



**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DE L'HYDRAULIQUE ET GENIE CIVIL**

DEPARTEMENT SCIENCES APLIQUE

En vue de l'obtention du diplôme master

Option : Hydraulique

***Contribution à l'élimination des ions Fluorures par Adsorption
En utilisant un charbon Actif commercial***

Présenté par :

- Dahem Ikram
- Guerrache Rahila

Devant le Jury composée de :

| | | | |
|------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|
| <i>Président :</i> | Kateb Samir | Professeur | Université Ouargla |
| <i>Examineur :</i> | Mekhloufi Nabil | M.A | Université Ouargla |
| <i>Promoteur :</i> | Baouia Kaïs | M.A | Université Ouargla |
| <i>Co-promoteur :</i> | Kadri Abdelaziz | Doctorant | Université Ouargla |

Année Universitaire 2020/2021

REMERCIEMENTS :

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu de nous avoir octroyé les
moyens pour où nous sommes aujourd'hui.

On tient, au terme de ce travail, à présenter mes vifs remerciements à tous les
personnes qui ont contribué, de près ou loin, à son bon déroulement.

On tient à présenter tous nos respects et notre gratitude à Mr KADRI ABD AZIZ et Mr BAOUIA
KAIS

pour tenir avec moi tout au long de mon de préparation de cette mémoire et de
patience avec moi pour son encadrement et pour l'aide qu'il m'a prodigué durant
ce rapport.

Nous tenons également à remercier

Tous nos enseignants du département d'hydraulique On tient enfin à remercier le président et les
membres de jury

D'avoir accepté de juger ce travail

Un grand merci à ma mère et mon père, pour leurs conseils, ainsi que pour leur
soutien.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers nos amis qui ont pris part
à leur soutien moral et intellectuel tout au long de mon stage

Dédicace :

Je déduis le fruit de mes années d'études à la lumière de mes yeux:

Mes parents à qui je dois le crédit du monde.

Mes frères

Mon grand-père et mon grand-mère, Mes oncles et tantes

Toutes mes amies

A tous les étudiants de l'hydraulique, en particulier la promotion 2020

Ikram+Rahila

Sommaire

| | |
|---|----|
| Liste des Tableaux | 5 |
| Liste des fig..... | 6 |
| Introduction | 2 |
| chapitreI: Généralité sur le fluor | |
| 1-Introduction | 4 |
| 2-caractéristiques physico- chimiques du fluor | 4 |
| 3-Sources naturelles de fluor | 6 |
| 3-1 Dans les roches et les sols..... | 6 |
| 3-2 Dans l'air | 7 |
| 3-3 Dans l'eau..... | 7 |
| 3-4 Dans les produits alimentaires | 9 |
| 4- Chimie de fluor dans l'eau..... | 9 |
| 4-1 Dans l'eau souterraine | 9 |
| 4-2 Dans l'eau de surface..... | 10 |
| 4-3 Dans l'eau de mer | 10 |
| 5- Fluor et santé | 10 |
| 5-1 Normes et recommandations | 10 |
| 5-2 Métabolisme : absorption, distribution et excrétion | 12 |
| 5-2-1 Absorption..... | 12 |
| 5-2-2 Distribution..... | 13 |
| 5-2-3 Excrétion | 13 |
| 6-La fluorose..... | 14 |
| 6-1 La fluorose dentaire..... | 14 |
| 6-2 Fluorose osseuse :..... | 15 |
| 6-3 Fluorose endémique en Algérie..... | 16 |
| Conclusion | 17 |
| chapiter II: charbon actif | |
| 1-Historique: | 18 |
| 2-Définition : | 18 |
| 3-Les différentes formes du charbon actif | 19 |
| 3-1Le Charbon actif en grain (GAC) | 19 |

| | |
|---|----|
| 3-2Le Charbon actif en poudre (CAP)..... | 19 |
| 4- Fabrication de charbon actif : | 20 |
| 4-1-La carbonisation (pyrolyse) :..... | 20 |
| 4-2-L'Activation : | 20 |
| 4-2-1L'activation physique | 20 |
| 4-2-2L'activation chimique..... | 20 |
| Figure 6: Les étapes de fabrication du charbon actif | 21 |
| 5- Structure du charbon actif :..... | 21 |
| 6-caractéristiques du charbon actif | 22 |
| 6-1-Caractéristiques physiques | 22 |
| 6-1-1Porosité : | 22 |
| 6-1-2 Structure poreuse d'un charbon activé :..... | 22 |
| 6-1-3Densité apparente : | 23 |
| 6-1-4 La surface spécifique :..... | 23 |
| 6-1-5 Friabilité : | 23 |
| 6-1-6 Granulométrie :..... | 24 |
| 6-1-7 Coefficient d'uniformité : | 24 |
| 6-1-8 Humidité et teneur en cendres :..... | 25 |
| 6-2-Charactéristiques chimiques :..... | 25 |
| 6-2-1 Indice d'iode : | 25 |
| 6-2-2-Indice de phénol :..... | 25 |
| 7-Régénération du charbon actif..... | 25 |
| 8-Conclusion..... | 26 |
| chapitre III: | |
| 1-Introduction : | 27 |
| 2-Matériels utilisés..... | 27 |
| 2-1-Fiole conique (Fiole Erlenmeyer)..... | 27 |
| 2-2Fiole jaugée : | 28 |
| 2-3Entonnoirs en verre à tige courte : | 28 |
| 2-4Papiers Filtres | 29 |
| 2-5 Pipette..... | 29 |
| 2-6 Feuille d'aluminium : | 30 |

| | |
|---|----|
| 2-7 Coupes en verre graduées (Becher) : | 30 |
| 2-8 Eau distillée (Eau Distillée) : | 31 |
| 3-Appareils utilisés : | 31 |
| 3-1 Balance analytique sensible : | 31 |
| 3-2 Agitateur magnétique (mélangeur magnétique) : | 32 |
| 3-3 Multi Parametres..... | 33 |
| 4-3 Turbidimètre: | 34 |
| 4-4 Spectrophotomètre : | 34 |
| 4-La preparation des échantillons: | 35 |
| 4-1 Préparation de la solution mère : | 35 |
| 4-2 Charbon Actif commercial | 36 |
| 5-Conclusion : | 36 |
| 1-Introduction | 36 |
| 2-Influence du Temps de contact | 36 |
| 3-Influence de la Vitesse d'agitation : | 38 |
| 4-Conclusion..... | 40 |
| Conclusion : | 43 |
| Références..... | 44 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques du fluor | 5 |
| Tableau 2 : Solubilité de quelques composés fluorés dans l'eau..... | 6 |
| Tableau 3 : Teneurs en fluor (ppm) de divers végétaux cultivés dans les régions d'El Oued | 9 |
| Tableau 4 : Normes de la teneur en ions fluorures dans les eaux de consommation humaine en fonction de la température moyenne annuelle | 11 |
| Tableau 5 : Teneur en fluor dans l'organisme humain..... | 13 |
| Tableau 6: Pourcentage d'habitants atteints de fluorose dentaire au Sud Algérien..... | 17 |
| Tableau 7: les mesures expérimentales en fonction du temps de contact..... | 36 |
| Tableau 8: les mesures expérimentales en fonction de la vitesse d'agitation | 38 |

Liste des fig

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Fluorose dentaire..... | 15 |
| Figure2 : Fluorose osseuse..... | 16 |
| Figure 3 : Charbon actif..... | 18 |
| Figure 4 : charbon actif en grain..... | 19 |
| Figure 5 : charbon actif en poudre..... | 19 |
| Figure 6 : Les étapes de fabrication du charbon actif..... | 21 |
| Figure7 : courbe de Granulométrie..... | 24 |
| Figure 8 : Une image d'un groupe d'outils de laboratoire..... | 27 |
| Figure 9 : Image d'une fiole jaugée..... | 28 |
| Figure 10 : Image d'un entonnoir..... | 29 |
| Figure 11 : Image des papiers filtres..... | 29 |
| Figure 12 : Image d'une pipette..... | 30 |
| Figure 13 : Une image de papier d'aluminium..... | 30 |
| Figure 14 : Image d'un bécher en verre gradué..... | 31 |
| Figure 15 : L'image de la balance..... | 32 |
| Figure 16 : Agitateur magnétique..... | 33 |
| Figure 17 : Une image d'un Multi Parametres pour mesurer Cond, T° et Ph..... | 33 |
| Figure 18 : Image du turbidimètre..... | 34 |
| Figure 19 : Image d'un Spectrophotomètre..... | 35 |
| Figure 20 : Image pendant la Préparation de la solution mère..... | 36 |
| Figure 21 : Image du Charbon Actif..... | 36 |
| Figure22 : Variation du rendement d'élimination du F en fonction du temps..... | 37 |
| Figure23 : Variation de la conductivité d'élimination du F en fonction du temps..... | 37 |

| | |
|---|----|
| Figure24 : Variation turbidité d'élimination du F en fonction du temps..... | 38 |
| Figure25 : Variation turbidité d'élimination du F en fonction de la vitesse d'agitation | 39 |
| Figure26 : Variation conductivité d'élimination du F en fonction de la vitesse..... | 39 |
| Figure27 : Variation turbidité d'élimination du F en fonction de la vitesse..... | 40 |

ملخص:

من خلال هذه الدراسة حاولنا التعرف على أحد أهم مكونات مياه الشرب التي لها تأثير كبير على صحة الإنسان والبيئة وهو الفلور. لا يوجد هذا العنصر في الماء فقط، ولكنه موجود في معظم الأطعمة. يؤثر الفلوريد سلبيًا أيضًا على الإنسان والبيئة لأنه لا يفي بالمعايير التي وضعتها المنظمة. وقد حددت منظمة الصحة العالمية (WHO) تركيزًا مناسبًا يبلغ 1.5 جم / لتر. بناءً على دراستنا وبالرجوع إلى الدراسات السابقة في نفس المجال، هناك عدة طرق للتخلص من تركيز الفلوريد الزائد، بما في ذلك الترسيب والامتصاص والأغشية. في دراستنا، اخترنا تطبيق طريقة *délourde* باستخدام الفحم المنشط. بعد إجراء التجارب اللازمة وتحليل ودراسة النتائج، وجدنا أنه باستخدام الكربون المنشط ذو مصدر تجاري، انخفضت أيونات الفلور من 2.32 إلى 0.95 مجم / لتر بمعدل خلط 200، وانخفضت أيونات الفلوريد من 2.32 إلى 1.36 مجم / لتر في الوقت المثالي 150 دقيقة، وهي قيمة وفقًا للمعايير الدولية (1.5 مجم / لتر).

Résumé:

À travers cette étude, nous avons tenté d'identifier l'un des composants les plus importants de l'eau potable qui a un impact significatif sur la santé humaine et l'environnement, qui est le fluor. Cet élément ne se trouve pas seulement dans l'eau, mais il se trouve dans la plupart des aliments. Le fluorure affecte également négativement les humains et l'environnement car il ne répond pas aux normes fixées par l'organisation. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a spécifié une concentration appropriée de 1,5 g/L. Sur la base de notre étude et de la référence à des études antérieures dans le même domaine, il existe plusieurs façons de se débarrasser de l'excès de concentration de fluorure, notamment la précipitation, l'adsorption et les membranes. Dans notre étude, nous avons choisi d'appliquer la méthode *délourde* au charbon actif. Après avoir mené les expériences nécessaires et analysé et étudié les résultats, nous avons constaté qu'en utilisant du charbon actif d'origine commerciale, les ions fluor diminuaient de 2,32 à 0,95 mg/L à un taux de mélange de 200, et les ions fluorure diminuaient de 2,32 à 1,36 mg/L . litres à un temps idéal de 150 minutes, ce qui est une valeur selon les normes internationales (1,5 mg/l).

Introduction Générale

Introduction

L'eau est la vie pour tous les êtres vivants, elle couvre les trois quart (3/4) de la surface terrestre, et environ les deux tiers (2/3) du corps humain Les origines des eaux de consommation sont multiples telles que les eaux de surface et les eaux souterrains. Ces dernières sont considérées comme la seule ressource dans la plus plupart des pays dans le monde. La sécurité de l'eau est un problème important dans le monde entier et les eaux souterraines sont principalement contaminées par des fluors.

Le fluor est un élément chimique indispensable et bénéfique pour l'organisme humain, à de faibles concentrations, mais toxique à plus fortes doses. A partir de 0,5 mg/l, en ions fluorure, l'eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/l, le risque de fluorose, dentaire et squelettique, débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/l.

Pour se débarrasser du fluor, il existe plusieurs méthodes, dont l'adsorption, sédimentation, l'échange d'ions et le charbon actif le but de cette étude est le fluor par le charbon actif industriel comme méthode très efficace et économique, cette étude est axée en quatre chapitre :

Donc le premier chapitre : on donne un aperçu sur la généralité des fluores

Dons le deuxième : charbon actif

Le troisième : méthode et martial

Dons le quatrième : résultat et discussion

On termine par une conclusion

Chapitre I

Généralité sur le fluor

1-Introduction

Fluorure (F), un élément naturellement présent dans l'eau à diverses concentrations. Il est bénéfique pour la minéralisation des os et des dents. Cependant, la carie dentaire doit être évitée. Une maladie évitable lorsque le fluorure est ingéré dans les concentrations admissibles. De petites quantités de chou-fleur sont vitales pour l'être humain, mais toxiques en plus grande quantité, plus une période de plusieurs années, peut entraîner une infection par la fluorose osseuse et une asthénie entraînant des lésions articulaires (Krishnamaellari, 1986). Ce chapitre a été inclus pour son importance dans la prévention des effets négatifs du fluorure sur la santé publique, ainsi que dans le but d'introduire les sources naturelles les plus importantes de fluorure.

2-caractéristiques physico- chimiques du fluor

Le fluor est le premier élément de la famille des halogènes de symbole F, dans la classification de Mendeleïev. Comme pour les halogènes la molécule de fluor est diatomique F₂ [1]. Par sa grande réactivité (plus électronégatif) et de l'absence d'un électron sur une orbitale proche du noyau, lui procurant un niveau énergétique élevé et des propriétés chimique et biologiques très remarquables. Il oxyde tous les métaux sauf l'or, le platine et l'iridium [2]

À cause de sa forte réactivité, le fluor n'est pas présent à l'état élémentaire dans la nature. On le trouve rarement sous sa forme de gaz verdâtre très toxique et plutôt sous forme de fluorures inorganiques (F), qui existe à l'état libre ou lié à des matrices minérales, ou dans des liaisons covalentes dans des composés inorganiques comme dans le fluorure d'hydrogène ou sous forme de fluorures organiques [3]

Le fluor est un élément isotopique, le plus stable naturellement est le ¹⁹F et le plus radioactif est le ¹⁸F avec une demie vie de 109 min et 48,5 sec. Les autres radioactifs isotopes ont une vie courte, avec demi-vie variée de quelques secondes à quelques minutes. Le fluor a besoin de gagner un électron pour former l'ion fluorure (F⁻) qui a la même structure que le néon (Z = 10). La stéréochimie de l'ion fluorure ressemble à celui de O²⁻ et OH⁻ et les rayons ioniques sont similaires (F⁻ 133 pm; O²⁻ et OH⁻ 140 pm; rayon atomique de fluor est 0.71 pm) [4] D'autres propriétés physico-chimiques de fluor sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques du fluor [4]

| Propriété physicochimique de F | valeur | Unité |
|--|--|------------------------|
| Etat physique (à 25 °C) | gaz | |
| Etat alimentaire | F, gaz | |
| Masse molaire | 18,9984032 | g/mole |
| Nombre atomique | 9 | |
| Pois spécifique | 1,5127 à 188,13 | C (liq) |
| Densité | 1,696 | kJ/mole |
| Point d'ébullition | -188.23 | |
| Point de fusion | -219,61 | |
| Electronégativité | 4,0 | |
| Affinité électronique | 332,6 | kJ/A mole |
| Energie d'ionisation | 1686.6 | kJ/mole |
| Rayon atomique (F-) | 0,71 | pm |
| Rayon ionique (F-) | 133 | pm |
| Indice de réfraction | 1,000195 | |
| Chaleur latente de l'évaporation | 1,67.105 j/Kg = 30.8 cal/g | J/kg ou cal/g |
| Couleur | Jaune pâle, jaune verdâtre | |
| Odeur | Fort, intense, étouffer | |
| Seuil d'odeur | 0,035 | µg F-/g |
| Toxicité par inhalation | 1 | µg F-/g (seuil limite) |
| Limite de l'inhalation de courte durée | 0.5 | µg F-/g par min |
| Pression critique | 55 | atm |
| E (1/2F/F-) | 2,866 | V |
| Configuration électronique Z | 1s ² 2s ² 2p ⁵ ou [He] (2s) ² (2p) ⁵ | |
| Structure électronique | (K)2(L)7 | |
| Structure cristalline | Cubique | |

L'ion fluorure est particulièrement stable, il n'est pas oxydable dans les milieux aquatiques. Ils donnent de nombreux complexes et des composés insolubles. Parmi les ions courants, c'est le zirconium et l'aluminium, alizarine, lanthane qui donnent les complexes les plus stables [5] Ces propriétés pourront être mises à profit pour les traitements chimiques des fluorures ainsi pour l'adsorption sur alumine. Les fluorures donnent des composés insolubles avec les ions alcalino-terreux en particulier avec le calcium [6]. Les produits de solubilité de ces composés sont portés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Solubilité de quelques composés fluorés dans l'eau [6].

| Composé | MgF ₂ | CaF ₂ | CrF ₂ | BaF ₂ | LiF | NaF | BeF ₂ | RbF | KF | CsF |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|-----|------------------|-----|----|-----|
| Solubilité (mole/l) | 1,9.10 ⁻⁴ | 3.1.10 ⁻⁴ | 9.3.10 ⁻⁴ | 1.2.10 ⁻² | 0.05 | 1 | 5.5 | 12 | 17 | 24 |

L'ion fluorure possède des propriétés basiques faibles, il est capable de fixer un proton pour donner l'acide fluorhydrique de pKa 3,17 à force ionique nulle. En milieu concentré et acide, il s'associe à l'acide fluorhydrique pour donner un complexe peu stable HF₂. Présentant les proportions de chaque espèce fluorurée en fonction du pH, permet d'affirmer que le fluor sera sous forme basique ionisée (F⁻) dans la plupart des eaux naturelles ayant souvent un pH entre 6 et 8,5 [7]

3-Sources naturelles de fluor

On trouve les ions fluorure dans de nombreux sites :

3-1 Dans les roches et les sols

Le fluor présent dans les roches et dans les sols peut appartenir à des minéraux variés ; fluorine(CaF₂), fluorapatite (Ca₁₀(PO₄)₆F₂), cryolite (Na₃ AlF₆), amphiboles (Ca,Na,K)₀₋₁(Ca,Fe,Li,Mg,Mn,Na)₂(Al,Cr,Fe,Mg,Mn,Ti)₅ (Al,Si,Ti)₈O₂₂(OH,F,Cl)₂ et micas (K,Na,Ca,Ba)(Al,Cr,Fe,Li,Mg,Mn,V,Zn)₂₋₃ (Al,Be,Fe,Si)₄O₁₀(OH,F)₂ et certains constituants des pegmatites, par exemple la topaze (Al₂(F,OH)SiO₄) et la tourmaline. Le fluor le plus fréquent est la fluorine ou spath fluor (CaF₂), qui renferme jusqu'à 49% de fluor [8]

Auprès , dans les roches plutoniques, on a signalé des teneurs allant de 20 à 4000 ppm, dans le granite prévenant de dévers régions de l'Etat-Unis de 20 à 2300, dans les roches volcaniques et hypoabyssales les teneurs en fluor allant de 80 à 2500 ppm [8] [9]

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, fluorosilicate de baryum), induit généralement une pollution des des sols traités [10]

3-2 Dans l'air

Cependant, l'air est en général responsable seulement d'une petite fraction d'exposition totale de fluorure. Dans des secteurs non-industriels, la concentration en fluorure en air est en général tout à fait basse (0.05-1.90 g. m⁻³) de fluorures [8]

L'atmosphère contient fréquemment des fluorures d'origine divers: poussières arrachées à des sols fluorés, fumées industrielles, feux de charbon dans les zones habitées et émanation de gaz dans les régions d'activité volcanique [10]

Les émissions gazeuses telles que, le HF ou le SiF₄ et les particules détachées des sols sont entraînées dans l'atmosphère par les vents ambiants.

Les opérations particulières susceptibles d'introduire des poussières fluorées dans l'atmosphère sont le broyage, la calcination, le soudage, la fusion des minéraux contenant du fluor et le traitement électrochimique pour la fabrication de l'aluminium. La teneur en fluorure des précipitations dépende, de la nature et de degré de liberté des polluants atmosphériques qu'elles contiennent [11]

3-3 Dans l'eau

En dehors des contaminations anthropiques, les sources naturelles ont, pour la plupart, une origine géologique [12]. C'est le cas des eaux souterraines des réservoirs de granite, de gneiss, de certains bassins sédimentaires ainsi, que des eaux géothermales qui concentrent de fortes teneurs en ions fluorures. Dans les roches métamorphiques et magmatiques acides, les concentrations en fluor, restent comprises entre 0,2 et 0,7 mg/l [6]

Ces minéraux étant peu solubles dans l'eau, et c'est pourquoi que la concentration en ions fluorure dans les eaux de surface est faible [11]

Cependant, la capacité chimique de l'eau à solubiliser le fluor [13]; [7] et les caractéristiques physico-chimiques de certains sels et des nappes d'eau (températures élevées par exemple), en contact de ces roches favorisent leurs dissolutions [11]

Le fluorure se retrouve dans toutes les eaux naturelles à quelque concentration. Eau de mer typiquement Contient environ 1 mg L⁻¹ tandis que les rivières et les lacs présentent généralement des concentrations de moins de 0,5 mg L⁻¹. Dans les eaux souterraines, cependant, les faibles ou fortes concentrations de fluorure peuvent se produire, en fonction de la nature des roches et l'apparition de fluorure de minéraux, 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 [14] ; [15]

La teneur en fluor 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 facteur plus nombreux, dont le principal est le degré de liberté et la solubilité des minéraux fluorés sont avec lesquels elles sont en contact [16]

La plupart des minéraux fluoré sont peu soluble et cette solubilité peut dépendre de celle des roches auxquelles ils appartiennent. Outre la présence et la solubilité de composés fluorés, d'autres facteurs jouent un rôle important dans la détermination de la teneur en fluor d'eaux superficielles ou souterraines données. On peut citer :

- 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 concentration de l'eau en ion H⁺ et Ca²⁺ .La teneur en fluor est généralement plus élevée dans les eaux alcalines, ainsi que dans les eaux plus chaudes que la normale [17]

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 Substance Totale Dissoute (TDS) et en fluor est observée [18]

Le rôle du climat est donc ici très important. Les faibles précipitations des régions arides entraînent généralement des temps de transfert de l'eau souterraine plus longs que dans les zones

humides. Les temps de contact eau/roche plus long provoquent alors un enrichissement de l'eau en substances minérales [19].

3-4 Dans les produits alimentaires

Le fluor est présent dans les roches, les sols, l'eau, les plantes et les animaux. Cet élément se trouve naturellement dans presque tous les aliments qui constituent la ration alimentaire de l'être humain. Parmi ceux-ci se trouvent plusieurs aliments riches en sels fluorés tels que les dattes (14 à 23 mg F- /Kg) et le thé (50 à 125 mg F- /Kg). Ces aliments sont largement consommés dans le sud algérien. Le Tableau 3 et regroupe le taux en fluor dans quelques aliments consommés dans la région d'El Oued (Algérie) [14]

Tableau 3 :Teneurs en fluor (ppm) de divers végétaux cultivés dans les régions d'El Oued[14]

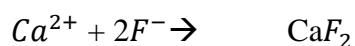
| Produit | Navet | poivron | carotte | Pastèque | Pomme de terre | Tomate | Datte | Tabacfeuille |
|----------------------------|-------|---------|---------|----------|----------------|--------|-------|--------------|
| Teneurs en fluorures mg/kg | 4.2 | 6.1 | 5.0 | 12.0 | 14.3 | 9.0 | 5.8 | 31.0 |

Récemment, après avoir mené une enquête sur la consommation humaine dans la région d'Ouargla affirme que la ration alimentaire moyenne journalière en fluor (Eau, thé, dattes et autres) de la population est de l'ordre de 4,11 mg/j. La quantité ingérée par l'eau constitue la principale source des fluorures soit 46,11% de la dose journalière moyenne [20]

4- Chimie de fluor dans l'eau

4-1 Dans l'eau souterraine

Les eaux souterraines se chargent en fluor, après lessivage de roches phosphatées, probablement par dissolution des apatites fluorées. Le niveau de saturation des eaux dépend principalement du déplacement de l'équilibre de formation de la fluorine (CaF₂) :



La teneur en calcium, l'équilibre des eaux en calcite (CaCO_3), gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et la formation de complexes calciques ($\text{CaSO}_4, \text{CaHCO}_3^+, \text{CaCO}_3$), sont des facteurs importants pour le déplacement de cet équilibre (Pontie et al., 2006). Une forte corrélation négative entre Ca^{2+} et F^- dans les eaux souterraines contient Ca^{2+} en excédent tient compte de l'effet des ions communs [16]

4-2 Dans l'eau de surface

Dans les eaux naturelles de surface, la présence de fluorures, est surtout liée aux rejets des unités de production d'acide phosphorique, d'engrais phosphatés et de la fabrication d'aluminium. Les eaux de mer contiennent environ 1 mg/l, tandis que les rivières et les lacs, présentent généralement des teneurs inférieures à 0,5 mg/l [21]

4-3 Dans l'eau de mer

Dans le cas des eaux de mer, les rejets d'acide fluorhydrique le long du littoral sont rapidement nocifs pour le milieu marin environnant, le pouvoir tampon de l'eau de mer n'étant pas illimité. Dans l'eau de mer, la solubilité totale en fluorine est essentiellement due au complexe formé avec les ions magnésium MgF^+ . Si l'on rejette du fluorure de calcium, il se dissout partiellement suivant l'équilibre suivant [22]



Le fluor est un oligo-élément présent dans l'organisme en très faibles quantités où il intervient en tant que co-facteur dans certains processus enzymatiques. Les fluorures s'accumulent en quantité aisément mesurable dans les tissus calcifiés ; les tissus mous en contiennent aussi, mais à l'état de traces difficilement dosables [13]

5- Fluor et santé

La consommation des eaux excessivement fluorées peut se manifester par des effets négatifs sur la santé des populations qui sont exposées à ces eaux. La teneur en fluor dans l'eau de boisson doit donc répondre à des normes bien précises.

5-1 Normes et recommandations

Le fluor est un oligo-élément nécessaire et bénéfique pour l'organisme humain à de faibles concentrations, mais toxique à plus fortes doses. En effet, à partir de 0,5 mg/L en ions fluorure,

une eau joue un rôle prophylactique, mais le risque de fluorose débute et devient fort au dessus de 1,5 mg/L [23]

Une relation entre la concentration de fluor dans l'eau et le risque de fluorose a été faite, ainsi entre 0,5 et 1,5 mg/L, la bonne santé dentaire est favorisée; entre 1,5 et 4 mg/L, il y a un risque de fluorose dentaire; entre 4 et 10 mg/L, la fluorose concerne les dents et/ou les os; et au-delà de 10 mg/L un stade avancé de fluorose (cripling fluorosis) est atteint [24] Au Sénégal, comme dans de nombreux autres pays du monde, les études montrent qu'à partir de 2 mg/L, tous les enfants sont atteints et que 60 % d'entre eux ont des fluoroses graves pour des teneurs voisines de 4 mg/L [23]

En raison des conséquences néfastes de l'excès de fluor dans l'eau de boisson, l'organisation mondiale de la santé (OMS) recommande la valeur guide de 1,5 mg/L et précise que les normes spécifiques à chaque pays devraient tenir compte des conditions climatiques, de la quantité d'eau consommée ainsi que des autres apports éventuels (Tableau 4). Cette différence correspond au fait que de façon générale la consommation d'eau pour un individu donné augmente avec la température [25]

Tableau 4 :Normes de la teneur en ions fluorures dans les eaux de consommation humaine en fonction de la température moyenne annuelle de [25].

| Température moyenne annuelle de l'eau à partir des maximums diurnes quotidiens (°C) | Teneur optimale de fluorure en (mg/l) | Teneur maximale de fluorure en (mg/l) | Teneur limite de fluorure en (mg/l) |
|--|--|--|--|
| 10 | 01 | 1,074 | 1,64 |
| 10,55 | 0,956 | 1,024 | 1,548 |
| 11,11 | 0,916 | 0,979 | 1,465 |
| 11,67 | 0,888 | 0,94 | 1,393 |
| 12,22 | 0,848 | 0,905 | 1,329 |
| 12,78 | 0,821 | 0,873 | 1,27 |
| 13,33 | 0,796 | 0,844 | 1,218 |

| | | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| 13,89 | 0,773 | 0,819 | 1.17 |
| 14,45 | 0,753 | 0,795 | 1,127 |
| 15 | 0,733 | 0,774 | 1,088 |
| 15,55 | 0,714 | 0,752 | 1,048 |
| 16,11 | 0,698 | 0,734 | 1,015 |
| 16,67 | 0,682 | 0,716 | 0,983 |
| 17,22 | 0,667 | 0,7 | 0,953 |
| 17,78 | 0,654 | 0,685 | 0,925 |
| 18,33 | 0,64 | 0,67 | 0,897 |
| 18,89 | 0,629 | 0,657 | 0,874 |
| 19,45 | 0,618 | 0,644 | 0,85 |
| 20 | 0.6 | 0,632 | 0,828 |
| 21,11 | 0,587 | 0,61 | / |
| 21,66 à 27,77 | / | / | 0,8 |
| 28,33 à 32,22 | / | / | 0.7 |

Ainsi, une teneur optimale en fluor dans l'eau de boisson comprise entre 0,5 et 0,65 mg/L a été trouvée dans une région endémique du sud de l'Inde [26].

En Algérie la concentration maximale admissible en fluorures dans les eaux potable est de 2 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 [27]

5-2 Métabolisme : absorption, distribution et excrétion

Le fluor est un oligoélément présent dans l'organisme en très faibles quantités où il intervient en tant que cofacteur dans certaines enzymatiques [28]. Les fluorures s'accumulent en quantité aisément mesurables dans les tissus calcifiés ; les tissus mous en contiennent aussi, mais à l'état de traces difficilement dosables [8]

5-2-1 Absorption

Le fluor est essentiellement absorbé au niveau gastro-intestinal sous forme d'acide hydrofluorique, environ 75 à 90% de la quantité ingérée est rapidement absorbée, le pic

plasmatique survenant 30 à 60 minutes après l'ingestion [28] Environ 40% est absorbé au niveau de l'estomac sous forme HF. Le haut pH d'estomac diminue l'absorption par la diminution de la concentration d'HF. Le fluor qui n'est pas absorbé dans l'estomac est absorbé dans l'intestin et il n'est pas affecté par le pH sur le présent site. Par rapport à la quantité de fluorure ingérée, les fortes concentrations de cations qui forment des complexes insolubles avec les fluorures (par exemple : le calcium, le magnésium et l'aluminium) peuvent sensiblement réduire l'absorption gastro-intestinal. L'inhalation de gaz, d'émanation et de poussière fluoré est suivie d'une absorption rapide au niveau des voies respiratoires [29]

5-2-2 Distribution

Le fluor facilement distribue dans tous les corps avec environ de 99% des ions fluorures absorbés sont fixés par les tissus calcifiés que sont les os et les dents. Ceci est la conséquence de leur forte réactivité avec l'apatite -phosphate de calcium complexe- qui est le composant minéral des os et des dents. Dans le sang le fluor circule principalement sous forme ionique avant de se fixer au niveau de tissus minéralisés [8], [13]

Chez les nourrissons, environ 80% à 90 % de fluorure absorbé est conservée, mais chez les adultes, ce niveau tombe à environ 60%. Il ne résulte que du fluor retenu par l'organisme se fixe principalement dans les os et les dents et très secondairement dans les tissus mous. Les teneurs normales en fluor dans divers tissus de l'organisme, sont données dans le Tableau 5 [30]

Tableau 5 :Teneur en fluor dans l'organisme humain[23].

| Teneur en fluor (ppm de matière sèche) | Tissus |
|--|-----------|
| 400 – 1200 | squelette |
| 500-800 | dents |
| 0.7-3 | organes |
| 0.2-0.3 | sang |
| 2-8 | urine |

5-2-3 Excrétion

Environ 10 à 25% de l'apport quotidien en fluorures ne sont pas absorbés et sont excrétés. L'élimination des fluorures absorbés est essentiellement urinaire. La clairance rénale des

fluorures chez un adulte jeune ou d'âge moyen en bonne santé est environ de 35 ml par minute. Il semble qu'une diurèse importante ou un pH alcalin de l'urine augmentent cette excrétion [31]

6-La fluorose

Les conséquences immédiates de la consommation régulière d'une eau dont la teneur en fluor est excessive sont la fluorose dentaire et la fluorose osseuse [32]

6-1 La fluorose dentaire

Selon un rapport de l'UNICEF (fond des nations unis pour l'enfance), la fluorose est endémique dans au moins 25 pays à travers le monde. La fluorose dentaire a été décrite dans de nombreux pays du monde entier : au Maroc, au Kenya, en Tanzanie, au Sénégal, en Inde, en Europe, aux États-Unis particulièrement dans les pays où les populations s'alimentent en eau dont la teneur en fluor est relativement élevée [33]

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 la troisième mois de vie in utero et se termine vers 12 ans environ. Elle se caractérise par un aspect tacheté de l'émail dentaire. L'accumulation et la méconnaissance des sources d'apport de fluor sont à l'origine de la plupart des cas de fluorose dentaire. La sévérité des lésions dépend de la durée d'exposition, de la dose ingérée et de la susceptibilité individuelle [34]

L'émail peut être tacheté en brun ou en blanc avec des stries, des bandes ou encore présenter l'aspect caractéristique de dents « crayeuses ». Sous les formes les plus bénignes, seule la couche superficielle de l'émail est touchée et des lignes blanches diffuses apparaissent sur la dent [35]. Lorsque la sévérité augmente, les couches les plus profondes sont touchées et la porosité devient importante, ce qui donne aux dents un aspect blanc crayeux [36]. La tâche des dents est l'un des symptômes le plus facilement reconnaissable (figure 1) [37]



Figure 1 Fluorose dentaire [37]

La prévalence, le métabolisme et les risques du développement de la fluorose dentaire ont été développés par certains auteurs [36]; [34]; [38]

En général, les formes légères de fluorose dentaire n'altèrent pas la fonction dentaire et sont considérées comme des problèmes de nature esthétique plutôt que de santé [36].

6-2 Fluorose osseuse :

La fluorose osseuse, résulte d'une intoxication prolongée par de fortes quantités de fluor. Elle est cliniquement latente et se découvre par radiologie. Les principaux signes cliniques sont les douleurs osseuses périphériques, souvent, masquées par les douleurs neuropathiques, et les déformations osseuses des os longs avec une augmentation du risque de fracture par fragilité osseuse. Une fluorose osseuse se traduisant par une déformation du squelette, l'ostéopéotrose (Figure 2). C'est une maladie grave, caractérisée par une masse osseuse basse et des altérations des os, c'est-à-dire la décalcification du tissu osseux ou l'os devient poreux, léger, friable et cassant [39]; [8]; [40]., [41]. Les symptômes les plus sévères tendent à toucher la colonne vertébrale dans les parties inférieures et portantes du corps [42]



Figure 2 Fluorose osseuse [42]

6-3 Fluorose endémique en Algérie

Malgré le peu de publications, certains travaux (Achour et Yousef, 2001; Messaïtfa, 2008; Belmabdi et Messaïtfa, 2011; Belmabdi et Messaïtfa, 2014), confirme qu'un pourcentage, non négligeable, d'habitants du sud algérien, sont atteint par la fluorose dentaire. Pinet et al. (1961), a entrepris une enquête dans la région du Souf on montrant que pratiquement toute la population était atteinte de fluorose dentaire à degrés divers. Selon Poey et al. (1976), l'intoxication fluorée chronique dans la région du Souf (eau de boisson contenant 3 à 5 mg/l de fluor), provoque des modifications du bilan biologique. Ils attribuent cette intoxication fluorée à l'eau de boisson et à la consommation abondante de certains aliments riches en fluor, notamment les dattes et le thé. En 1980, une enquête menée par l'INSP (Institut National de Santé Publique), dont quelques résultats apparaissent au Tableau 6.

Tableau 6: Pourcentage d'habitants atteints de fluorose dentaire au Sud Algérien

| Localité | Pourcentage (%) |
|-----------------|-----------------|
| Ghardaia | 1.3 |
| Laghouat | 3.2 |
| Touggourt | 18 |
| EL-Oued (ville) | 20 |
| Djamaa | 36 |
| Ouargla | 44 |

Conclusion

Le fluor est un élément essentiel et nécessaire dans l'eau potable, et le but de l'élimination du fluorure est de traiter l'eau de concentrations élevées et d'atteindre des normes acceptables.

Chapitre II

Généralité sur le Charbon Actif

1-Historique:

L'exploitation des propriétés filtrantes du charbon de bois pour la purification et en médecine débute avec les égyptiens en l'an 1500 avant Jésus Christ. Quant aux anciens hindous, ils filtraient déjà leur eau avec des charbons pour la rendre potable. L'industrialisation du charbon actif proprement dit commence au début du XXème siècle pour répondre aux besoins des raffineries de sucre. Le charbon actif est alors utilisé comme décolorant. La production des charbons actifs s'intensifie pendant la première guerre mondiale en raison de la prolifération des gaz toxiques et du développement des masques à gaz. Aujourd'hui, la production mondiale annuelle en charbons actifs atteint 420 000 tonnes. Le faible coût des charbons actifs et leur caractère non sélectif leur assurent leur place sur le marché des adsorbants, en dépit de l'apparition récente des nombreux concurrents décrits précédemment et en particulier des zéolites, les principales rivales des charbons actifs qui présentent les mêmes propriétés que les charbons actifs en termes de conductivité et de résistance à la chaleur avec une répartition de taille de pores très étroite [43]

2-Définition :

Le charbon actif (ou activité carbone) ou encore charbon activé est une poudre noire, légère, constituée essentiellement de matière carbonée à structure microporeuse (figure I.8). C'est, en fait, une sorte de charbon de bois présentant une très grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant [44]



Figure 3 : Charbon actif.

3-Les différentes formes du charbon actif

Le charbon actif est disponible sous deux formes différentes : en **poudre** où en **granulé**.

3-1Le Charbon actif en grain (GAC)

Ce sont des particules de formes irrégulières parmi une gamme de tailles allant de 0.2 à 5 mm Ce type de charbon est utilisé pour des applications en phase liquide et gazeuse [45]



Figure 4: charbon actif en grain

3-2Le Charbon actif en poudre (CAP)

Pulvérisé avec une taille de moins de 0.18mm (US Mes h 80). Ce charbon est principalement employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux [45]



Figure 5 : charbon actif en poudre

4- Fabrication de charbon actif :

La fabrication de CA se décompose en deux étapes : la carbonisation (ou Pyrolyse) et l'activation.

4-1-La carbonisation (pyrolyse) :

La carbonisation est la décomposition thermique des matières carbonées : les espèces autres que le carbone sont éliminées. Cette étape s'effectue à des températures comprises entre 600 et 800°C en présence de sels métalliques et sous un courant continu de gaz inerte (absence d'oxygène). La carbonisation est généralement effectuée à une vitesse de montée en température suffisamment grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Elle fournit des matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique d'environ 10 m².g⁻¹) et qui n'ont donc pas une forte capacité d'adsorption. La structure poreuse est ensuite étendue durant le processus d'activation [46]

4-2-L'Activation :

L'activation consiste à développer la structure poreuse et créer les fonctions de surfaces généralement oxydées qui sont à l'origine des interactions entre le solide et les molécules adsorbées. L'activation physique permet de développer les pores existants et d'en créer d'autres. L'activation consiste à augmenter son pouvoir adsorbant, notamment en éliminant les goudrons qui obstruent les pores Il existe deux procédés d'activation, l'activation physique et l'activation chimique [47]

4-2-1L'activation physique

Permet de développer les pores existants et d'en créer d'autres. Elle est réalisée entre 800°C et 1000°C en présence d'un gaz faiblement oxydant (air), de vapeur d'eau, de CO₂, ou encore d'un mélange de ces gaz [48]

4-2-2L'activation chimique

Consiste à imprégner le matériau de départ avec une solution concentrée d'agent très oxydant et/ou déshydratant (acide phosphorique, chlorure de zinc...). Le matériau subit ensuite une pyrolyse entre 400°C et 800°C à l'abri de l'air, puis est lavée et séchée. Le charbon actif est ainsi obtenu en une seule étape. C'est le degré d'imprégnation du matériau en matière oxydante qui définit la structure poreuse finale [47]

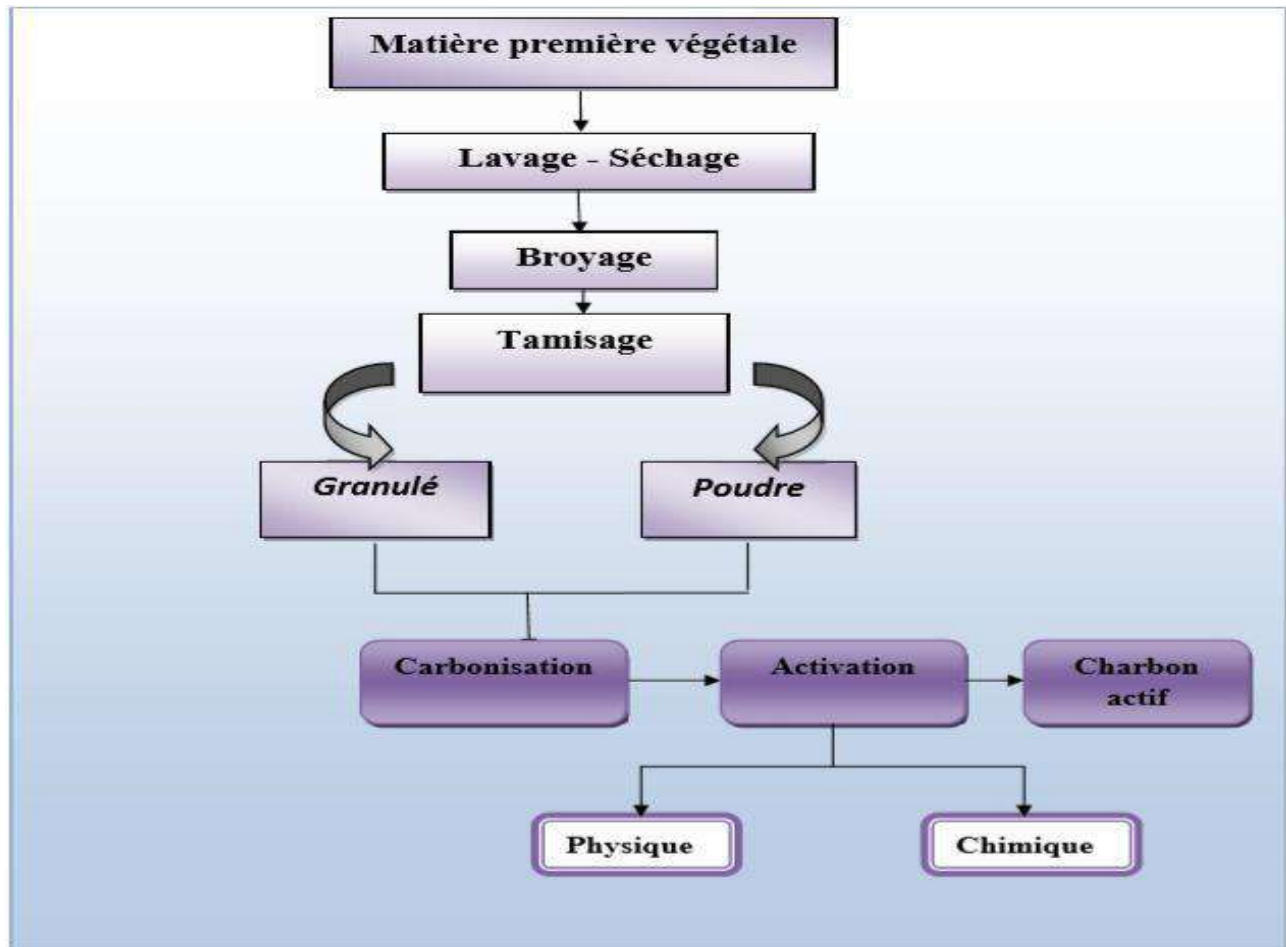


Figure 6: Les étapes de fabrication du charbon actif

5- Structure du charbon actif :

La structure et la nature chimique d'un charbon activé évoluent tout au long des processus de sa carbonisation et de son activation. Les processus de polymérisation et de polycondensation débutent vers 400 °C, avec une augmentation de la teneur en carbone sous forme de cycles aromatiques condensés. La montée en température facilite le réarrangement de la matière organique et conduit à une structure poreuse. En poursuivant le chauffage, la structure devient de plus en plus poreuse, ce qui provoque une pression sur les parois des différents pores et par conséquent une diminution de leur volume. Suite à la carbonisation, la structure des charbons actifs est constituée d'une association aléatoire de plans d'atomes de carbone. Ces atomes sont organisés sous forme de cycles aromatiques qui forment des feuillets de carbone appelés graphène ou carabines. Le graphène a une structure bidimensionnelle d'atomes de

carbone rappelant celle d'un nid d'abeille. Le nuage d'électrons π délocalisés sur ces cycles donne au charbon son excellente qualité d'agent adsorbant [49]. L'arrangement des plans de cycles aromatiques se fait d'une manière irrégulière créant entre les feuilles des interstices nommés pores, qui sont à l'origine de la grande surface spécifique des charbons actifs.

6-caractéristiques du charbon actif

6-1-Caractéristiques physiques

6-1-1 Porosité :

Elle représente la fraction de volume vide d'un adsorbant. Elle est liée à la densité réelle et à la densité apparente par la relation

$$P = 1 - \frac{d_a}{d} \dots\dots\dots(1)$$

Ou :

P : porosité.

d_a : Densité apparente.

d : Densité réelle.

La densité apparente étant le poids d'adsorbant nécessaire pour remplir un filtre de volume déterminé tandis que la densité réelle est le rapport du poids d'adsorbant (matière solide) au volume occupé par la matière solide, les particules et dans les pores. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer la porosité d'un solide. De plus, certaines d'entre elles permettent de déterminer la répartition des pores, chose relativement importante, compte tenu du fait que souvent la surface interne (des pores) est supérieure à la surface externe des particules [50].

6-1-2 Structure poreuse d'un charbon activé :

Dans un charbon activé, on peut trouver des pores de différentes tailles. Selon la définition de l'IUPAC (International of Pure And Applied Chemistry), la porosité est classifiée de la manière suivante :

- ✓ Micropores: Largeur inférieure à 20 Å
- ✓ Mésopores : Largeur entre 20 Å et 500 Å .
- ✓ Macropores : Largeur supérieure à 500 Å .

Seuls les micro- et les mésopores contribuent à la capacité d'adsorption des charbons activés [51]

6-1-3 Densité apparente :

C'est un paramètre utilisé surtout pour les charbons actifs en grains, c'est le poids de charbon par unité de volume exprimé en kg / m³ ou dans certains cas en g / cm³. L'AWWA (American Water Works Association) recommande l'utilisation de charbons ayant une densité apparente supérieure à, 350 kg/m³. Cette densité apparente détermine avant tout le montant de l'achat du charbon, généralement vendu au poids alors que le traiteur d'eau pense en termes de volumes à remplir. La densité déterminée également l'expansion du lit de charbon pendant le lavage à l'eau . Il est préférable de choisir des charbons peu denses [50] .

6-1-4 La surface spécifique :

Par définition, la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse . Elle est généralement exprimée en m²/g . En fonction du matériau d'origine, du type d'activation et des conditions de sa mise en œuvre, toute une gamme de charbons actifs est obtenue. Leurs surfaces spécifiques peuvent s'étendre de 400 à 2000 m² /g . Leurs distributions de microporosité sont variées et peuvent être adaptées à différents usages [52]. La surface spécifique est calculée en mesurant la quantité d'un gaz adsorbé à basse température (généralement l'azote à 77 ° K) et en supposant que la surface est recouverte par une monocouche de molécules [53] .

6-1-5 Friabilité :

On estime la friabilité d'un matériau en appréciant la quantité de matériau restant utilisable après broyage, c'est-à-dire ayant la même taille effective que l'échantillon initial.

$$\text{Friabilité} = \frac{10}{9}(x-10) = \text{partie en \%}$$

Où x est le pourcentage en poids du matériau .

Elle est généralement après 750 coups et 1500 coups de broyage et on considère que le charbon actif est de qualité médiocre quand sa friabilité dépasse les 15% après 750 coups de broyage et 25% après 1500 coups [54]

6-1-6 Granulométrie :

C'est la mesure de la dimension des grains du charbon actif. il est bien évident que tous les grains d'une certaine qualité de charbon actif n'ont pas la même dimension. Ainsi, il est indispensable de faire l'étude statistique des dimensions des grains du charbon. La granulométrie consiste à peser un échantillon après séchage, ensuite par tamisage sur un empilement de tamis normalisés. On note le poids des matériaux qui ont traversé chaque tamis dont la maille est inférieure à la maille du tamis considéré, on exprime ce poids en pourcentage du poids de matériaux utilisés pour l'analyse, on trace ensuite la courbe représentant ces pourcentages en fonction des vides de maille de chaque tamis [55]. On appellera taille effective la taille correspondant au pourcentage de 10 sur la courbe. (Figure N°12). c'est-à-dire la taille de particules pour 10° de l'échantillon se trouve au dessous de cette dimension [50].

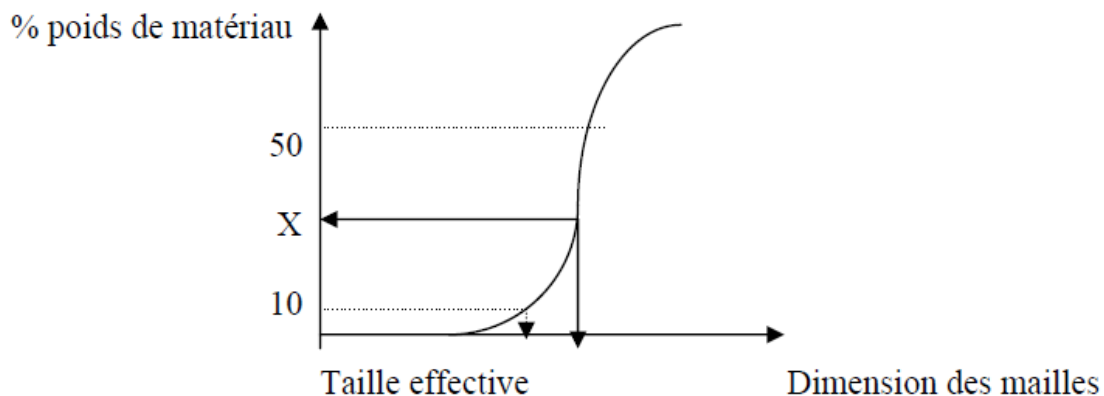


Figure7 : courbe de Granulométrie

6-1-7 Coefficient d'uniformité :

C'est le rapport entre la taille correspondant au pourcentage de 50 et celui correspondant au pourcentage de 10 (déterminés à partir de la courbe granulométrique). C'est un paramètre surtout utilisé pour les charbons en grains


$$CU = \frac{\text{Taille de 50 \%}}{\text{Taille de 10 \%}} \dots\dots\dots (3)$$

Plus le coefficient d'uniformité est élevé et plus les fronts d'adsorption se rapprochent de leur allure théorique . On use habituellement des charbons avec des coefficients d'uniformité de l'ordre de 1.6 [14].

6-1-8 Humidité et teneur en cendres :

Ces deux paramètres sont également importants lorsqu'il s'agit de sélectionner un charbon actif. A la livraison. L'humidité doit être inférieure à 5 % tandis que la teneur en cendres ne doit pas dépasser 10 %, sinon le pH risque d'atteindre des valeurs élevées et de causer la précipitation des carbonates de l'eau sur le Ceci entraîne évidemment une baisse de la capacité d'adsorption (54)

6-2- Caractéristiques chimiques :

Elles reposent essentiellement sur la capacité d'adsorption d'un charbon actif vis-à-vis des données de substances. Dans certains pays on utilise l'indice FINAD . c'est - à - dire la somme des notes attribuées pour l'adsorption des substances polluantes qui sont le Phénol (F). l'Iode (I), l'Indol , le phénazone (A) et les détergents (D). On se limite souvent aux indices FND

6-2-1 Indice d'iode :

Pour les charbons actifs destinés à des applications en traitement des eaux . l'indice d'iode représente la quantité d'iode . exprimé en mg , adsorbé sur charbon actif [54]

6-2-2-Indice de phénol :

Il représente la quantité de phénol C. H OH exprime en mg , adsorbé sur charbon actif [54]

7-Régénération du charbon actif

Lorsqu'il est utilisé en tant qu'adsorbant, le CA se sature progressivement et il finit par ne plus pouvoir fixer les molécules à sa surface. Afin de valoriser au mieux ce matériau et ne pas en faire un déchet ultime, il apparaît donc important de pouvoir le régénérer de façon à ce qu'il puisse retrouver ses propriétés initiales d'adsorbant. Il existe un certain nombre de techniques de régénération du CA : thermique, à la vapeur d'eau, chimique (extraction par solvant, par fluide supercritique ou décomposition des adsorbats par des agents oxydants ou réducteurs), électrochimique ou encore biologique. La revue de Scheintuch et Matatov-Meytal [56] décrit plus précisément ces différents procédés et en particulier ceux utilisant une régénération catalytique.

Plusieurs travaux font référence à l'oxydation (catalytique) comme technique de régénération des charbons actifs saturés par des polluants organiques. Cette oxydation peut se faire après désorption préalable des molécules [57] ou directement sur le charbon [58; 59]. Elle utilise soit des oxydants puissants - réactif Fenton [60; 61], ozone [62] - soit l'oxygène de l'air [59]. Pour accélérer la décomposition des molécules adsorbées, le charbon peut également être imprégné par un catalyseur

métallique [58]. Un procédé séquentiel adsorption-oxydation utilisant le charbon sans prétraitement et l'oxygène de l'air est décrit par Polaert et coll. [59]. Dans un premier temps, l'adsorption à température ambiante élimine en continu les polluants des eaux à traiter. Puis, la seconde étape sous pression d'air tire profit des propriétés catalytiques du charbon dans l'oxydation de molécules organiques (en particulier aromatiques) pour effectuer la régénération de l'adsorbant à des températures modérées (autour de 150°C). Par rapport au procédé d'oxydation continue sur charbon, seule une petite partie du flux à traiter doit être chauffée et il n'est pas nécessaire de réaliser une minéralisation poussée des polluants, puisque c'est l'étape d'adsorption qui réalise la purification de l'eau. Par ailleurs, un drainage/rinçage peut être réalisé entre les deux étapes, permettant le traitement d'effluents salins

8-Conclusion

Le charbon actif est un matériau unique en raison de sa grande surface spécifique et de sa structure poreuse. Malgré sa propriété d'adsorption, il élimine le fluor et les impuretés de l'eau.

Chapitre III

Méthodes et Matériels

1-Introduction :

Le partie pratique de ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire LGEMS de l'Université de Ouargla, au cours duquel nous avons mené un ensemble d'expérimentations dans le but d'étudier à l'aide de dispositifs, d'outils et de matériaux, que nous aborderons dans ce chapitre avec des définitions et des images, puis expliquez la méthode de préparation de la solution mère par la suite.

2-Matériels utilisés

2-1-Fiole conique (Fiole Erlenmeyer)

Appelée aussi "Erlenmeyer", c'est une fiole à fond conique et à col cylindrique très utilisée dans les laboratoires de chimie. Elle s'apparente à un bécher, sauf qu'elle a un col plus étroit, ce qui permet l'étanchéité du cycle à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et est utilisé pour le mélange et l'étalonnage. L'erlenmeyer est en verre borosilicaté et est gradué à l'extérieur pour donner une estimation du volume du contenu. La fiole conique est parfois appelée fiole Erlen Meyer, après avoir été inventée par le chimiste allemand Emil Erlenmeyer en 1861.

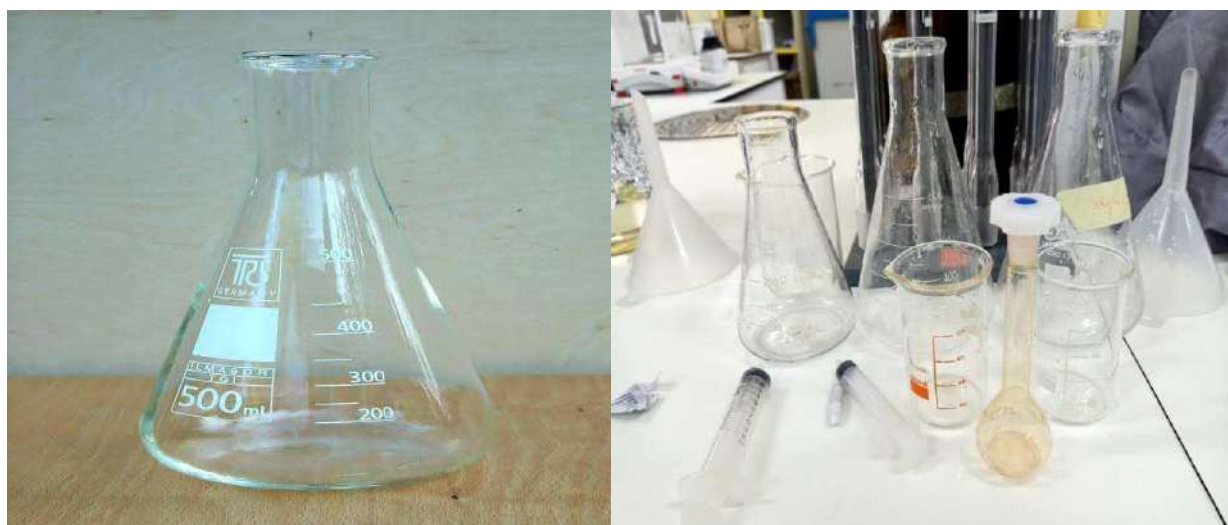


Figure 8 : Une image d'un groupe d'outils de laboratoire.

2-2 Fiole jaugée :

La fiole jaugée est un type de récipient en verre couramment utilisé dans les laboratoires, qui permet de mesurer divers liquides avec plus de précision que certains récipients de mesure connus.



Figure 9: Image d'une fiole jaugée

2-3 Entonnoirs en verre à tige courte :

Un outil constitué d'une section supérieure conique (l'embouchure de l'entonnoir) qui se termine par une section cylindrique étroite. L'entonnoir facilite le processus de versement des moyens ou de remplissage de granules de différents matériaux dans des pots et des conteneurs. Les entonnoirs sont en acier inoxydable, verre ou divers plastiques.



Figure 10 : Image d'un entonnoir.

2-4Papiers Filtres

Les papiers filtres sont l'outil utilisé pour filtrer les liquides afin d'obtenir des liquides exempts de toute impureté.

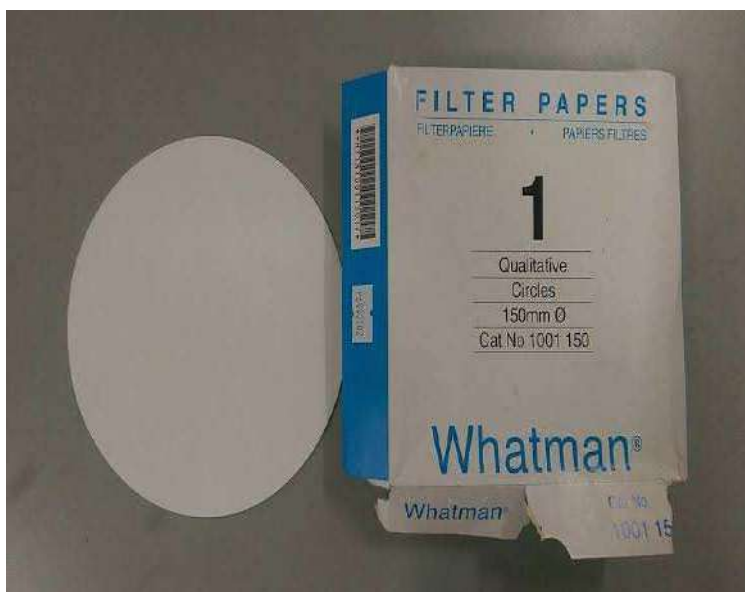


Figure 11 : Images des papiers filtres.

2-5 Pipette

La plupart des pipettes sont en verre, mais certaines sont en plastique, et cet outil n'est pas soumis à des températures élevées ou à des flammes, car il peut se déformer et perdre sa précision de mesure.



Figure 12 : Image d'une pipette

2-6 Feuille d'aluminium :

Nous l'utilisons ici pour enrober les solutions lors de leur mélange dans un cycle Beecher, conique, etc.



Figure 13 : Une image de papier d'aluminium.

2-7 Coupes en verre graduées (Becher) :

Il a une forme cylindrique avec un fond plat et a diverses mesures de quelques millilitres à plusieurs litres. Le bécher de laboratoire est en verre borosilicaté, qui se caractérise par sa durabilité, sa résistance à la chaleur, sa transparence et l'utilisation de moyens d'agitation, de mélange et de mélange dans les laboratoires chimiques.



Figure 14: Image d'un bécher en verre gradué.

2-8 Eau distillée (Eau Distillée) :

L'eau distillée est l'un des types de purification de l'eau et elle est obtenue après un processus de distillation qui en élimine les impuretés et les minéraux. Ensuite, elle est condensée pour redevenir liquide et utilisée dans plusieurs domaines, notamment : ingénierie, laboratoire, industriel, agricole... etc.

3-Appareils utilisés :

3-1 Balance analytique sensible :

Aussi appelée échelle Mettler, c'est une balance numérique utilisée pour mesurer les masses d'objets avec une précision de 0,1 mg.



Figure 15 : L'image de la balance.

3-2 Agitateur magnétique (mélangeur magnétique) :

Il se compose principalement d'aimants rotatifs par action magnétique ou d'un autre champ magnétique qui ne lui est pas connecté. Habituellement, l'un des aimants permanents est connecté à un moteur électrique tandis que l'autre tige magnétique est immergée dans le liquide. Lorsque l'aimant inférieur tourne, la tige magnétique immergée dans le liquide est affectée et essaie de tourner dans le même sens que l'aimant en rotation sans aucun contact mécanique entre eux. Il est à noter que le moteur magnétique a été inventé en 1917 aux États-Unis de Amérique.



Figure 16 : Agitateur magnétique.

3-3 Multi Parametres

C'est un outil électronique multi-mesure, c'est-à-dire qu'il mesure et donne plus d'un résultat pour plus d'un facteur au même moment, comme la mesure de la température, Conductivité, PH de la solution.



Figure 17: Une image d'un Multi Parametres pour mesurer Cond, T° et Ph.

4-3 Turbidimètre:

Ce dispositif repose sur la diffusion de la lumière émise par une lampe fluorescente qui traverse l'échantillon à un angle de 90°. Il utilise des cellules transparentes (tubes) en plastique ou en verre. Il est considéré comme le meilleur pour les longueurs d'onde courtes et a une sensibilité dans la plage inférieure à 1 NTU.



Figure 18 : Image du turbidimètre

4-4 Spectrophotomètre :

Le spectrophotomètre est souvent utilisé pour surveiller le changement de concentration soit du réactif soit du produit en mesurant l'absorption à une durée spécifique dans le temps, nous utilisons donc deux petites bouteilles pour le premier appareil que nous remplissons d'eau distillée à la limite existante. Dans celui-ci et encore avec la solution dans laquelle vous voulez connaître la concentration en fer, nous fabriquons la première bouteille à l'intérieur de l'appareil jusqu'à ce que nous ajustions et veillons à ce que la concentration f soit nulle, puis nous entrons dans la deuxième bouteille et nous enregistrons le résultat donné



Figure 19 : Image d'un Spectrophotomètre

4-La preparation des échantillons:

4-1 Préparation de la solution mère :

Nous prenons un bécher gradué d'une capacité de 500 ml et le remplissons d'eau distillée, y ajoutons une quantité de poudre de Fluorure de sodium d'un poids de 3 mg et on le met sur le dispositif mélangeur magnétique pendant 03 minutes rapidement (200 rpm) pour rendre le mélange homogène puis on réduit la vitesse à (60 rpm) pour un autre 10 minutes pour s'assurer que le Fluorure de sodium est bien dissous.



Figure 20 : Image pendant la Préparation de la solution mère

4-2 Charbon Actif commercial

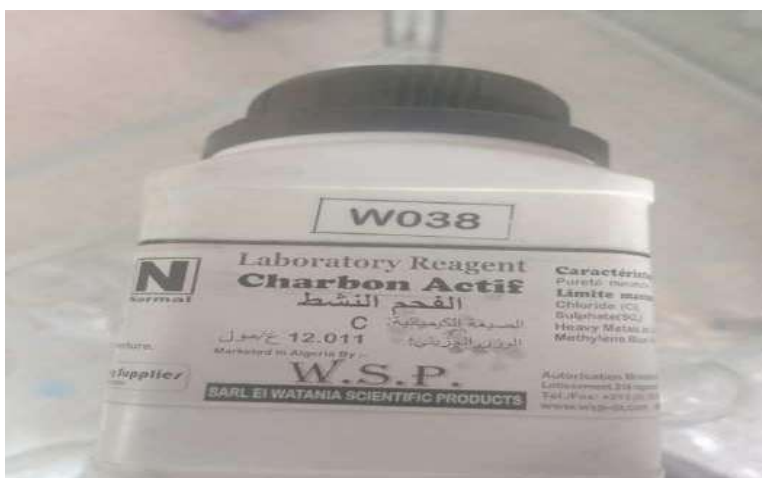


Figure 21: Image du Charbon Actif

5-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons préparé les échantillons dont nous avons besoin pour les expériences du prochain semestre, en utilisant certains des appareils et outils que nous avons mentionnés.

Chapitre IV

Résultats et Discussions

1-Introduction

Dans ce chapitre, nous réalisons un ensemble d'expériences sur une solution riche en fluor à l'aide de charbon actif industriel, en tenant compte des conditions de l'expérience afin d'étudier l'effet de facteurs comprenant ;

- Influence du Temps de contact
- Influence de la Vitesse d'agitation

2-Influence du Temps de contact

On remplit le bécher avec 1 litre d'eau distillée, on ajoute 0,03 gramme de Naf, puis on met le bécher dans l'agitation à vitesse 300 (tr/min) pendant 10 minutes. Mettre dans le Becher 20 ml de la solution mère puis ajouter 0,02 g de charbon actif. On met le Becher dans l'agitateur magnétique à une vitesse de 300 (tr/min) pour des durées différentes de 15 minutes à 150 minutes. Après la fin de la période, nous filtrons l'échantillon puis mesurons la température, la turbidité conductivité pH et la concentration finale. Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau 7: les mesures expérimentales en fonction du temps de contact

| t(min) | Ph | T°C | Conductivité | turbidité | C (fluor) i | C (fluor) f | R(%) |
|--------|------|-------|--------------|-----------|-------------|-------------|-------|
| 15 | 7,97 | 28,05 | 55 | 8,59 | 2,32 | 1,62 | 30,17 |
| 30 | 7,7 | 28,73 | 50 | 12 | 2,32 | 1,59 | 31,47 |
| 45 | 5,88 | 27,01 | 131 | 14,96 | 2,32 | 1,89 | 18,53 |
| 60 | 7,76 | 27,66 | 90 | 12,81 | 2,32 | 1,67 | 28,02 |
| 75 | 7,52 | 27,84 | 85 | 26,07 | 2,32 | 1,62 | 30,17 |
| 90 | 6,94 | 26,13 | 111 | 21,33 | 2,32 | 1,8 | 22,41 |
| 150 | 7,86 | 26,29 | 263 | 30,35 | 2,32 | 1,36 | 41,38 |

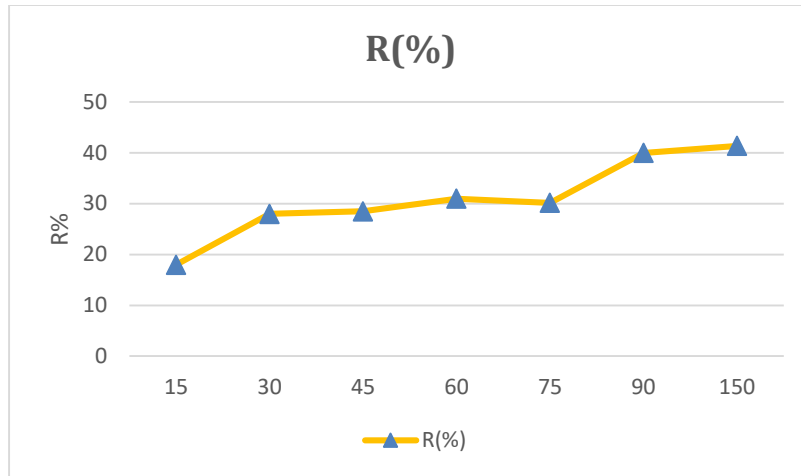


Figure22 : Variation du rendement d'élimination du F en fonction du temps

Nous expliquons l'augmentation de l'adsorption au début du rendement due à la présence de places vacantes prêtes à l'adsorption des ions fluorures à la surface du charbon actif. Nous avons également constaté que le temps de retour idéal pour le traitement au charbon actif est de 150 minutes

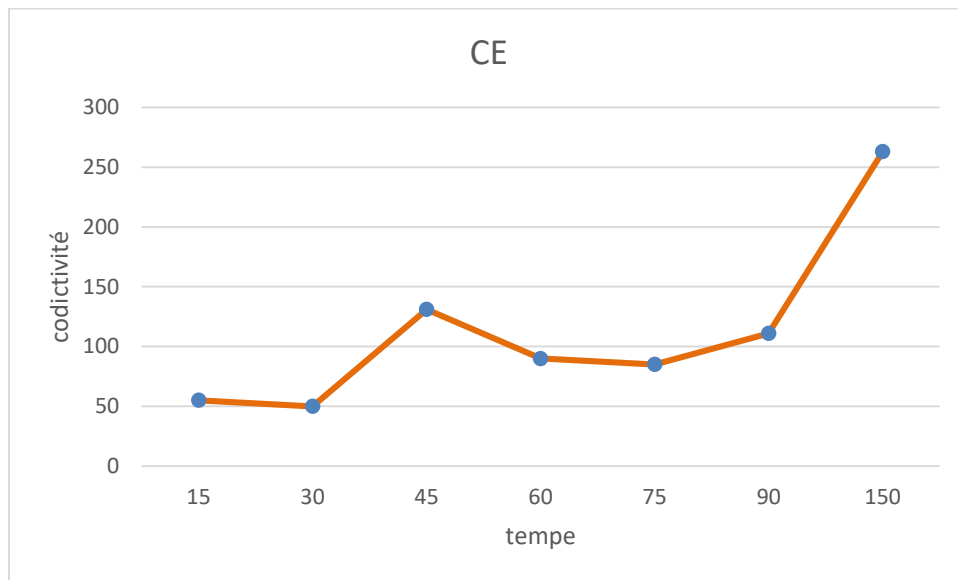


Figure23 : Variation de la conductivité d'élimination du F en fonction du temps

Le graphique indique le conductivité en terme de temps .on remarque une augmentation de le conductivité avec de temps

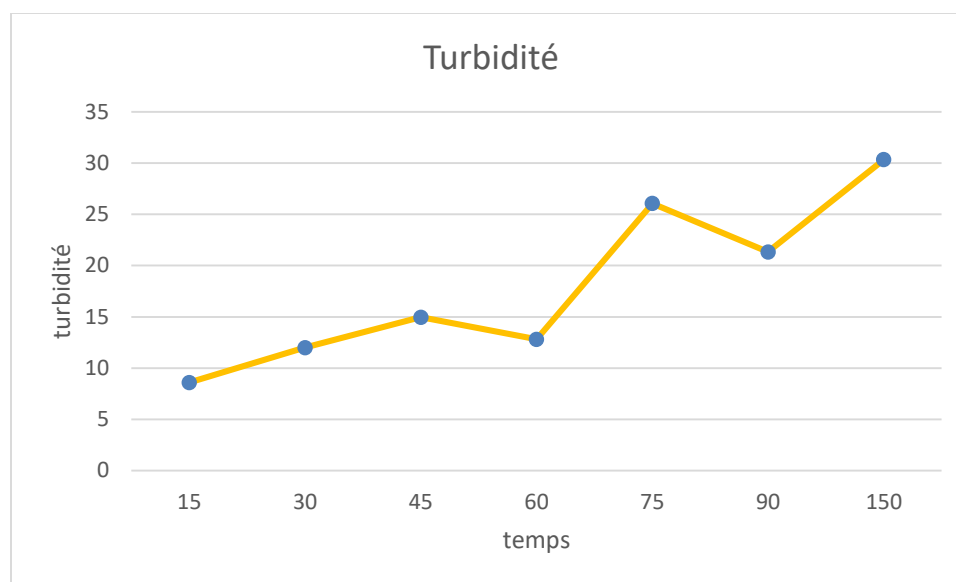


Figure24 : Variation turbidité d’élimination du F en fonction du temps

Le graphique indique la turbidité en terme de temps. On remarque une augmentation de la conductivité avec de temps

3-Influence de la Vitesse d’agitation :

On met dans le Becher 20 ml de la solution mère, puis on ajoute 0,02 g de charbon actif. On met le Becher dans l’agitateur magnétique à différentes vitesses de 100 à 600 pendant une durée de 100 minutes. Après la fin de la période, on filtre l’échantillon puis mesurer la température, la turbidité conductivité pH et la concentration finale. Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau 8:les mesures expérimentales en fonction de la vitesse d’agitation

| V (tr/min) | Ph | T°C | Conductivité | turbidité | C (fluor) i | C (fluor) f | R(%) |
|------------|------|-------|--------------|-----------|-------------|-------------|-------|
| 100 | 8,42 | 25,39 | 50 | 20,43 | 2,09 | 1,14 | 45,45 |
| 200 | 7,82 | 24,7 | 41 | 19,03 | 2,09 | 0,95 | 54,55 |
| 300 | 7,62 | 25,35 | 53 | 20 | 2,09 | 1,01 | 51,67 |
| 400 | 7,25 | 24,69 | 50 | 23 | 2,09 | 1,18 | 43,54 |
| 500 | 7,48 | 24,46 | 58 | 23,08 | 2,09 | 1,34 | 44,00 |
| 600 | 7,14 | 23,52 | 56 | 26,66 | 2,09 | 1,07 | 42,00 |

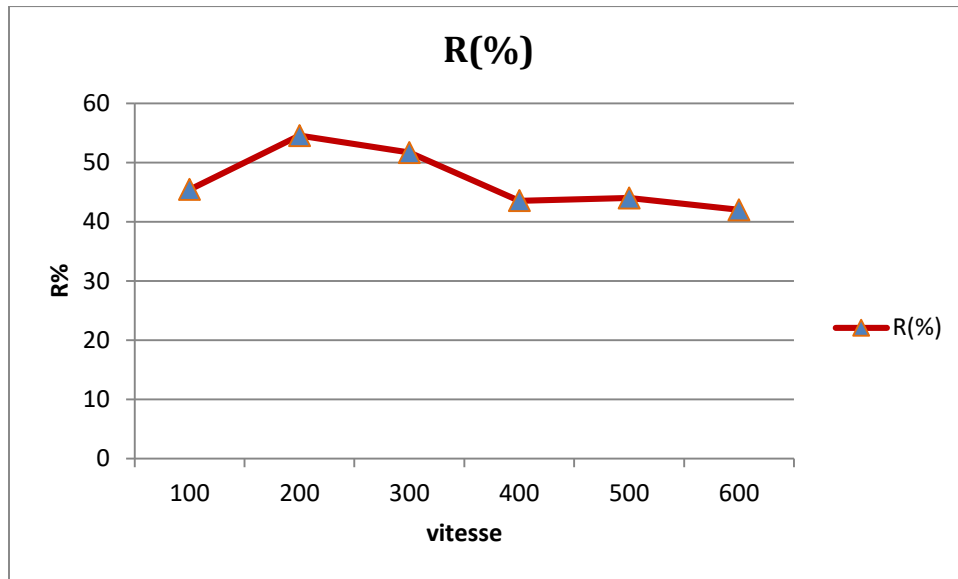


Figure25 : Variation turbidité d'élimination du F en fonction de la vitesse d'agitation

On remarque que lorsque la vitesse de mélange augmente, l'adsorption des ions fluorure augmente à la surface du charbon actif. Ceci est considéré comme une augmentation du contact entre les ions fluorure et la surface du charbon actif en mélangeant à une vitesse de 200 puis en diminuant.

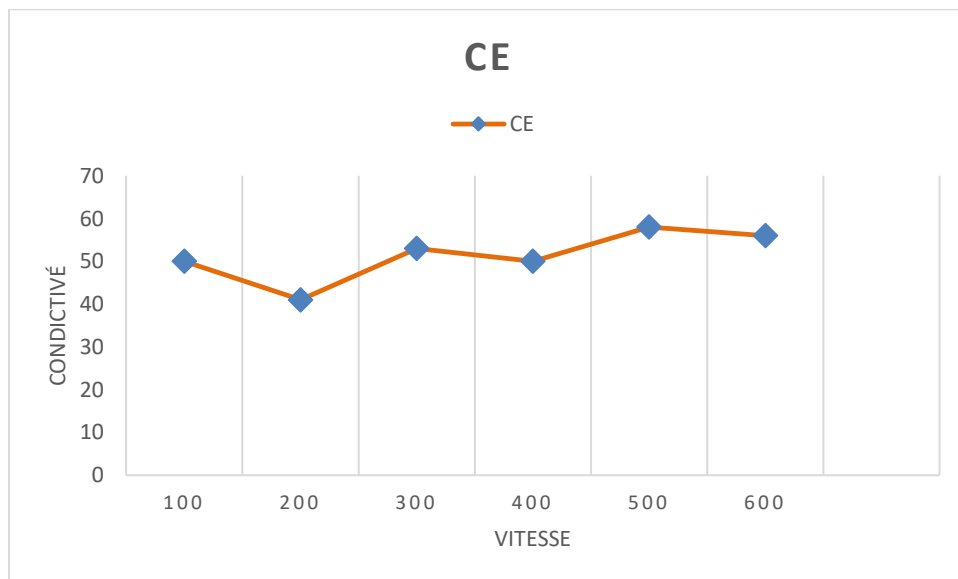
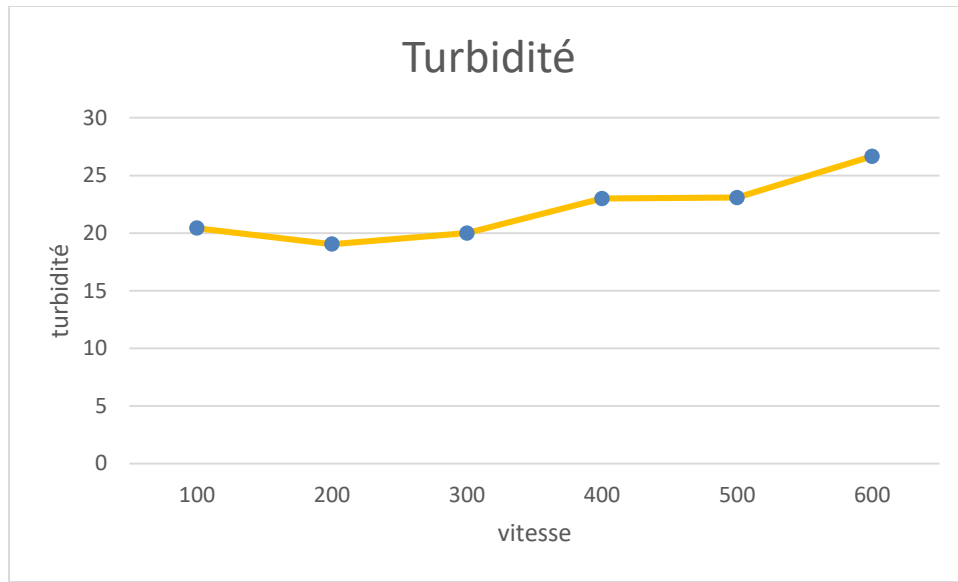


Figure26 : Variation conductivité d'élimination du F en fonction de la vitesse

Le graphique indique la conductivité en terme de vitesse on remarque des oscillations de conductivité avec d'augmentation de la vitesse

**Figure27** : Variation turbidité d'élimination du F en fonction de la vitesse

Le graphique la turbidité en termes de vitesse on remarque une petite augmentation de la turbidité avec l'augmentation de vitesse

4-Conclusion

A travers les résultats obtenus, nous constatons que la concentration de fluorure dans la solution aqueuse diminue en utilisant la méthode de traitement au charbon actif. Nous avons étudié l'effet des facteurs, à savoir : temps de contact, vitesse d'agitation

Nous avons constaté que le temps idéal pour l'agitation était de 150 minutes, le rendement était de 41,38%, la concentration en fluorure était de 1,36 mg/l et la vitesse de 200 tours/min était la meilleure vitesse pour diminuer la concentration en fluorure, atteignant 0,95 mg/ l avec un rendement de 54,55%.

Conclusion Générale

Conclusion :

A travers cette étude, nous avons essayé d'identifier l'un des composants les plus importants de l'eau potable qui a un impact significatif sur la santé humaine et l'environnement est le fluor. Cet élément ne se trouve pas seulement dans l'eau, mais on le trouve dans la plupart des aliments. Le fluorure aussi affecte négativement les humains et l'environnement car il ne respecte pas les normes fixées par l'organisation L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a déterminé une concentration appropriée de 1,5 g/l.

Sur la base de notre étude et en référence à des études antérieures dans le même domaine, il existe plusieurs façons de se débarrasser de l'excès de concentration de fluorure, y compris le dépôt, l'adsorption et les membranes. Dans notre étude, nous avons choisi d'appliquer la méthode de défluorure utilisant activé charbon.

Après avoir effectué les expériences nécessaires, analysé et étudié les résultats, nous avons constaté qu'en utilisant du charbon actif, les ions fluor diminuaient de 2,32 à 0,95 mg/l à une vitesse de mélange de 200, et les ions fluor diminuaient de 2,32 à 1,36 mg/l à le temps idéal de 150 minutes, qui est une valeur conforme aux normes internationales (1,5 mg/litre).

Références

- [1] **Nekrassov B**, Chimie minérale, Ed MIR, Moscou, 1969.
- [2] **Rodier J., et Coll.**, (2005) L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition, Paris, pp. 219 - 310.
- [3] **Whitford, G.M.**, (1989) Plasma ion concentrations associated with acute fluoride toxicity. 18th annual session of the American Association for Dental Research», San Francisco, Californie, J. Dent. Res. 68 : p. 335.
- [4] **Environnement Canada**, Canada Water Quality, guidelines for the protection of aquatic life: Inorganic fluorides, science- based solution N°1-1, National guidelines and standards office, environmental quality branch, Environnement Canada, 2001.
- [5] **Smith et Martell**, (1976) Cristal stability constants, Volume 4: Inorganic complexes, Plenum press, New York and London
- [6] **Mar Diop C et Rumeau M**, (1993) Les fluorures dans les eaux et dans l'environnement, Symposium sur le fluor, E.N.S.U.T.Dakar, pp 35-43.
- [7] **Raop L.K.M.**, (1988) Studies on distribution of fluoride in water sources of Hyderabad, AP, Inde, J, fluor, Chem. 4: 9-16.
- [8] **OMS**, (1994) Fluorure et santé buccodentaire, Rapport de comité d'experts sur la santé bucco-dentaire et l'utilisation des fluorures, Genève, 41 p.
- [9] **Symonds, R.B., Rose, W.I., and Reed M.H.**, (1988) Contribution of Cl⁻ and F-bearing gases to the atmosphere by volcanoes. Nature 334: 415-418.
- [10] **Martinez-Mier EA., Soto-Rojas AE., Buckley CM., Zero DT., Margineda J.**, (2005) Fluoride concentration of bottled water, tap water, and fluoridated salt from two communities in Mexico. Int. Dent J. 55: 93-99.
- [11] **Pontie. M, Rumeau. M, Ndiaye. M, Diop C.M.**, (1996) sur le problème de la fluorose

au Sénégal: bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux de boisson, cahiers santé. 6, p.27

[12] **Piekos R., Paslawska S,** (1998) Fluoride uptake characteristics of fly ash. *Journal of Fluoride*, 31(4): 14-19.

[13] **OMS, (1972)** Fluor et santé, série de monographie, Genève, 59 p.

[14] **Achour S, (1990)** La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie : étude de l'excès en fluor, l'eau dans le monde, tribune de l'eau. 42: 542, pp, 53-57

[15] : **Gupta D.P, Sunita, Saharan J.P,** (2009) Physiochemical Analysis of Ground Water of Selected Area of Kaithal City (Haryana) India. *Researcher* 1(2) : 1-5

[16] **Valenzuela-Vázquez L., Ramírez-Hernández J., Reyes-Lopez J., Sol-Uribe A., La'zaro-Mancilla O,** (2006) The origin of fluoride in groundwater supply to Hermosillo City, Sonora Mexico, *Environ Geol.* 51: 17–27.

[17] **Meenakshi S., Sundaram, C.S., Sukumar, R,** (2008) Enhanced fluoride sorption by mechanochemically activated kaolinites. *J. Hazard. Mater.* 153: 164–172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.031>

[18] **Srimurali M., Pragathi A. Karthikeyan J,** (1998) A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. *Environmental Pollution.* 99: 285-289

[19] **Tahaikt M., El Habbani R., Ait Haddou A., Achary I., Amor Z., Takya M., Alami A. Boughriba A., Hafsi M., Elmidaoui, A,** (2007) Fluoride removal from groundwater by nanofiltration. *Desalination.* 212: 46–53.

[20] **Youcef L, Achour S,** (2001) défluoruration des eaux souterraines du sud algérien par la chaux et le sulfate d'aluminium. *Courrier du Savoir* 1: 65-71

[21] **Pontie. M, Rumeau. M, Ndiaye. M, Diop C.M,** (1996) sur le problème de la fluorose au Sénégal: bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux de boisson, cahiers santé. 6, p.27

- [22] **Chavassieux P, Meunier P.J,** (1995) Bénéfices et risques des apports fluores, Arch. Rediat., 2(6): 568 - 572.
- [23] **Kessabi M et Hamliri A,** (1983) Toxicité ostéodentaire du fluor. Revue Vét. 159 (9): 747-752
- [24] **Haikel Y., Voegel J.C., Frank R.M.** (1986) Fluoride content of water, dust, soils and cereals in the endemic dental fluorosis area of Khouribga (Morocco). Arch. Oral Biol. 31: 279-286.
- [25] **OMS,** (1985) Critères d'hygiène de l'environnement³⁶, fluor et fluorures, OMS, Genève.
- [26] **Raymond Desjardins,** (1997) Le traitement des eaux , Eddition de l'école polytechnique de Montréal. p182-238.
- [27] **Norme Algérienne,** (1992) Norme de potabilité des eaux de consommation, premier édition,.
- [28] **Aroua A,** Problèmes de santé liés à l'hyperminéralisation de certaines eaux en Algérie, Semaine sur la déminéralisation de l'eau potable, Alger, 14-19 Novembre 1981
- [29] **William G.K., William R., Dolors M., Kera K.S,** (2001) Recommendation for using Fluoride to prevent and control dental caries in the United States recommendation and reports, centre for disease control and prevention, vol.50, N°RR-14, 2001
- [30] **Akiniwa, K,** (1997) Re-examination of acute toxicity of fluoride, fluoride, 30(2): 89-104.
- [31] **Laatar A., Mrabet D., Zakraoui L,** (2003) La fluorose en Afrique subsaharienne Revue du rhumatisme 70: 178–182
- [32] **Kamel A,** (1972) Salinisation and water problems in the Algerian Northeast Sahara, the careless technology, p.276-287.
- [33] **Mameri N., Yeddou A.R., Lounicim H., Belhocinem D., Grib H. et Bariou B,** (1998) Defluoridation of Septentrional Sahara of North Africa by electrocoagulation process

using bipolar aluminium electrodes Wat. Res. 32 (5): 1604-1612

[34] **Cutress T. W.** (1990) Differential diagnostic of dental fluorosis. J. Dent. Res.63: 714–720.

[35] **Edier J-M., Monnet P., Fabry R,** (2001) Intérêt pour la prévention des caries dentaires, de la présence de fluor dans l'eau d'adduction. Suivi d'une population d'enfants scolarisés, âgés de 6 à 10 ans Presse termale et climatique 138: 139-149.

[36] **Dean H.T.,** (1942) The investigation of physiological effects by epidemiological method. Am.Adv.Sci, 19: 23-31.

[37] **Arbab Chirani R., Foray H,** (2005) Fluorose dentaire : diagnostic étiologique Archives de pédiatrie 12, , p. 284–287.

[38] **David G., Dendry S.** (1999) The differential diagnostic of fluorosis. J. Public health dent. 59 (4): 235–238.

[39] **Meunier P.J., Fermeias M., Duboeuf F., Chapuy M.C. et Delmas P.D,** (1989) Augmentation de la densité osseuse vertébrale chez les grands buveurs d'eau minérale riche en ions fluor, Press. Med. 18: 1423 - 1426.

[40] **Cree MW., Juby AG. et Carriere KC,** (2003) Mortality and morbidity associated with osteoporosis drug treatment following hep fracture. Osteoporos Int. 14: 722- 727.

[41] **Kanis J.A., Oden A., Johnell O., De Laet C., Jonsson B,** (2004) Excess mortality after hospitalisation for vertebral fracture, Osteoporos Int. 15: 108 - 112.

[42] **Gruber H.E. et Baylink D.J.** (1991) The effects of fluoride on bone. Clin. Orthop, 267 : 264-277

[43] **L. Meljac,** 2004, **Etude d'un procédé d'imprégnation de fibre de carbones activés- modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène,** Thèse de Doctorat, Université de Jean Monnet, St-Etienne

[44] . **N Sedira.** Eude d'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dates, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, (2013).

- [45] **D Brani**. Préparation d'un charbon actif à partir d'un bitume routier issu du raffinage du pétrole par activation acide, Mémoire de Magister, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, (2011)
- [46] **M. ZUE MVE**, (2012), Elimination des ions Mn(II) des solutions aqueuses par adsorption sur des charbons actifs préparés à partir des coques de noix de noisette Mémoire de master, Université de Masuku p3-4.
- [47] **C. AYRAL**, (2009), Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur le charbon actif chap1 p 8-9, Thèse pour l'obtention de grade de Docteur, Université de Toulouse.
- [48] **C.M .CREANGA**, (2007),procédé AD-OX d'élimination de polluants organique non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique, pA, Thèse pour l'obtention de grade de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse
- [49] **N.LADJAL**, (2013),Elaboration caractérisation de charbon actifs fonctionnalisés et étude de leurs propriétés en adsorption de composés organiques, Mémoire magistère en université de M'sila
- [50] **A. MEKARZIA**, « L'utilisation du charbon actif préparé à partir du marc de café dans et l'épuration des eaux ». Thèse de Magister. Ecole Nationale Polytechnique, 2000
- [51] **A. MEKARZIA**, « L'utilisation du charbon actif préparé à partir du marc de café dans et l'épuration des eaux ». Thèse de Magister. Ecole Nationale Polytechnique, 2000
- [52] **MA SLASLI**. Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux, approche théorique et expérimentale. Thèse de Doctorat. Université de Neuchâtel, Décembre. 2002
- [53] **A. DILMI**, Essais d'adsorption d'un pesticide lindane sur charbon actif en poudre Mémoire d'Ingénieur. Ecole Nationale polytechnique. 2004
- [54] **DEGREMONT**, "Mémento. Technique de l'eau." 10 édition copyright , 2005 . eme
- [55] **N.GHALMI et A. SIFER**, "Essais d'adsorption du phénol et du cuivre sur charbon actif valorisé à base de grignon d'olives." Mémoire d'Ingénieur. Boumerdes, 2006

- [56] **Sheintuch M, Matatov- Meytal YI. 1999.** Comparison of catalytic processes with other regeneration methods of activated carbon. *Catalysis Today* 53: 73-80.
- [57] **Levec J, Pintar A 1995.** Catalytic oxidation of aqueous solutions of organics. An effective method for removal of toxic pollutants from waste waters. *Catalysis Today* 24: 51-58.
- [58] **Matatov- Matatov-Meytal YI, Sheintuch M. 1997.** Abatement of Pollutants by Adsorption and Oxidative Catalytic Regeneration. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 36: 4374-4380.
- [59] **Polaert I, Wilhelm AM, Delmas H. 2002** Phenol wastewater treatment by a two-step adsorptionoxidation process on activated carbon. *Chemical Engineering Science* 57: 1585-1590.
- [60] **Toledo LC, Silva ACB, Augusti R, Lago RM 2003.** Application of Fenton's reagent to regenerate activated carbon saturated with organochloro compounds. *Chemosphere* 50: 1049-1054.
- [61] **Huling SG, Jones PK, Ela WP, Arnold RG. 2005** Huling SG, Jones PK, Ela WP, Arnold RG 2005. Fenton-driven chemical regeneration of MTBEspent GAC. *Water Research* 39: 2145-2153.
- [62] **Alvarez P , García-Araya J,, Masa F, Medina F Medina F. 2005.** Ozonation of activated carbons: Effect on the adsorption of selected phenolic compounds from aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science* 283: 503-512.

