercepter. Par contre, dans son parcours naturel, l'eau se charge de sels minéraux et de micro-organismes présents dans la nature, il contient parfois du calcaire, ce sont des composés qui sont bénéfiques pour l'être humain, ils ne sont donc pas éliminés, et différents traitements permettront d'enlever les matières indésirables.

1.4.5 Critères et normes de potabilité de potabilité

Ces critères concernent en premier lieu l'eau brute, que l'on capte dans une nappe d'eau souterraine ou dans une eau de surface et à partir de laquelle on va produire de l'eau potable. Cette eau brute que l'on prélève dans le milieu naturel doit répondre à des exigences de qualité. Elle subit un traitement de potabilisation plus ou moins poussé selon sa qualité. L'eau produite qui est ensuite distribuée aux consommateurs doit être potable c'est-à-dire conforme aux exigences de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine. Les normes ou seuils pour l'eau brute et l'eau distribuée sont précisés par les textes de lois [8].

1.5 Différents normes applicables aux eaux consommation

➤ Norme de potabilité des eaux de consommation

Les normes déterminant une eau potable ont été fixées par le décret N° 14-96 du 04 Mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif N° 11-125 du 22 Mars 2011 définissant la qualité de l'eau de consommation humaine. Il fixe les valeurs limites et indicatives des paramètres à contrôler.

➤ Norme Algérienne NA

La norme Algérienne NA 6360-1992 est inspirée des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (*OMS*) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la communauté Économique Européenne (*CEE*). (**ANNEXE : 01**)

1.6 Différentes qualités de l'eau

- **La qualité microbiologique** : L'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni bactérie pathogène.
- **La qualité chimique** : Les substances chimiques autres que les sels minéraux font l'objet de normes très sévères. Ces substances sont dites « **indésirables** » ou « *toxiques* »
 - ❖ **Les substances indésirables** : Leur présence est tolérée tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil (le fluor et les nitrates par exemple).
 - ❖ **Les substances aux effets toxiques** : Le plomb et le chrome font partie. Les teneurs tolérées sont extrêmement faibles
- **La qualité physique et gustative** : L'eau doit être limpide, claire, aérée et ne doit présenter ni saveur ni odeur désagréable.
- **Les eaux adoucies ou déminéralisées** : Les eaux traitées par un adoucisseur d'eau doivent contenir une teneur minimale en calcium ou en magnésium, de même qu'en carbonate ou en bicarbonate.

Chapitre 2

Généralité sur le fluor et les techniques de défluoruration

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

2.1 Introduction

Le fluor est un métalloïde de la famille des halogènes. Il est le plus électronégatif de cette famille, il est découvert en 1886 par Henri Moissan. Il est l'un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre (0.06-0.09%), ce qui lui confère une réactivité chimique telle qu'on ne le rencontre jamais à l'état libre dans la nature mais sous la forme d'ions fluorures (OMS, 1985). Selon la concentration du fluorure absorbé, il peut être bénéfique ou néfaste pour à des fluoroses dentaire et osseuses. Compte tenu de cet effet, des normes internationales et locales ont été établies. La santé de l'homme. Comme tout oligo-élément, l'ion fluorure est bénéfique pour l'organisme humain à de faibles taux mais, dès que sa concentration est trop importante, il s'avère toxique et conduit [3].

2.2 Propriétés générales du fluor

Tableau 2.1 : Propriétés physiques et chimiques du fluor.

Propriété	Valeurs	Unité
Nombre atomique	9	
Masse molaire	18.9984032	g/mol
Etat élémentaire	F, gazeuses	
Etat physique (à 25c)	Gaze	
Pont de fusion(F ₂)	-219,61	
point d'ébullition	-188,23	
pois spécifique	1.5127 à 188.13	C (liq)
Densité	1.696	kJ/mol
rayon atomique (F ⁻)	0.71	Pm
rayon ionique (F ⁻)	133	Pm
Electronégativité	4,0	
Energie d'ionisation	1686.6	KJ/mol
Affinité électronique	332.6	KJ/A mol
Couleur	jaune pâle, jaune vert	
Odeur	fort, intense, étouffer	
seul d'odeur	0,035	µg F-/g
Toxicité par inhalation	1	µg F-/g (seul limite)
limite de l'inhalation de courte durée	0,5	µg F-/g par min
chaleur lente de l'évaporation	1,67. 105 J/kg (= 30,8 cal/g)	J/kg ou cal/g
pression critique	55	Atm
E (1/2F/F ⁻)	2,866	V
indice de réfraction	1,000195	

2.3 Le Fluor dans l'eau

Le fluorure se retrouve dans toutes les eaux naturelles à quelque concentration. Les eaux de mer contiennent environ 1 mg/l, tandis que les rivières et les lacs présentent généralement des concentrations de moins de 0,5 mg/l dans les eaux souterraines, cependant, les faibles ou fortes concentrations de fluorure peuvent se produire, en fonction de la nature des roches[9].

Les eaux riches en fluor peuvent se rencontrer dans les trois grands types de terrain que sont les bassins sédimentaires, les zones de socle cristallins et les régions volcaniques[10]. La teneur en fluorure de précipitations dépend pour beaucoup de la nature et de degré de liberté des polluants atmosphériques qu'elles contiennent. Par ailleurs, dans les eaux superficielles et souterraines cette teneur dépend de nombreux facteurs :

- ❖ La porosité des roches et des sols où l'eau circule et la vitesse de cette circulation,
- ❖ La température à laquelle a lieu l'interaction entre les eaux et les roches,
- ❖ La composition des sels que l'eau traverse avant d'atteindre les nappes,
- ❖ La capacité chimique de l'eau à solubiliser le fluor [11].

2.4 Les sources naturelles du fluore

Les sources naturelles à l'origine de la teneur en fluor des eaux souterraines les plus couramment constatées sont :

2.4.1 La nature des roches de l'aquifère

Les eaux riches en fluor peuvent se rencontrer dans les trois grands types de terrain que sont les bassins sédimentaires, les zones de socle cristallins et les régions volcaniques, l'origine du fluor provient du fait que, excepté pour les évaporites, le fluor est l'halogène le plus abondant des roches sédimentaires [12]. La fluorite, l'apatite ou fluo apatite des bassins phosphatés et les micas sont les principaux minéraux fluorés de ces roches [13].

2.4.2 Le temps de contact entre l'eau et les minéraux fluorés

L'origine du fluor vient alors soit du lessivage des roches magmatiques alcalines possédant des minéraux tels que l'apatite, la topaze ou la fluorine soit de l'activité

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

volcanique elle-même engendrant des apports gazeux fluorés[14].L'hydrodynamique du système aquifère joue quant à lui un rôle important par le temps de contact entre l'eau et les roches. Ainsi, lorsque le flux des eaux souterraines est relativement lent, une nette augmentation des teneurs en fluor est observée. Le rôle du climat est donc ici très important [3].

2.5 Les sources anthropiques

L'apport en fluor dans les eaux souterraines peut également provenir d'activités anthropiques. L'utilisation intensive des engrais phosphatés (fluor apatite), d'insecticides ou d'herbicides contenant des fluorures en tant que constituant essentiel ou sous forme d'impuretés (Cryolite, fluor silicate de baryum), induit généralement une pollution des nappes phréatiques aux alentours des sols ayant subi un tel traitement. Les industries de l'acier, de l'aluminium, du verre, de fabrication de briques et de tuiles, représentent également une source potentielle de contamination en fluor du milieu. Les rejets d'eaux usées et les émissions gazeuses tels que : HF ou SiF_4 , peuvent se solubiliser au contact d'un milieu aqueux et intégrer ainsi le cycle de l'eau [15].

2.6 Effet du fluor sur Organisme

Le fluor peut avoir plusieurs effets sur l'organisme. Ces derniers se produisent essentiellement au niveau des dents et des os. En effet, c'est principalement au niveau de ces parties que les fluorures transportés par les vaisseaux sanguins se fixent, le surplus étant éliminé par les reins.

Les fluorures sont rapidement absorbés au niveau intestinal. Ils s'accumulent normalement en petites quantités seulement dans les os, les dents les cartilages. La quantité de fluorures présente dans ces tissus, dépend de plusieurs Facteurs, dont l'âge et la durée d'ingestion. Dans les tissus mous, cette quantité est en général très faible et n'augmente pas avec l'âge. La plus grande partie des fluorures qui échappe à l'incorporation dans les os et les dents est excrétée rapidement dans les urines [2].

La présence de fluor dans l'organisme a donc des effets aussi bien positifs que négatifs suivant les conditions dans lesquelles il a été absorbé :

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

- **Prévention de la carie dentaire**

Le fluor est jusqu'à présent le principal élément connu pour son effet aérostatique. En effet, la consommation continue d'une eau fluorée peut être bénéfique, à faibles doses. Le fluor agit se combinant aux apatites qui entrent dans la composition de l'émail dentaire. La substitution progressive et continue de l'ion OH par l'ion fluor F^- va contribuer à la formation d'un cristal fluor-apatite. Cette modification de la composante minérale de l'os entraîne une augmentation de la résistance de la dent aux processus cariogènes, De plus, les ions fluorures, en se combinant avec certaines substances, forment de nouveaux composés chimiques qui résistent bien aux attaques des acides et des bactéries responsables de la carie dentaire [2].

- **Fluorose dentaire**

Elle désigne une lésion dis chromique et structurale des tissus durs de la dent à la suite d'une consommation quotidienne d'une eau contenant plus de 2 mg/l pendant les années de formation des dents temporaires et permanentes (de 0 à 8ans). La sévérité des lésions dépend de la durée d'exposition, du stade de l'activité des améloblastes, de la dose et de la susceptibilité individuelle. Elle est caractérisée par des tâches blanchâtres, ternes et opaques au niveau de l'émail. Celui-ci peut être strié, moucheté, grêlé et coloré du jaune au brun noir selon la sévérité [2].



Figure 2.2 : fluorose dentaire



Figure 2.3 : email tacheté

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

- **Fluorose osseuse**

Elle résulte d'une intoxication massive ($>4\text{mg/l}$) et surtout prolongée (10 à 20 ans). Elle se traduit par des changements au niveau de l'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 poudres concentrations hydriques supérieures à 3 mg/l que les symptômes apparaissent [2].

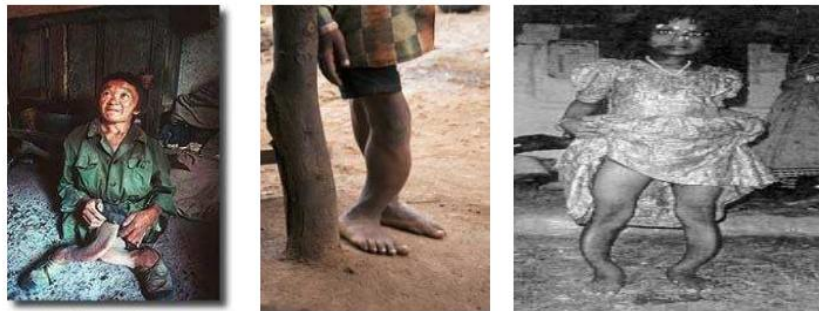


Figure 2.4 : problème d'ostéofluorose.



Figure 2.5 : fluorose osseuse.

- **Manifestations neurologiques**

Les manifestations neurologiques sont la conséquence de la fluorose osseuse et elles se définissent comme étant une radicule myélopathie. Elles comportent des manifestations radiculaires à type d'acroparesthésie associée à une fonte musculaire et des douleurs irradiant le long des racines nerveuses. Il est possible d'avoir aussi une asthénie, une atrophie musculaire par manque d'exercice, des fasciculations et des fibrillations musculaires ; des manifestations myélopathies qui résultent principalement du rétrécissement du canal rachidien par compression de la moelle en un ou plusieurs points.

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

L'évolution se fait vers une quadriplégie spastique. Le terme ultime est la cachexie qui entraîne la mort [2]. (Sénégal)

Tableau 2.2 : Effets du fluorure en fonction de sa concentration dans l'eau.

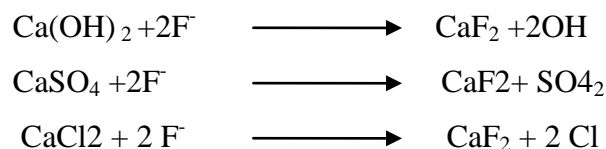
Dose en (mg /l)	Effets
<0,5	Déficiences en fluor pour prévenir les caries dentaires
Entre 0,5 et 1,5	Dose optimale pour prévenir les caries
Entre 1,5 et 4	Risque de fluorose dentaire : taches sur l'émail
>4	Risque de fluorose osseuse : douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations

2.7 Les techniques de défluorisation

2.7.1 Les méthodes classiques

2.7.1.1 Par précipitation

- Les sels de calcium comme $Ca(OH)_2$; $CaCl_2$ et $CaSO_4$ sont les plus utilisés pour précipiter les ions fluorures sous forme d'un produit insoluble CaF_2 (fluorure) dans l'eau. Les réactions mises en jeu sont les suivantes :



- **Les différentes étapes cinétiques étant**
 - ❖ Une période de germination
 - ❖ Une période de précipitation proprement dite
 - ❖ La séparation des précipités formés
- Les installations de traitement devront être conçues pour augmenter ces trois vitesses et réaliser le maximum d'opérations dans le même appareil [16].

2.7.1.2 Par coagulation Floculation (Technique de Nalgonda)

Parmi les techniques de coagulation- floculation, la plus reconnue est la technique Nalgonda, utilisée couramment en Inde : de l'aluminium et de la chaux sont ajoutés avec de

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

l'hypochlorite de calcium pour désinfecter. Il y a ensuite floculation, sédimentation et filtration. Il est possible d'utiliser cette méthode à domicile ou à une échelle plus importante en unité de traitement pouvant traiter quelques m^3 [17].

Le coût de cette technique est modéré. La technique de Nalgonda est efficace lorsque l'eau traitée présente une concentration en fluorures au-dessus de 20 mg/l, des matières dissoutes au-dessus de 20 mg/l, et une dureté au-dessus de 250 $CaCO_3$ mg/l. Cette technique a aussi été utilisée dans le traitement des effluents industriels par Je me jamais et al. Avec un taux de 84% pour les fluorures [3].

2.7.1.3 Elimination des fluorures par échange d'ions

L'échange d'ions est un procédé qui utilise des résines ioniques ayant une affinité pour l'ion fluorure. Les résines actuelles sont malheureusement souvent peu spécifiques, on fixera mieux les ions monovalents OH et les ions divalents SO_4^{2-} que les ions F^- [16].

2.7.1.4 Elimination des fluorures par adsorption

Les seuls traitements chimique vraiment utilisables consistent en fait en une adsorption, sur des oxydes ou des hydroxydes, avec une forte influence du pH (minimum de solubilités des hydroxydes, où point isoélectrique des oxydes), ou en une permutation d'ions avec des anions (phosphates, carbonates...). L'adsorption, est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants (alumine activée, argiles, zéolites, charbon actif, etc.), les molécules ainsi adsorbées constituant l'adsorbat. Il a son origine dans les forces d'attraction intermoléculaires [18].

Les procédés d'adsorption mettent en œuvre essentiellement un phénomène de physisorption très rapide qui peut être suivi, du fait de la diffusion dans les pores, d'un phénomène de fixation chimique beaucoup plus lent. Les fluorures ont la propriété de s'adsorber sur différents composés minéraux (comme l'apatite ($3Ca_3(PO_4)_2$, $CaCO_3$) où adsorption l'ion carbonate peut être remplacé par les ions fluorure pour donner un fluorapatite insoluble), mais également sur l'alumine, le charbon actif, la chaux enrichie de magnésie, et aussi des poudres ou des charbons d'os [19].

Chapitre 2 Généralités sur le fluor et les techniques de défluorisation

Tableau 2.3 : Capacités de défluorisation de différents adsorbants chimiques.

Matériaux	Hydroxyde d'aluminium	Charbon actif	Apatite	Charbon d'os	Alumine activée
Capacité utile g/l de Fpar g de matériau	0,05	0,2	0,3	1,0	3,3

2.7.2 Les nouvelles techniques

2.7.2.1 Les techniques à membrane

Parmi les nombreux procédés à membranes, des expériences de défluorisation d'eaux de boisson ont été menées en mettant en œuvre les procédés d'électrodialyse, d'osmose inverse (*OI*), et plus récemment, de nano filtration (*NF*). L'application industrielle des techniques à membrane dans ce domaine dépendra en grande partie de leur sélectivité pour les ions fluorure et de la consommation énergétique afin de les rendre économiquement compétitifs [22].

2.7.2.2 Les procédés électrochimiques

a- L'électrocoagulation

Tel que son nom l'indique, l'électrocoagulation est la fusion des sciences de l'électrochimie et de la coagulation, en effet, l'électrocoagulation est un procédé électrochimique complexe qui met à profit un éventail de phénomènes physique et chimique pour entraîner l'abatement des polluants disséminés dans l'effluent, ce procédé s'opère à l'aide d'électrodes (anode et cathode), lesquelles sont plongées dans le milieu aqueux, la quantité d'ions métalliques injectés est contrôlée par le courant électrique [21].

b- L'électro-sorption

L'électro-sorption est un phénomène de surface caractérisé par une adsorption en solutions dans lesquelles, la quantité de produits adsorbée dépend du potentiel électrochimique appliqué à l'adsorbant ou bien c'est une adsorption en présence d'un voltage [22]. La défluorisation des eaux potables par électro-sorption est une technique récente qui a été étudié dans le but de réduire les coûts [2]

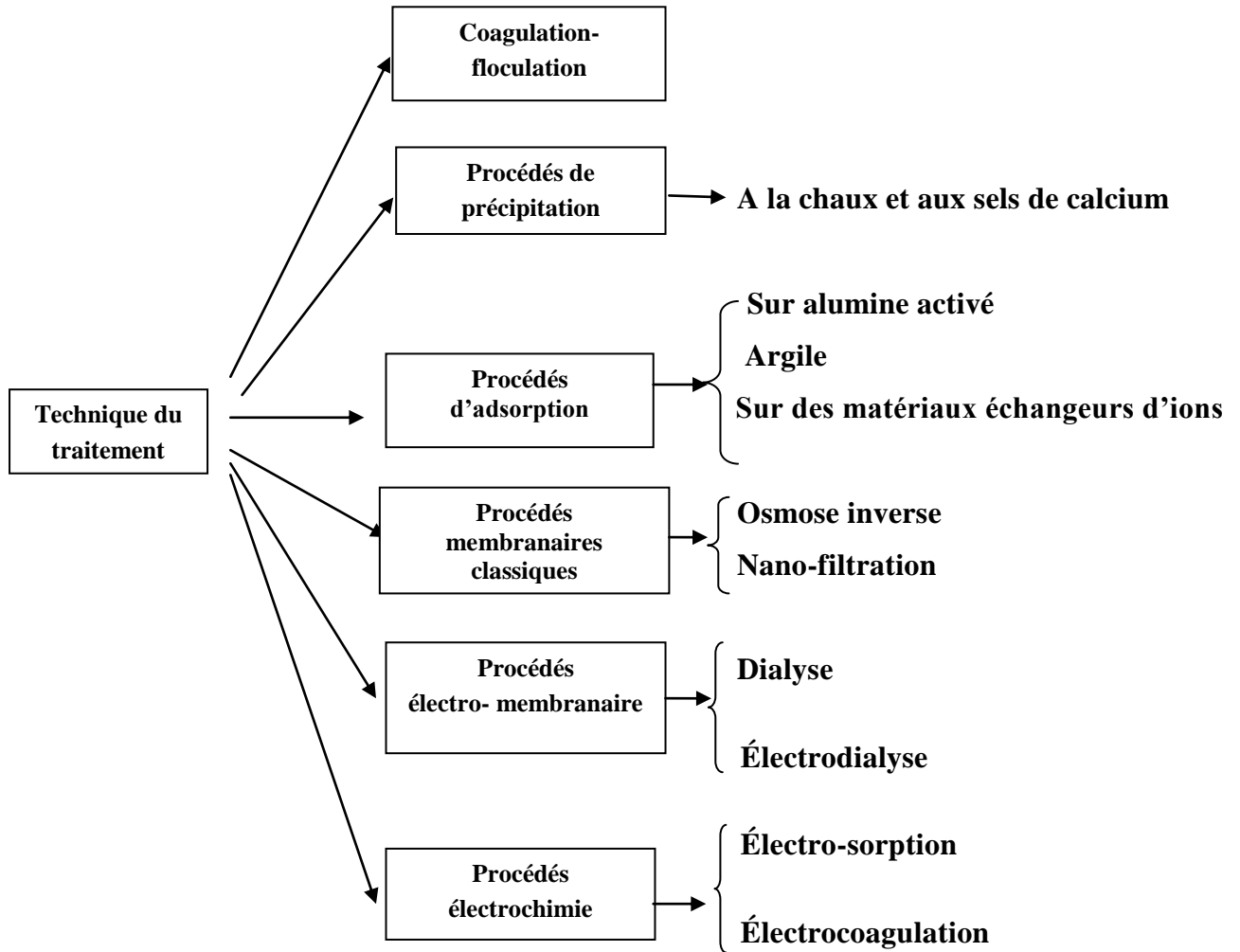


Figure 2.6 : les diverses techniques de traitement mise en œuvre pour réduire la teneur en fluorures dans les eaux destinées à la consommation humaine.

2.8 Conclusion

Bien qu'il y a des autres méthodes pour éliminer le fluor de l'eau potable, soit des nouvelles techniques (de haut technologie) ou des techniques ancienne, mais les méthodes précédents sont les plus utilisées dans notre entourage tel que la facilité d'exécution ou tel que le moindre cout comme l'adsorption.

Et comme des spécialistes toujours on a fait des études (recherches) pour choisisse la meilleur méthode nécessite pour notre projet au même temps la méthode le moindre cout, c'est-à-dire on a toujours estimé la partie technico-économique.

partie expérimentale

Chapitre 3

3.1 Introduction

La qualité de l'eau potable est très importante pour la sécurité publique et la qualité de vie. La contamination de l'eau potable par les ions fluorure est un véritable problème de santé, en particulier dans les zones arides et semi-arides où la géologie fournit des sources d'ions fluorure.

L'excès de fluor dans l'eau potable provoque la fluorose dentaire et squelettique... Par conséquent, de nombreuses techniques pour l'élimination des ions fluorure de l'eau ont été développées pour réduire l'acuité de leurs dommages à la santé humaine et les risques environnementaux qu'ils induisent. La méthode utilisées pour la défluoration de l'eau peut être l'adsorption.

Les composés Al ont une bonne affinité de combinaison avec le fluorure et réduisent la concentration de fluorure à 1 mg/l, L'alumine reste coûteuse pour les pays sous-développés.

En raison de sa grande électronégativité et de sa petite taille ionique, l'ion fluorure est classé comme base dure, qui a une forte affinité vis-à-vis des ions métalliques, y compris Al (III), Fe (III), Zn, La dispersion d'un mélange de ces métaux dans une matrice protectrice limiterait le total des solides dissous dans l'eau traitée et procurerait en même temps une capacité d'adsorption élevée du fluorure.

Les carbones poreux pourraient être un bon candidat tel que le protecteur matriciel. En raison de leurs excellentes propriétés telles qu'une grande surface spécifique et une porosité continue, des charbons poreux sont utilisés comme adsorbant ou support métallique.

Le support de carbone fournit une dispersion élevée et inhibe le frittage des métaux dans sa structure de pores.

Généralement, on prépare des métaux à base de carbone par imprégnation de carbone avec les solutions des oxydes de métaux correspondantes suivies d'un traitement thermique.

Nous avons exécutés l'expérience de la défluorisation d'un échantillon d'eau de la ville de Ouargla au niveau de laboratoire de l'université et l'ADE.

3.2 Préparation des charbons actifs

3.2.1 Les étapes de préparation des charbons

La préparation de charbon actif de grande surface septique réalisée par activation chimique, dans cette étude nous avons utilisé l'oxyde d'aluminium et l'oxyde de zinc comme agent d'activant impliquée les étapes suivantes :

3.2.2 Collecte les tiges des palmiers

Dans le but de valoriser les matériaux locaux en charbon actif, nous avons utilisé comme précurseur les tiges de palmiers provenant de région du sud Algérien (Ouargla).

3.2.3 Prétraitement des tiges de palmier

Après découper des tiges de palmier, nous avons lavés les tiges Abondamment à l'eau distillée pour éliminer toutes les matières puis séchés à l'étuve (à 105°C pendant 24 heures).

Ensuite, on broyés et tamisés les tiges de palmiers pour obtenu la fraction comprise

Entre 0,5 et 4 mm à l'aide de Broyeur et tamis, Le broyât est retenu et conservé à l'abri de l'air dans des flacons fermés Hermétiquement.

3.2.4 L'activation chimique

Les échantillons de tige ont été imprégnés d'un mélange bouillant d' Al_2O_3 1 M et de ZnO 1M (Solution aqueuse) pendant 90 min.

Après le chauffage, les échantillons Sont restés immergés dans la solution aqueuse pendant 2h.

Les bois imprégnés ont été enlevés de la solution, puis Séché à l'air libre pendant 2 h et enfin séché dans un four à 105 ° C pendant 24 h.

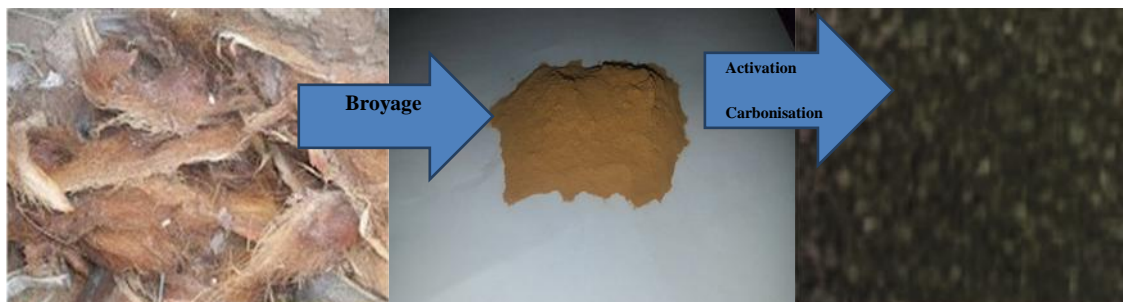


Figure 3.7 : Les étapes de préparation de charbon actif à partir des tiges de palmiers.

3.2.5. Carbonisation des tiges de palmier

Ces échantillons de tige imprégnée séché Placé dans un récipient en acier dans un four à amulette et chauffé à 500 ° C, 900 ° C pendant 1 h, Il a été jugé avantageux de limiter L'accès de l'air pendant la carbonisation.



Figure 3.8 : étape de carbonisation

3.2.6. Neutralisation de charbon actif

Les résidus éventuels de carbonisation sont éliminés par un lavage abondant à l'eau distillée sous reflux jusqu'à neutralisation de l'eau de rinçage par vésication régulière du pH.

Avant d'entreprendre les essais d'adsorption, le charbon ainsi traité est séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

Des échantillons d'aluminium et le zinc dispersé dans le carbone sont désignés par AlZnxxx / C où xxx Désigne la température de carbonisation.

3.3. Méthodes de caractérisation des charbons

3.3.1. pH pzc (point zéro charge)

PHpzc a été mesuré comme suit :

100 mg de AlZnxxx / C ont été mis en contact avec 50 ml de 0,05M l'eau distillée avec une plage de pH de 2 à 12, Les valeurs de PH initiale ont été ajustées par l'addition de la solution de NaOH (0.1M) ou HCl (0,1 M).

Après agitation pour 48 h à 250 tr / min à température ambiante, le pH final de la solution sont alors notées et représentée en fonction du pH initial.

3.3.2. pH des charbons actifs préparés

Le pH du charbon a été déterminé par immersion de l'échantillon (AlZnxxx/C) 1 g en 100 ml d'eau distillée et en agitant pendant une heure ainsi les mesures de pH sont effectuées par un pH-mètre.

3.4. Expériences d'adsorption de fluorure

Dans cette partie nous avons présenté le protocole expérimental de défluorisation des eaux dans la région d'Ouargla par la technique d'adsorption, au niveau de laboratoire de (ADE).

3.4.1. Prélèvement des eaux

La campagne d'échantillonnage a concerné la région d'Ouargla. Les prélèvements ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastique de 30 ml de capacité. Nos échantillons sont prélevés directement par le robinet de consommation (Forage d'Ifri), Les flacons d'eaux sont fermés et transportés au laboratoire.

3.4.2. Technique de défluorisation appliqués

Avant de faire traiter les échantillons on mesure le pH à l'aide d'un PH-mètre et la conductivité avec un conductimètre et on a trouvé que le PH est égale à 7.3 et que la conductivité 3.22 mS.cm^{-1} , la température de l'eau égale à 24.2°C , et on a fait le dosage de fluor par spectrophotomètre UV-Visible. Dans notre échantillon on a trouvé $2,23 \text{ mg.L}^{-1}$ comme concentration initial.

La technique de défluorisation appliqués qui est principe consiste à :

3.4.2.1. Principe

- 25 ml d'eau et 0,1 mg d' $AlZn_{xxx} / C$ dans un bêcher de 50 ml.
- Les bêchers scellés ont été secoués à 300 tr / min pendant 24 h pour l'équilibre.
- Ensuite, les particules adsorbants ont été séparées immédiatement par filtration.
- On a déterminé la concentration du fluorure résiduel Grâce à un spectrophotomètre.
- L'étude d'adsorption à $pH 6,90 \pm 0,10$ a été étudié par en variant la concentration du meilleur charbon de 100 à 400 mg/L^{-1} .
- On a étudié la stabilisation de PH et la conductivité des solutions en fonction du temps.
- Les expériences de défluorisation ont été réalisées par un procédé discontinu à température ambiante ($25 \pm 2^\circ C$).



Figure 3.9 : les étapes de la défluorisation

3.4.3. Mesure de teneur en ions de fluorures

Pour mesuré le taux de fluorures dans les différents échantillons on a utilisé le spectrophotomètre UV-Visible. Les étapes de mesure sont citer comme suit :

- Toucher Hach programme.
- Sélectionner programme 190 Fluorure.
- Touché Start.
- Mettre à l'aide d'une pipette 10 ml d'eau distillée dans un flacon de dosage (le blanc).
- Mettre aussi 10 ml d'eau de l'échantillon dans un autre flacon.
- Précautionneusement ajouter 2,0 ml de solution réactif de fluorure dans chacun des flacons.

- Appuyer sur l'icône de temps, là ou, le chronomètre vas conter jusqu'une minute (le temps de réaction).
- Quand le temps bipe, placer le flacon blanc dans la cellule de la pareil.
- Toucher Zéro, l'appareil vas fixer le chiffre 0,00 mg/l F⁻.
- Placer le flacon d'échantillon dans la cellule.
- Appuyer sur lire ; le résultat va marquer en mg/l F⁻.



Figure 3.10 : spectrophotomètre UV-Visible utilisé pour mesurer les teneurs en F⁻ dans les échantillons.



Figure 3.11 : Etape d'injection de réactif SPANDS (Indicateur coloré) dans les échantillons.

3.4.4. Matériels utilisés

- 3 bécher de 50ml.

- Agitateurs magnétiques.
- Les barreaux magnétiques.
- Une balance électrique.
- Un chronomètre.
- pH mètre.
- 3 entonnoirs et les papiers filtres d'une épaisseur de 0,5mm.

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.5. Caractérisation des charbons contenant des oxydes d'Al et de Zn

4.5.1. Imprégnation et carbonisation du bois

Pendant l'immersion du bois dans les solutions d'oxyde de zinc et oxyde d'aluminium l'air de la structure du bois a été expulsé pendant le chauffage et remplacé par la solution pendant le refroidissement. La coloration de la solution a été observée et attribuée à l'extraction des tanins de tige hydrolysables.

La perte de poids des échantillons de bois séché après imprégnation s'est avérée 33%, Le poids de la solution incorporée dans le bois, en moyenne, 90% du poids initiale.

D'après les résultats du tableau 05, il apparaît que Les rendements observés pour la préparation de AlZnxxx /C sont meilleurs que ceux du charbon de bois. Cela peut être Attribué à un effet retardateur de flamme de l'alumine.

Le rendement de la matière carbonisée est calculé selon la relation suivante :

$$R(\%) = \frac{p(\text{totale})}{p(\text{trouvé})} * 100$$

Tableau 4.4 : le rendement du charbon de tige après la carbonisation

Charbons	Rendement du charbon de tige (%)
Charbon simple	13
AlZn500/C	29
AlZn900/C	28

4.5.2. Titrage potentiométrique

Le pH_{pzc} d'un solide est une caractéristique importante qui détermine le pH auquel la surface d'un adsorbant a une neutralité électrique nette.

Pour $pH < pH_{pzc}$, la charge de surface d'adsorbant est positive et à $pH > pH_{pzc}$, la charge de surface est négative.

Une valeur donnée de PH_{pzc} est liée à la présence de groupes acide et basique sur les surfaces d'adsorbants, La figure12. Présente la variation de $pH_i - pH_f$ en fonction de pH_i .

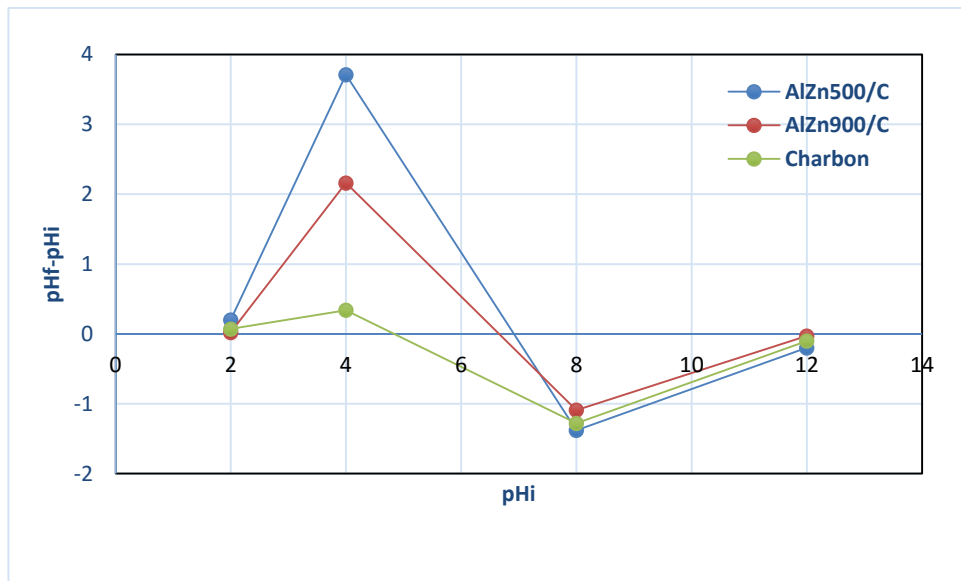


Figure 4.12. : point zéro charge des différents charbons

Le point d'intersection entre les courbes obtenues et celle du courbe $pH_i = 0$ au PH_{pzc} matériau.

Il est 4,8 pour le charbon simple, 6,6 pour AlZn500/C, 6,8 pour AlZn900/C.

Tableau 4.5 : les valeurs de pH point zéro charge

	PH_{pzc}	pH
Charbon	4,8	7,57
AlZn500/C	6,6	7,59
AlZn900/C	6,8	7,61

D'après les résultats de tableau 3.5. Nous avons remarqué que les trois charbons semblent avoir plus de groupes acides que ceux basiques sur leurs surfaces, cela est due à l'augmentation progressive de la température. Donc on conclusion nous avons remarqué qu'avec l'augmentation de la température automatiquement les groupes acide diminuent, La combustion du charbon contribue à la libération des Oxydes métalliques acides sur la surface du charbon.

De l'autre côté Les quantités des groupes de base augmentent avec l'augmentation de la Température de carbonisation. Cela peut être dû aux sites basiques des quantités croissantes d'alumine sur la surface du charbon.

4.6. Enlèvement du fluorure

Après faire l'expérience de la défluorisation avec sa condition on a trouvé les résultats suivants :

Tableau 4.6 : les doses du fluor après l'addition du charbon

Les charbons	Charbon	AlZn500/C	AlZn900/C
F ⁻ (mg/l)	2,02	2,00	1,50

D'après le tableau 3.6 .On remarque bien que le fluor diminue de 2,23 mg.l⁻¹ à l'état initial à 2,02 mg.l⁻¹ pour le charbon de bois, 2 mg.L⁻¹ pour AlZn500/C et 1,5 mg.L⁻¹ pour AlZn900/C

Et on observe également que le charbon actif modifié par Al₂O₃ et ZnO Obtenu par carbonisation à 900°C a La plus grande capacité d'absorption du fluor. Par conséquent, AlZn900 / C était utilisé dans les autres expériences.

4.6.1. Cinétique d'adsorption

Après faire l'expérience de la défluorisation avec sa condition on a trouvé les résultats suivants :

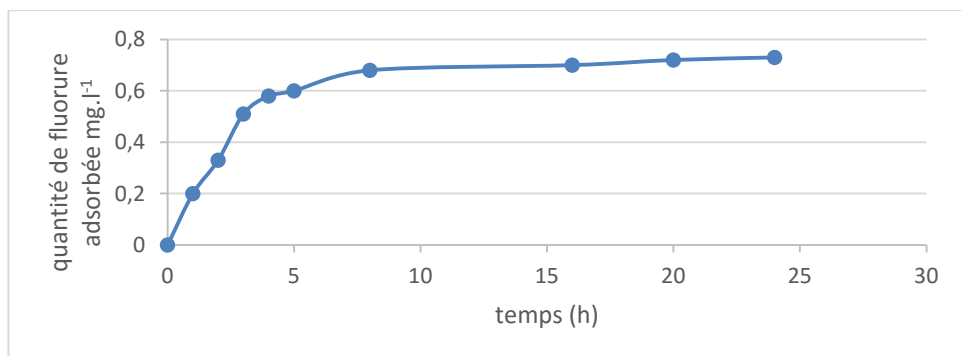


Figure 4.13 : Cinétique de l'adsorption du fluor avec l'adsorbant obtenu à températures de carbonisation 900°C (AlZn900/C)

On remarque que L'adsorption de fluor est rapide pendant Les premières Cinq heures, et il devient un peu plus lent pendant jusqu'à huit heures. Après ce temps-là, la quantité de fluorure adsorbée Ne change pas de façon significative avec le temps.

Donc L'adsorption rapide du fluor est certainement due à la disponibilité de sites actifs sur la surface de charbon du bois au début des expériences, et l'adsorption lente du fluor est due à une saturation des sites actifs.

3.6.2.Élimination de fluor en fonction des concentrations du charbon (AlZn900/C)

La méthode consiste à ajouter des masses croissantes d'AlZn900/C pour savoir la relation entre la masse de ce dernier et les teneurs de Fluor rabattre.

Les doses obtenus de fluor on au tableau :

Tableau 4.7 : doses de fluor après l'addition d'AlZn900/C

Béchers	1	2	3	4	5
Concentration d'AlZn900/C (mg)	100	200	300	400	500
F ⁻ (mg.L ⁻¹)	1.50	1.44	1.39	1.30	1,02

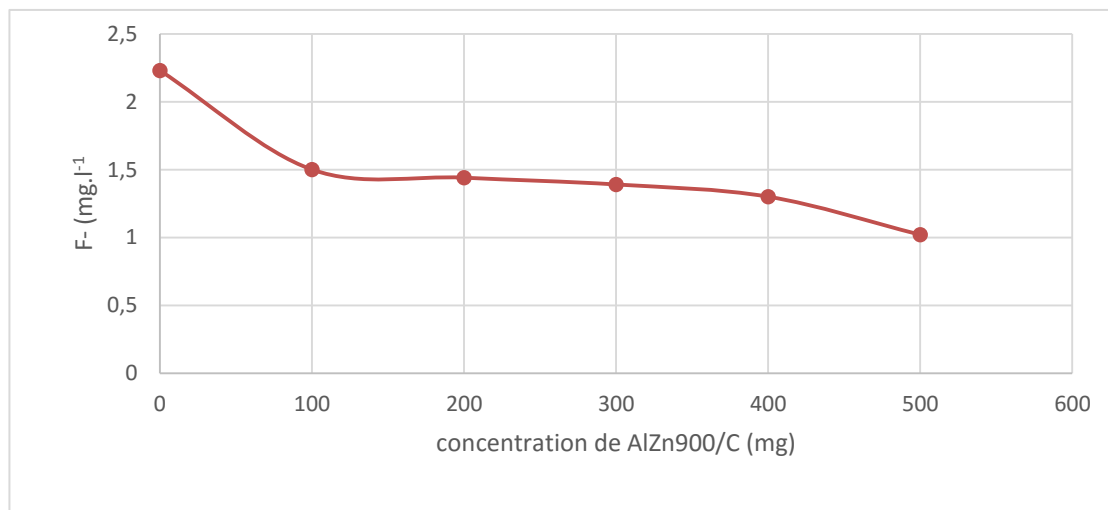


Figure 4.14 : Elimination de fluor en fonction des quantités d'AlZn900/C

A partir de graphe précédant on remarque que la dose optimale du charbon sont favorisent la réduction de fluor dans l'eau jusqu'à des valeurs admissibles (>1,5mg.L⁻¹), et on remarque bien que le fluor diminue par une façon uniforme à partir de 2,23mg.L⁻¹ à l'état initial jusqu'à

1,02mg.L⁻¹ dans le bécher 5, c'est-à-dire une diminution de 1,21mg.L⁻¹ et d'un pourcentage de 54,27mg.L⁻¹. cette diminution est bien liée avec la concentration de AlZn900/C ajoutées.

4.6.3. Stabilisation de pH en fonction du temps

Après l'addition d'AlZn900/C, on a fait contrôler les variations de pH en fonction du temps pour savoir le pH final.

Les résultats obtenus sont exprimé au graphe suivant (annexe n° 04)

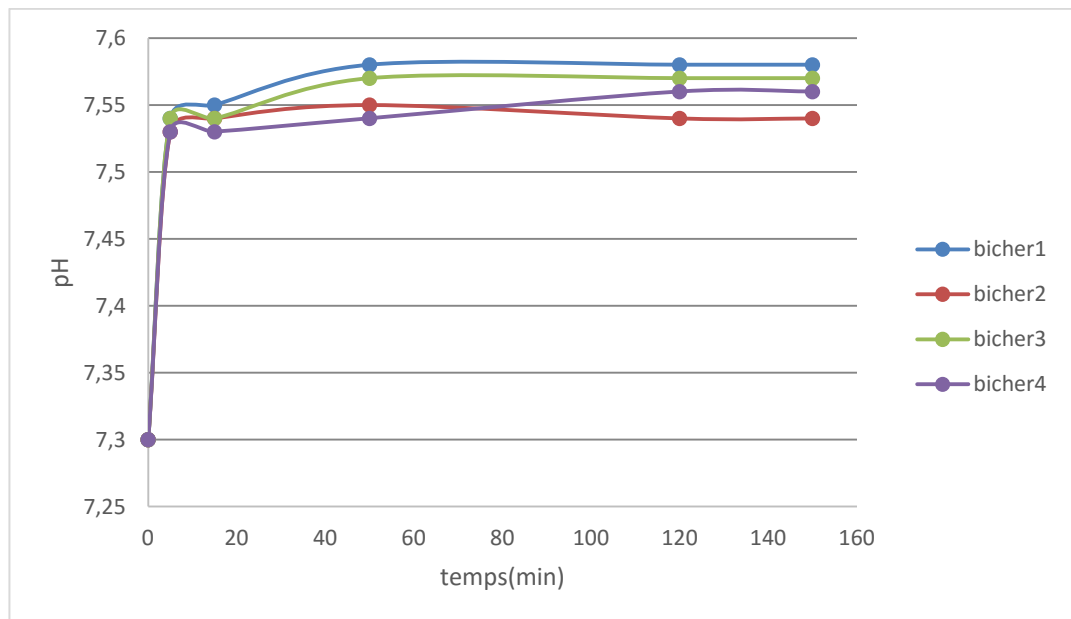


Figure 4.15 : stabilisation de pH en fonction du temps

Après presque deux heures de l'addition d'AlZn900/C le pH reste stable, donc on peut dire que le pH finale augmente avec l'augmentation des masses de charbon actif ajouté.

On peut dire que la basicité de milieu augmente avec l'augmentation des masses de charbon actif.

4.6.4. Stabilisation de conductivité en fonction du temps

Après l'addition de AlZn900/C on contrôle la conductivité des échantillons avec un conductimètre jusqu'à la stabilisation des milieux, les résultats ont exprimés dans le graphe suivant (annexe n°) :

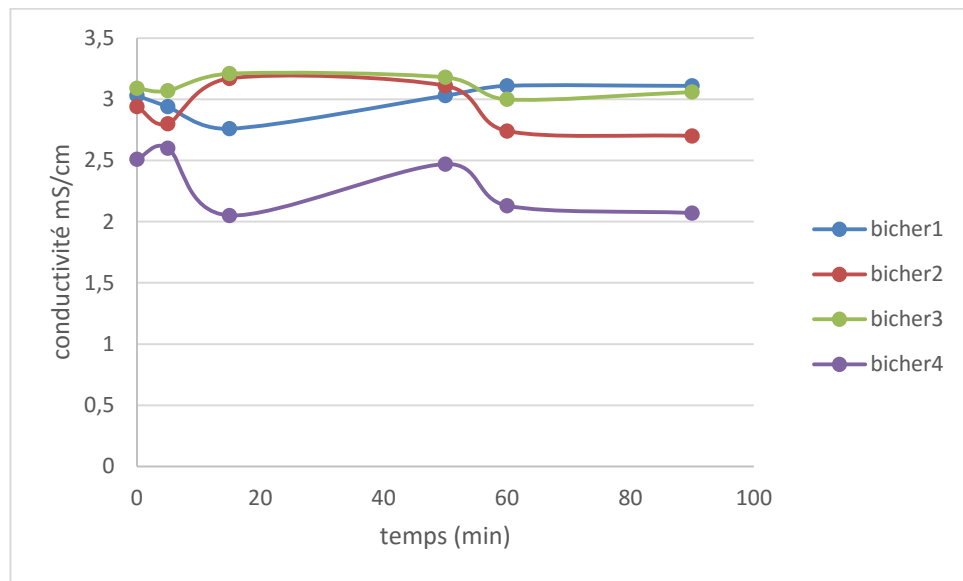


Figure 4.16 : Stabilisation de conductivité

On remarque bien que la conductivité stabilisée après presque deux heures (2 heures).

4.7. Conclusion

Parmi plusieurs techniques de la défluorisation on a choisi la méthode précédente pour faire notre partie expérimentale qui contient des trois types de charbon, et après cette partie on a vu bien que le meilleur charbon parmi-ils, est le AlZn900/C.

Conclusion générale

Certaines eaux ne dépassent que légèrement les normes internationales. Cependant, ces eaux constituent la seule source d'approvisionnement en eau potable et le climat chaud et sec oblige les habitants à consommer beaucoup d'eau et donc à élever le taux de fluor absorbé quotidiennement. Il s'y ajoute certainement un apport fluoré par une consommation abondante de dattes et de thé. De ce fait, le traitement des eaux fluorées devient, indispensable.

Il existe plusieurs techniques d'élimination partielle des fluorures des eaux de consommation mais qui garantissent toutefois un apport en fluorures conforme aux normes, telles que l'adsorption sur lit d'alumine activée, sur lits de phosphate tricalcique, la coagulation floculation aux sels d'aluminium ou la précipitation chimique à la chaux.

Dans le sud algérien, selon quelques enquêtes épidémiologiques, un problème de santé connu sous le nom de fluorose endémique se pose largement dans la zone orientale. Il découle essentiellement de l'ingestion de quantités excessives de fluor par le biais de l'eau de boisson. Face à la raréfaction des ressources en eaux alimentaires de bonne qualité, le traitement des eaux fluorées deviendra de plus en plus une nécessité.

Dans cet objectif, notre choix s'est porté sur l'adsorption par trois types du charbon.

Enfin, une comparaison entre les résultats obtenus par l'utilisation de la technique d'adsorption sur trois charbons actifs qui sont préparé différemment (charbon, AlZn500/C, AlZn900/C), nous avons orienté notre choix du procédé vers l'adsorption à AlZn900/C puisqu'elle a permis une réduction des teneurs en fluor bien en deçà des normes de l'O.M.S.

Références bibliographiques

- 1 **SARDI K., 2014** - Contrôle de la qualité de l'eau de la station d'hémodialyse De l'EHU 1^{er} Novembre. Mémoire de master. Université d'Oran, Mohamed Boudiaf, faculté de chimie département de chimie physique.
- 2 **Fatou s, 2004**—problématique du fluor dans l'alimentation en eau potable du Sénégal. Projet fin d'étude. Université cheikh anta diop de Dakar, école supérieure polytechnique centre de thies, département génie civile.
- 3 **MEZANE s, 2014** - Déflururation des eaux potables de la ville d'Ouargla par précipitation et osmose inverse Mémoire de master. Université d'Ouargla, kasdi Merbah, faculté des sciences applique département de génie civil et hydraulique.
- 4 <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/i-l-eau-potable/i-b-les-normes-de-potabilite/>.
- 5 <http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-exigence-de-qualite>.
- 6 <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/compoChim.html>.
- 7 <http://dietetique-pour-le-bien-etre-et-la-performance.over-blog.com/2014/04/le-role-des-mineraux.html>.
- 8 http://www.coursdeau.com/junior_4/dossiers/eau_potable_criteres.html
- 9 **WHO, 2006**,fluoride in drinking water, IWA Publishing, London,
- 10 **Pierre M, 2002**.Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde, Maison de science de l'eau de Montpellier UMR 5569 HYDROSCIENCES CNRS-UMII- IRD.
- 11 **OMS, 1972**,Fluor et santé, série de monographie, Genève, 59; **Raop L.K.M, 1988**, Studies on distribution of fluoride in water sources of hydrabad, AP, Inde, J, fluor, Chem, p; 9-16.
- 12 **Wedepohl. K. H., 1974**."Hand-book of Geochemistry." Springer-Verlage, Berlin, Heidelberg, New York, vol.11-4.
- 13 **Koritnig, S. (1963)**. "Zur Geochemie Des Fluors Den Sedimenten." Fortchr. Geol. Rheinld. Westf, vol. 10: p.231.
- 14 **Chernet, T., Travi, Y., Valles V. 2001**. "Mechanism of degradation of the quality of Natural water in the Lakes Region of the Ethiopian rift valley." Water Res. 35 p. 281-932.
- 15 **Coker E.G., Davis R.D. 1981** Agricultural and environmental aspects of fluoride in sewage sludge. Water Res.211-220.

- 16 H. Lounici, L. Adour, H.Grib, D.Belhocine, N. Mameri-**Le fluor dans l'eau potable et la fluorose, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Laboratoire des Biotechnologies Environnementales.
- 17 Nawlakhe, W. G. and Bulusu, K. R.** 1989. Nalgonda technique – a process for removal of excess fluoride from water. *Water Quality Bull.*, 14, 218- 220.
- 18 Maxime,P. Jean,C. S, Abdelhadi ,L et Courfia K. D ,** 2006. Traitement des eaux destinées à la consommation humaine-Élimination domestique et industrielle du fluor en excès.5,301-302.
- 19 Maxime P., Michel R., Mariama N., Codou M,** 1996,Synthèse sur le problème de la fluorose bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux de boisson, *Cahiers Santé* 6, p; 27-36.
- 20 Holt P. K., Barton G. W., Mitchell C. A.** 2005. The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology. *Chemosphere* 59,355-367.
- 21 Lounici H.** 2002.Nouveaux procédés défluoruration des eaux potables : l'électrosorption et L'électrocoagulation. Thèse de doctorat ; Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.
- 22 ZOBEIDI A, 2010-**Distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments consommés dans la willaya d'El-Oued. Mémoire magister. Université d'Ouargla, kasdi Merbah,.faculté des sciences et de technologie et sciences de la matière département de sciences de la matière.

ANNEXES

ANNEXE 01

Tableau : normes algériennes de potabilité des eaux de consommation

➤ Facteur indésirables ou toxiques

Paramètre	Unité	Niveau guide	Concentration max. admissible	Observation
argent	Mg/l	-	0,05	
arsenic	//	-	0,05	
baryum	//	-	1	
cadmium	//	-	0,01	
Cyanure	//	-	0,05	
chrome	//	-	0,05	
cuivre	//	0,05	1,5	
Fer	//	-	0,3	
fluor	//	0,3	2	
Manganèse	//	-	0,5	
mercure	//	-	0,001	
plomb	//	-	0,05	
hydrogène sulfuré	//	-	0,02	Non décelable organologique ment
sélénium	//	-	0,01	
zinc	//	-	5	
Pesticides et produit apparentés Au total par substance individualisée		-	0,5 0,1	<ul style="list-style-type: none"> • Des insecticides organochlorés persistants Organophosphorés carbonates • Herbicides • Fongicides • PCBE PCI
Détergent ABS	μ g /l	-	0,2	Chloration
Phénols	Mg/l	-	2	S'il Ya chloration à l'exclusion des phénols naturels qui ne réagissent pas au chlore
Hydrocarbures dissous	μ g /l	-	10	

➤ **Facteurs physico-chimiques**

Paramètres	Unité	Niveau Guide	Concentration max. admissible	Observations
Ph		6,5 à 8,5		
Conductivité	μ S / cm à 20°C	-	2280	
Résidu sec	mg/l après séchage à 105°		2000	En correspondance avec la normalisation des eaux
Dureté totale	mg/l CaCo3	100	500	
Calcium	mg/l	75	200	
Magnésium	//	-	150	
Sodium	//	-	200	
Potassium	//	-	10	
Sulfates	//	200	400	
Chlorures	//	200	500	
Nitrates	//	-	50	
Nitrites	//	-	0,1	
Ammonium	//	0,05	0,5	
Phosphates	//	-	0,5	
Oxydabilité (KMn04)	//		3	Mesure faite à chaud et en milieu acide
O2 dissous	//	5	8	
Aluminium	//	-	0,2	

ANNEXE 02

Données de figure12 (PH_{pzc})

pH	AlZn500/C	AlZn900/C	Charbon simple
2	0,2	0,02	0,07
4	3,71	2,16	0,34
8	-1,38	-1,09	-1,28
12	-0,2	-0,03	-0,1

ANNEXE 03

Données de figure 13

temps(h)	F ⁻ (mg.L ⁻¹)
0	0
1	0,2
2	0,33
3	0,51
4	0,58
5	0,6
8	0,68
16	0,7
20	0,72
24	0,73

ANNEXE 04

Données de figure 15

temps (min)		0	5	15	50	120	150
pH	Echantillon1	7,3	7,54	7,55	7,58	7,58	7,58
	Echantillon2	7,3	7,53	7,54	7,55	7,54	7,54
	Echantillon3	7,3	7,54	7,54	7,57	7,57	7,57
	Echantillon4	7,3	7,53	7,53	7,54	7,56	7,56

ANNEXE 05

Données de figure 16

Tempe(min)		0	5	15	50	60	90
La conductivité (mS/cm)	Echantillon1	3,03	2,94	2,76	3,03	3,11	3,11
	Echantillon2	2,94	2,8	3,17	3,11	2,74	2,7
	Echantillon3	3,09	3,07	3,21	3,18	3	3,06
	Echantillon4	2,51	2,6	2,05	2,47	2,13	2,07

Résum

La défluorisation (Elimination des ions de fluorures (F^{-1}) est une technique indispensable pour le traitement des eaux potables dans les régions généralement de diserts contenant des ions de fluorures. Le présent travail donne une aperçue théorique générale sur les sources des eaux de boissons et les techniques de défluorisation des eaux fluorées, puis, une section pratique sur la préparation de charbon actif à la base du bois des tiges de palmiers de la région de Ouargla ainsi une étude de traitement de défluorisation par ce charbon de l'eau prélevée de puits d'Ifri (Centre vieille de la wilaya de Ouargla) qui contient une teneur de 2.23 mg.L^{-1} de F^{-1} et qui dépasse largement les normes de l'OMS ($1,5 \text{ mg.L}^{-1}$). La méthode suivie est l'adsorption par le charbon qui contient des oxydes de zinc et d'oxyde d'aluminium dans des déférentes températures ($500^{\circ}\text{C}/900^{\circ}\text{C}$) de carbonisation. On a trouvé que le charbon actif [AlZn900/C] est le plus efficace pour donner une bonne défluorisation (Quantité adsorbée de F^{-1} est de l'ordre de $0,73 \text{ mg.L}^{-1}$).

Mots clés : fluor, fluorose, défluorisation, adsorption, charbon active,

ملخص

إن إزالة الفلور (التخلص من أيونات الفلوريد (F^{-1})) هي تقنية لا غنى عنها لمعالجة مياه الشرب في المناطق التي تكون فيها المساحات التي تحتوي علي أيونات الفلوريد بشكل عام. ويقدم العمل الحالي لمحة عامة نظرية عن مصادر مياه الشرب وتقنيات إزالة الفلور من المياه المفلوره ، ثم قسما عمليا عن إعداد الفحم المنشط عن طريق خشب أشجار النخيل لمنطقه ورقلة و كذلك دراسة معالجة إزالة الفلور من المياه المجمعة في أبار افري و التي تحتوي علي تركيز 2.23 ملغ/ل والتي تتجاوز بكثير معايير منظمه الصحة (1.5 ملغ/ل). الطريقة المتبعة هي الامتزاز بواسطة الفحم الذي يحتوي علي أكسيد الزنك وأكسيد ألومنيوم في درجات حرارة مختلفة ($500^{\circ}\text{C} / 900^{\circ}\text{C}$). بعد العمل التطبيقي وجدنا إن الفحم النشط [AlZn900/C] هو الأكثر فعالية في الإزالة الجيدة للفلوريد (الكمية الممتصة من F^{-1} بالترتيب 0.73 ملغ/ل ..)

الكلمات المفتاحية: الفلور, الفلوروز, إزالة الفلوريد, إمتزاز, فحم منشط