

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire fin d'études

MASTER PROFESSIONELLE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Génie Civil et Hydraulique

Spécialité : Traitement et Epuration et Gestion des eaux

Présenté Par :

Dada Izdihar

Benghoulia Nacereddine

Thème :

**Elimination des ions fluorure par le charbon actif de noix
d'olives et caractérisation hydrochimiques des eaux
souterraines de la ville de Touggourt**

Soutenu publiquement le:2023/06/13

Devant le jury composé de:

Pr. Kateb Samir

Dr. Baouia Kaïs

Dr. Kouadri Saber

Dr. Kadri Abd Elaziz

Professeur (UKM Ouargla)

MCA (UKM Ouargla)

Docteur (UKM Ouargla)

Docteur (UKM Ouargla)

Président

Encadreur

Examineur

Co-Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ
دَرَجَاتٍ

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية "11"



الإهداء

من جمال جود المرء أن يجود بأعلى ما لديه والأجمل أن يهدي الغالي لأعلى

هذه ثمار جهدي وتعبتي أهديتها

إلى من تفانى في العطاء دون انتظار إلى من أحمل اسمه بكل عزم وافتخار
إلى صاحب الوجه النير، والأفعال الحسنة

أبي الغالي (أحمد ياسين)

إلى من لن أنسى فضلها عليا إلى من ربطني وتعبت من أجلي إلى من الجنة
تحت قدميها أمي العزيزة (شوقي سميلة)

إلى كل من أخواتي (نسرين، عبير، إكرام، هيبه الرحمان)

إلى أخي الصغير (محمد إسلام)

إلى كافة أفراد عائلتي الكريمة

إلى أصدقائي الأعزاء

أقول لكم جميعا شكرا



الإهداء

إلى من جد واجتهد وصبر وصابر وتعبت من أجلنا

أبي العزيز (داداه السعيد)

إلى من جعل المولى عز وجل الجنة تحت قدميها إلى من سهرت

الليالي وتعبت في تربيته وتكوينه إلى نبع الجنان

أمي العزيزة (داداه فائزة)

إلى كل من أخواتي الغوالي (وفاء، العطرة، ريم، رحمة)

إلى أخواني الكريمان (بشير وعبد الرحمن)

إلى جدتي الكريمة (تليلى مريم)

إلى جدي رحمه الله (داداه أحمد)

وإلى جنود الخفاء الذين ساعدوني ووقفوا إلى جانبي وساندوني من

قريب أو بعيد

أهدىكم ثمار عملي هذا وأقول لكم شكراً

داداه إزدهار

شكر وتقدير

الحمد لله على نعمه وفضله. الحمد لله الذي يبتلينا بوجع أيام الشدة ليذيقنا فرحة أيام الرخاء، الحمد لله الذي منحنا القدرة على الكفاح ليذيقنا لذة طعم النجاح، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والشكر لله الذي وفقنا لذلك إن كنا قد أصبنا فهذا من الله وإن كنا قد أخطأنا وقصّرنا فمن أنفسنا والشيطان ونسأله العفو والمغفرة.

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور المشرف "باوية قيس" على كل ما قدمه لنا من دعم وتوجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء هذا البحث.

كما نعرب عن خالص شكرنا وتقديرنا للسيد الدكتور "قادري عبد العزيز" على متابعته ودعمه ومشورته الجيدة طوال هذا العمل، وعلى مساعدته وعلى مشاركة نصائحه القيمة ومعلوماته الثرية وعلى كل مجهود بذله من اجلنا.

نشكر البروفيسور "كاتب سمير" من جامعة قاصدي مرباح ورقلة كلية العلوم التطبيقية جزيل الشكر على ترأسه للجنة مناقشة هذه المذكرة.

كما نتقدم بجزيل الشكر للدكتور "قوادري صابر" من جامعة قاصدي مرباح ورقلة كلية العلوم التطبيقية على تشرفه بمناقشة مذكرة تخرجنا.

كما لا ننسى أن نشكر كل من ساهم في نجاح هذا العمل من قريب أو بعيد وكل

أساتذتنا الأعزاء من المرحلة الابتدائية إلى يومنا هذا.

المخلص

الفلور هو أيون موجود بشكل طبيعي في المياه الجوفية وفي بعض الأطعمة، ولكن التركيزات العالية من هذا الأيون يمكن أن تسبب مشاكل صحية مثل تسمم العظام وتسمم الأسنان بالفلور. حددت منظمة الصحة العالمية تركيزه في الماء بـ 1.5 ملغ / لتر. بناءً على ما ورد في دراستنا، هناك عدة طرق لإزالة الفلور، تتلخص في الطرق الكلاسيكية والغشائية والكهروكيميائية. بناءً على نتائج دراسة سابقة للطالبتين (لبعير الزهرة وبوزيدي نسرين)، اخترنا طريقة الامتزاز بالكربون المنشط. بعد استخدام هذه الطريقة، حصلنا على نتائج ذات مردودية ضعيفة إلى حد ما في إزالة الفلور بحيث كان أكبر مردود بقيمة 47.024% والادنى كان -15.6%، الأمر الذي يتطلب مزيداً من الدراسات للكشف عن الشروط المثلى. من خلال استخدام النتائج الفيزيائية والكيميائية، قمنا بدراسة الطبيعة الكيميائية والتوزيع الجغرافي للمكانس الكيميائية لعينات المياه في منطقة الدراسة (تقرت).

Abstract:

Fluoride is a naturally occurring ion in groundwater and in some foods, but high concentrations of this ion can cause health problems such as bone and dental fluorosis. The World Health Organization (WHO) has set its concentration in water at 1.5 mg/L. Based on what has been mentioned in our study, there are several methods for removing fluorine, which are summarized in conventional, membrane and electrochemical methods. Based on the results of a previous study by two students (Labaier Zohra and Bouzidi Nasrine), we chose the activated carbon adsorption method. After using this method, we obtained results of low efficiency in fluoride removal, where the highest efficiency is 47.024% and the lowest is -15.6%, requiring further study to reach optimal conditions. Using physico-chemical results, we studied the chemical nature and geospatial distribution of chemical elements in the water sampled in the study area (touggourt).

Résumé

Le fluorure est un ion présent naturellement dans les eaux souterraines et dans quelque aliment, mais une concentration élevée de cet ion peut causer des problèmes de santé tels que la fluorose osseuse et la fluorose dentaire. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a déterminé sa concentration dans l'eau à 1,5 mg/L. Sur la base de ce qui a été mentionné dans notre étude, il existe plusieurs méthodes pour éliminer le fluor, qui sont résumées dans les méthodes classiques, membranaires et électrochimiques. Sur la base des résultats d'une étude précédente des deux étudiants (Labaier Zohra et Bouzidi Nasrine), nous avons choisi la méthode d'adsorption sur charbon actif. Après avoir utilisé cette méthode, nous avons obtenu des résultats de faible rendement dans l'élimination du fluorure, où le rendement le plus élevé est de 47,024 % et le plus bas est de -15,6 %, ce qui nécessite une étude plus approfondie pour atteindre les conditions optimales. Grâce à l'utilisation des résultats physico-chimiques, nous avons étudié la nature chimique et la distribution géospatiale des éléments chimiques de l'eau prélevé dans la zone d'étude (touggourt).

Liste des figures :

Figure I-1: la fluoose dentaire	10
Figure I-2: Cas extrême de la fluorose osseuse	11
Figure II-1: Les différentes Procédés de défluoruration de l'eau destinée à l'usage humain	16
Figure II-2: Principe de l'échange d'ions	18
Figure II-3: Schéma simplifié d'une opération de séparation membranaire	20
Figure II-4: Principe de phénomène d'osmose et d'osmose inverse.	21
Figure II-5: Place de la Nanofiltration entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration	22
Figure II-6: Principe d'un électrodialyseur	23
Figure II-7: Principe d'un Electro sorption	24
Figure II-8: Principe d'Electrocoagulation	25
Figure III-1 : délimitation de la zone d'étude et positionnement les forages	27
Figure III-2 : bécher.....	28
Figure III-3: Erlenmeyer.....	28
Figure III-4: Fiole jaugée.....	29
Figure III-5: Eprouvette graduée	29
Figure III-6: Entonnoir en verre	30
Figure III-7: Pipette	30
Figure III-8: Flacon	31
Figure III-9: Papier aluminium.....	31
Figure III-10: Papier filtre	32
Figure III-11: Pissette	32
Figure III-12: Appareille de JAR TEST	33
Figure III-13: Balance analytique.....	33
Figure III-14: Agitateur magnétique	34
Figure III-15: Etuve	34
Figure III-16: Multiparamètre HAANA	35
Figure III-17: spectrophotomètre DR 6000	36
Figure III-18: flacon spéciale	36
Figure IV-1: Représentation graphique des résultats initiale des échantillons dans le diagramme de piper	46
Figure IV-2: distribution géospatiale pour le PH , Conductivité, TDS, TH, Ca ⁺² et Mg ⁺²	49
Figure IV-3: distribution géospatiale pour : Na ⁺ , K ⁺ , SO ₄ ⁻² , Cl ⁻ , HCO ³⁻ et F ⁻	50

Liste des tableaux :

Tableau I-1: propriétés physico-chimiques de fluor (6) :	2
Tableau I-2: Effets du fluor en fonction des concentrations (22) :	8
Tableau I-3: Concentration en ion fluorure dans les eaux de boisson en fonction de la moyenne annuelle des températures maximales quotidiennes de l'air. Norme USA (33) :	12
Tableau I.4: Normes de la teneur en ions fluorures dans les eaux de consommation humaine en fonction de la température moyenne annuelle de l'eau (34).	13
Tableau III.1 : Les données des forages utilisés :	26
Tableau IV-1 : Résultats pré- et post-expérimentaux du charbon actif extrait de l'olive	40

Sommaire :

Dédicace	I
Dédicace	II
Remerciement	III
Résumé	IV
Liste des figures :	V
Liste des tableaux :	V
Sommaire :	VI
Introduction générale	IX
I : Généralité sur le fluor	1
I.1 Introduction :	1
I.2 Caractéristiques physico-chimiques du fluor :	1
I.3 Le fluor dans les eaux :	3
I.4 Les principaux composés du fluor :	3
I.4.1 Fluorure d'hydrogène :	3
I.4.2 La fluoroapatite :	4
I.4.3 Fluorure de calcium :	4
I.4.4 Fluorine :	4
I.4.5 Monofluorophosphate de Sodium :	4
I.4.6 Fluorure d'étain :	5
I.4.7 Le fluorure de sodium :	5
I.5 Le fluor dans l'environnement :	6
I.5.1 Le fluor dans l'atmosphère :	6
I.5.2 Les fluorures dans l'air :	6
I.5.3 Fluorures dans les eaux naturelles :	7
I.5.4 Fluor dans les aliments :	7
I.6 Fluor et santé humain:	8
I.6.1 Effets bénéfiques :	8
I.6.2 Effets toxiques :	9
I.7 Normes de teneurs limites en fluor dans les eaux de boisson :	11
I.7.1 Les Normes Algériennes :	11
I.7.2 Normes Européenne :	11
I.7.3 Les normes Françaises :	12
I.7.4 Normes USA :	12
I.7.5 Normes de l'O.M. S (Organisation Mondiale de la Santé) :	12

I.7.6	Les normes Canadiennes :	14
I.8	Conclusion :	14
II:	Procédés de défluoruration des eaux	15
II.1	Introduction :	15
II.2	Définition de la défluoruration :	15
II.3	Procédés de défluoruration des eaux :	15
II.3.1	Procédés classiques :	16
II.3.2	Procédés membranaires :	19
II.3.3	Procédés électrochimiques :	23
II.4	Conclusion :	25
III :	Matériels et Méthodes	26
III.1	Introduction :	26
III.2	Echantillonnages :	26
III.3	Matériels et méthodes utilisé :	28
III.3.1	Bécher :	28
III.3.2	Erlenmeyer :	28
III.3.3	Fiole jaugée :	29
III.3.4	Eprouvette graduée :	29
III.3.5	Entonnoir en verre :	30
III.3.6	Pipette :	30
III.3.7	Les flacons :	31
III.3.8	Papier aluminium :	31
III.3.9	Papiers filtres :	32
III.3.10	Pissette :	32
III.3.11	Jar test :	33
III.3.12	Balance analytique :	33
III.3.13	Agitateur magnétique :	34
III.3.14	Etuve :	34
III.3.15	Multi paramètres :	35
III.3.16	Appareille spectrophotomètre :	35
III.3.17	Méthode de Préparation d'un charbon actif :	36
III.3.18	Protocole d'utilisation de charbon actif :	37
III.3.19	Outil informatique utilisé :	38
IV :	Résultats et Discussions	39
IV.1	Introduction :	39

IV.2	Elimination de fluor :	39
IV.2.1	Résultats :	39
IV.2.2	Représentation graphique et interprétation des résultats :	41
IV.3	Aspect hydrochimique :	46
IV.3.1	Le faciès chimique :	46
IV.4	Distribution géospatiale des paramètres :	48
IV.5	Conclusion :	51
V	Conclusion générale	52
VI	Bibliographie :	53

Introduction générale

Le fluorure est un ion présent naturellement dans les eaux souterraines, mais une concentration élevée de cet ion peut causer des problèmes de santé tels que la fluorose osseuse et la fluorose dentaire(1) . Dans la ville de Touggourt, située dans le sud-est de l'Algérie, la plupart des eaux de forage présentent une concentration élevée de fluorure, dépassant souvent les limites recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Le charbon actif de noix d'olives est un matériau peu coûteux et facilement disponible qui peut être utilisé pour éliminer les ions fluorure de l'eau. Le présent travail de recherche se concentre sur l'élimination des ions fluorure par le charbon actif de noix d'olives et l'interprétation hydrochimique des résultats pour les eaux de forage de la ville de Touggourt.

Cette étude vise à déterminer l'effet du charbon actif extrait des noyaux d'olives sur l'élimination des ions fluorures de l'eau. Elle s'intéresse également à l'aspect hydrochimique des sources d'eau situées dans la zone d'étude.

Le contenu de cette étude est centré sur quatre chapitres, comme suit :

- Chapitre I : Généralité sur le fluor
- Chapitre II : Procédés de défluoruration des eaux
- Chapitre III : Matériels et Méthodes
- Chapitre IV : Résultats et Discussions

Les échantillons d'eau de forage sont soumis à des tests de caractérisation hydrochimique pour déterminer leur composition chimique et identifier les faciès chimiques prédominants. Les résultats de ces tests sont interprétés pour comprendre les processus géochimiques et hydrologiques qui affectent la qualité de l'eau dans la région.

Les résultats de l'étude seront analysés afin d'évaluer l'efficacité du charbon actif des noyaux d'olivier dans l'élimination des ions fluorure de l'eau du puits Touggourt, à partir de laquelle on pourra déterminer si son utilisation efficace et durable pour éliminer les ions fluorure de l'eau de forage de la ville de Touggourt, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'eau potable pour la population locale.

Chapitre I : Généralité sur le fluor

I : Généralité sur le fluor

I.1 Introduction :

Le fluor est l'un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre et, comme tous les oligo-éléments, il est nécessaire et bénéfique au corps humain en petites quantités ; il est essentiel à la minéralisation de l'os et confère une résistance à la carie à l'e-mail dentaire. En revanche, il est toxique à des quantités plus élevées et est à l'origine de maladies graves connues sous le nom de fluoroses, dont la gravité est proportionnelle au taux d'absorption de cet élément. Cet empoisonnement chronique, qui peut même devenir endémique dans certaines régions, peut avoir des causes diverses, mais l'eau est le premier vecteur de ces fluoroses (2).

A travers ce chapitre, nous poserons l'essentiel de ces points et nous familiariserons avec les caractéristiques du fluor, ses sources et les formes de sa présence dans la nature. Nous étudierons également ses effets sur la santé humaine et la mention des normes nationales et internationales.

I.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 F_2 (3). 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 (4).

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 (5).

Chapitre I : Généralité sur le fluor

Le fluor est un élément isotopique, le plus stable naturellement est le ^{19}F et le plus radioactif est le ^{18}F 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 ($Z = 10$) (5).

D'autres propriétés physico-chimiques de fluor sont données dans le Tableau 1.

Tableau I-1: propriétés physico-chimiques de fluor (6) :

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	$1,67 \cdot 10^5 \text{ j/Kg} = 30,8 \text{ cal/g}$	J/kg ou cal/g
Couleur	Jaune pâle, jaune verdâtre	-
Odeur	Fort, intense, étouffer	-
Seuil d'odeur	0,035	$\mu\text{g F/g}$
Toxicité par inhalation	1	$\mu\text{g F/g}$ (seuil limite)
Limite de l'inhalation de courte durée	0,5	$\mu\text{g F/g}$ par min
Pression critique	55	Atm
E (1/2F/ F^-)	2,866	V
Configuration électronique Z	$1s^2 2s^2 2p^5$ ou $[\text{He}] (2s)^2 (2p)^5$	-
Structure électronique	$(\text{K})^2(\text{L})^7$	-
Structure cristalline	Cubique	-

I.3 Le fluor dans les eaux :

Toutes les eaux naturelles contiennent du fluor à des concentrations variables. La concentration de fluor dans l'eau de mer est d'environ 1 mg/l, tandis que les rivières, les lacs et les autres masses d'eau douce ont généralement des valeurs inférieures à 0,5 mg/l. Néanmoins, selon les types de roches, des concentrations de fluor faibles ou élevées peuvent apparaître (7).

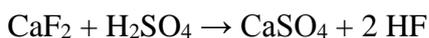
I.4 Les principaux composés du fluor :

I.4.1 Fluorure d'hydrogène :

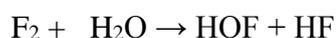
Le composé chimique fluorure d'hydrogène, ou HF, se présente sous la forme d'un gaz ou d'un liquide incolore. Il est souvent présent dans les solutions aqueuses sous forme de fluorhydrique acide. Il sert de précurseur essentiel dans la synthèse de plusieurs composés, notamment des produits pharmaceutiques et des polymères (8).

Le fluorure d'hydrogène est un gaz très dangereux, qui a une forte odeur piquante et qui est facilement transportable. La destruction rapide de la corne d'abondance peut entraîner son extinction (9).

A l'état liquide l'acide fluorhydrique est hygroscopique, extrêmement corrosif et pénétrant au contact de l'humidité. Il détruit facilement les tissus vivants, attaque et corrode les métaux. Ainsi sa manipulation nécessite une grande précaution. La découverte de fluorure d'hydrogène anhydre (HF) est attribuée au chimiste français Edmond Frémy en essayant d'isoler le fluor. Le fluorure d'hydrogène est produit par l'action de l'acide sulfurique sur les qualités pures de la fluorite minérale (10).

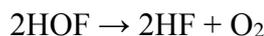


Le fluorure d'hydrogène peut également être isolé par distillation, ou par oxydation de l'eau par le difluor, avec comme intermédiaire l'acide hypofluoreux (HOF), selon la réaction :



Chapitre I : Généralité sur le fluor

L'acide hypofluoreux, très instable, sa décomposition spontanée est explosive, qui donnera également du fluorure d'hydrogène et dioxygène selon la réaction :



1.4.2 La fluoroapatite :

La fluoroapatite est un phosphate minéral dont la formule chimique est $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$. (fluorophosphate de calcium). C'est un cristal solide, dur et incolore, et ce qui le rend utile, c'est qu'il peut être utilisé en conjonction avec l'hydroxyl-apatite, qui est un composant de l'émail des dents. Dans le cadre industriel, la fluoroapatite est extraite sous forme de roche phosphatée, ce qui en fait une source importante d'acides phosphoriques et fluorés (11).

1.4.3 Fluorure de calcium :

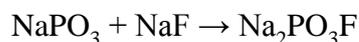
Le fluorure de calcium est un composé inorganique dont la formule chimique est CaF_2 . Ce composé ionique, composé de calcium et de fluor, est présent naturellement dans la nature sous forme de fluor, qui est la principale source de fluor dans le monde. La principale source de fluorure d'hydrogène naturel est le fluorure de calcium, qui est libéré par les minéraux lorsqu'ils réagissent avec de l'acide sulfurique concentré (10).

1.4.4 Fluorine :

Le minéral fluor, également connu sous le nom de fluorine, est constitué de fluorure de calcium idéal, CaF_2 , ainsi que de traces des éléments suivants : Y, Ce, Si, Al, Fe, Mg, Eu, S, O, Cl et d'autres composés organiques (11).

1.4.5 Monofluorophosphate de Sodium :

Le mono fluoro phosphate de sodium est un composé inorganique de formule $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$. Il peut être obtenu d'une réaction entre le métaphosphate de sodium et le fluorure de sodium à $650\text{ }^\circ\text{C}$, selon la réaction chimique :

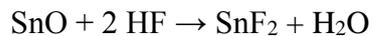


Chapitre I : Généralité sur le fluor

En plus de son utilisation dans certains dentifrices comme agent antibactérien, Ce composé est exploité comme inhibiteur de corrosion dans les bétons, il est également a également été testée contre l'ostéoporose (12).

1.4.6 Fluorure d'étain :

Le composé chimique fluorure d'étain, également connu sous le nom de fluorure stanneux, a la formule SnF_2 et se présente sous la forme d'un solide incolore. Il peut être obtenu par évaporation d'une solution de SnO dans 40 % de HF, comme le montre la réaction :



Les dentifrices contiennent du fluorure d'aluminium comme ingrédient. Les dentifrices contenant du fluorure stanneux se sont avérés plus efficaces que ceux contenant du fluorure de sodium pour réduire l'apparition de caries dentaires et l'érosion des dents (12).

Le fluor contenu dans le fluor stanneux aide à convertir l'apatite de calcium présente dans les dents en fluoroapatite, ce qui rend l'émail des dents plus résistant aux attaques acides des bactéries (11).

1.4.7 Le fluorure de sodium :

Le fluorure de sodium est un composé inorganique de formule chimique NaF, son aspect physique est un solide incolore ou blanc qui est facilement soluble dans l'eau. Le fluorure de sodium trouve son intérêt dans diverses applications. Il est utilisé à l'état de traces dans la fluoration de l'eau potable, du dentifrice, de la métallurgie, comme fondant, et est également dans les pesticides et le poison pour rats. C'est une source courante de fluorure dans la production de produits pharmaceutiques et est exploité pour prévenir les caries dentaires. Les sels de fluor sont souvent ajoutés à l'eau potable municipale (ainsi qu'à certains produits alimentaires dans certains pays) dans le but de maintenir la santé dentaire. Cependant, bien que le fluorure de sodium soit utilisé pour fluorer l'eau et soit la norme par laquelle d'autres composés de fluoration de l'eau sont mesurés, l'acide hexa fluoro silicique ($\text{H}_2 \text{SiF}_6$) et son sel hexa fluoro silicate de sodium (Na_2SiF_6) sont des additifs plus couramment utilisés aux États-Unis (13).

La dose létale pour un humain adulte de 70 kg est estimée entre 5 et 10 g. Le corps humain absorbe rapidement et largement les fluorures, en particulier la solution aqueuse de fluorure de sodium (14).

Chapitre I : Généralité sur le fluor

La consommation et l'inhalation de fluorure de sodium sont considérées comme toxiques (par le biais de poussières ou d'aérosols). Il a été démontré qu'il affecte le cœur et le système circulatoire à des concentrations suffisamment élevées (15).

I.5 Le fluor dans l'environnement :

Les émissions naturelles de fluorure dans l'environnement sont rendues possibles par l'érosion et la dissolution des minéraux, les émissions volcaniques et les aérosols marins. À cela s'ajoutent les rejets d'eau contaminée provenant de divers processus industriels, ainsi que les émissions anthropiques provenant de la combustion du carbone.

I.5.1 Le fluor dans l'atmosphère :

Comme nous l'avons dit précédemment, le fluor est l'élément chimique le plus électronégatif et n'existe pas à l'état libre dans la nature. Combiné chimiquement sous forme de fluorures, le fluor est le neuvième élément du tableau périodique présent dans le sol et représente 0,06 à 0,09% de l'énergie de surface de la terre (8).

Les fluorures sont abondants à la surface de la terre, mais la majorité d'entre eux sont fortement liés à des minéraux particuliers, dont les plus abondants sont la cryolithe, le fluor, les apatites et les phosphates. La disponibilité des ions fluor dépend de la quantité d'eau présente, de l'acidité du sol, de la présence d'autres minéraux ou produits chimiques et de la solubilité du sel dans la nature (1).

I.5.2 Les fluorures dans l'air :

La forme spécifique et gazeuse des fluorures dans l'air est due à des causes tant naturelles qu'humaines. Les fluorures d'hydrogène font partie des fluorures gazeux (HF) ; le tétrafluorure de carbone (CF₄) ; l'hexafluoroéthylène (C₂F₆) ; et le tétrafluorure de silicium (SiF₄) ; tandis que les fluorures spécifiques comprennent la cryolithe (Na₃AlF₆), la chiolite (Na₅Al₃F₁₄), le fluorure de calcium (CaF₂), et le fluorure d'aluminium (NaF) (16).

La concentration moyenne en fluor dans l'atmosphère est évaluée par l'OMS à environ 5ng/m³ (16).

1.5.3 Fluorures dans les eaux naturelles :

La disponibilité et la solubilité des minéraux contenant des fluorures, la porosité des roches et du sol traversé par l'eau, le temps de séjour hydraulique, la température, le pH et la présence d'autres éléments sont quelques-uns des facteurs qui influencent la teneur en fluorures des eaux naturelles. La disponibilité de sources naturelles et artificielles de fluorures dans l'environnement influe également sur la concentration de fluorures dans l'eau.

Les niveaux de fluorures dans les eaux souterraines sont supérieurs à ceux des eaux de surface, car elles sont plus influencées par les roches où elles transitent (17). Les hautes montagnes et les zones abritant des dépôts géologiques d'origine marine contiennent des eaux à forte concentration en fluorures (18).

1.5.4 Fluor dans les aliments :

Des traces de fluor ont été observées dans la majorité des aliments (19):

1.5.4.1 Dans le Thé :

La plante *Camellia sinensis*, qui produit les feuilles de thé, est connue pour accumuler le fluor, qui se trouve principalement dans les feuilles avec un pourcentage de 98% et qui augmente avec le vieillissement des feuilles (20).

1.5.4.2 Dans les Légumes :

Le chou fritté contient en moyenne la plus forte concentration de fluor (40 mg/kg) par rapport aux autres légumes, suivi de l'endive avec des concentrations comprises entre 0,3 et 2,8 mg/kg (1).

1.5.4.3 Dans les Poisson :

La teneur en fluor des poissons de mer varie de 1 à 3 mg/100 g, ce qui est assez élevé (1).

I.5.4.4 Dans les Fruits :

Le fluor peut être présent dans les fruits, mais souvent dans des proportions très faibles. 0,3 ppm dans les pommes de terre et 0,4 ppm dans les fruits frais. Les cerises et les graines de pavot représentent 0,02 ppm. La teneur en fluor des données du sud algérien est de 2,9 mg/kg (21).

I.6 **Fluor et santé humain:**

Le fluor est pratiquement toujours présent dans les aliments, mais à des degrés divers. Les aliments les plus riches en fluor sont les céréales, le poisson, le sel de mer, le thé, les boissons alcoolisées et les dattes. Par conséquent, les ions de fluorure ingérés sont rapidement absorbés par le système gastro-intestinal sous forme d'acide fluorhydrique. Une fois absorbé, le fluorure est rapidement distribué sous forme ionisée par la circulation systémique. Il est rapidement éliminé du plasma par distribution et rétention dans les tissus minéralisés. La partie qui ne peut être incorporée dans la bouche et les dents est rapidement éliminée par l'urine. Ce n'est que très lentement que le fluor accumulé dans les tissus est remis en circulation. Par conséquent, la teneur totale en fluor des dents et des yeux a tendance à augmenter avec le temps (22).

Le tableau 2 résume l'effet du fluor en fonction de ses concentrations.

Tableau I-2:Effets du fluor en fonction des concentrations (22) :

Concentration	Milieu	Effet
2 ppm	Air	Végétation endommagée
1 ppm	Eau	Réduction des caries
> à 2 ppm	Eau	Email tacheté
8 ppm	Eau	10% ostéosclérose
20 à 80 mg/jour	Eau ou air	Fluorose paralysante
50 ppm	Eau ou nourriture	Affectations thyroïdiennes
100 ppm	Eau ou nourriture	Retard de croissance
< à 125 ppm	Eau ou nourriture	Affections rénales
2,5 à 5 g	Dose critique	Mort

I.6.1 Effets bénéfiques :

Le fluor est un élément essentiel de la vie humaine. Il renforce la stabilité des dents et des os. Il pénètre dans l'organisme sous forme de fluorures par l'eau de boisson, les aliments, l'air, les médicaments et les produits de beauté. Pourtant, il a été démontré que l'eau potable est la source la plus importante d'apport en fluor pour le corps humain. En fait, une journée de boire

apporte à l'organisme environ 1,5 mg de fluor. Néanmoins, pour une meilleure santé dentaire, une concentration de 1 mg/l d'ions fluor dans l'eau distribuée à la population est à peu près le niveau souhaité (23).

1.6.2 Effets toxiques :

1.6.2.1 Intoxication aiguë :

L'utilisation à long terme de grandes quantités de fluor peut entraîner chez l'homme des symptômes tels que nausées, vomissements, douleurs d'estomac, diarrhée, léthargie, somnolence, coma, convulsions, arrêt cardiaque, voire la mort. Les effets sont les plus graves après l'ingestion des sels de fluor les plus solubles (24).

1.6.2.2 Intoxication chronique :

L'ivresse chronique s'étend plus loin que l'intoxication aiguë. Elle n'apparaît qu'après une consommation prolongée et à des niveaux élevés de fluor (7 à 10 mg/L). Les signes généraux prédominants de cette intoxication sont (25) :

- Altération au niveau du squelette ;
- Problèmes neurologiques ;
- Altération de la fonction rénale.

1.6.2.3 La fluorose dentaire :

Selon un rapport de l'UNICEF (Fonds des Nations unies pour l'enfance), la fluorose est endémique dans au moins 25 pays du monde. Dans plusieurs pays du monde, dont le Maroc, le Kenya, la Tanzanie, le Sénégal, l'Inde, l'Europe et les États-Unis, des cas de fluorose dentaire ont été signalés, en particulier dans les pays où la population consomme de l'eau dont la teneur en fluor est relativement élevée (26).

C'est une lésion dyschromique et structurale des tissus durs de la dent due à une ingérence chronique de fluor supérieure à la dose optimale comprise entre 0,5 et 1,5 mg/l pendant toute la période de minéralisation des dents, qui commence au troisième mois de la vie in utero et se termine vers 12 an. (27).

L'un des symptômes les plus facilement reconnaissables est la sensibilité dentaire (Figure 1).
(28).



Figure I-1: la fluose dentaire

I.6.2.4 Fluorose osseuse :

Une maladie invalidante appelée fluorose osseuse est liée à l'exposition à long terme à des doses de fluor d'au moins 10 mg par jour pendant au moins 10 ans. Elle est cliniquement latente et c'est la radiologie qui en fait la découverte. Les principaux symptômes cliniques sont des douleurs osseuses péri-articulaires fréquemment masquées par des douleurs neuropathiques et des déformations oculaires qui augmentent le risque de fracture en raison de la fragilité osseuse. Une substance osseuse fluorescente provoque la déformation du squelette ostéoporotique. Cette maladie grave se caractérise par une faible masse osseuse et des altérations de l'os, c'est-à-dire une décalcification du tissu osseux dans laquelle l'os devient poreux, léger, friable et se fissure.

Les parties inférieures et latérales du corps ont tendance à être affectées par les symptômes les plus graves (29).



Figure I-2: Cas extrême de la fluorose osseuse

I.7 Normes de teneurs limites en fluor dans les eaux de boisson :

I.7.1 Les Normes Algériennes :

La teneur maximale admissible en fluor dans l'eau potable en Algérie est de 2 mg/l à 20 C, alors que la teneur recommandée est de 0,3 mg/l. Ces normes ont été établies en tenant compte de la température moyenne de l'eau et de l'air (30).

I.7.2 Normes Européenne :

La communauté européenne a considéré les fluorures comme un composant à contrôler (31). Les normes de fluor fixées par l'Union européenne pour la bière sont de 1,5 mg/l pour des températures de l'air ambiant comprises entre 8 et 12 degrés Celsius et de 0,75 mg/l pour des températures de l'air ambiant comprises entre 25 et 30 degrés Celsius.

1.7.3 Les normes Françaises :

La norme française, établie par décret du 3 janvier 1989, prévoit une concentration en fluor dans l'eau potable inférieure à 1,5 mg/l pour des températures moyennes de l'air ambiant comprises entre 8 et 12 degrés Celsius et à 0,77 mg/l pour des températures moyennes de l'air ambiant comprises entre 25 et 30 degrés Celsius. La concentration maximale de fluorure ionique est calculée par interpolation sur une plage de température de 12 à 25°C (31).

1.7.4 Normes USA :

La teneur en fluor ajustée de façon optimale dans l'eau de boisson est l'une des recommandations de PHS pour l'utilisation du fluor afin de maximiser la prévention de la carie et de minimiser la fluorose par courriel. Sa concentration varie de 0,7 à 1,22 mg/l en fonction de la température maximale moyenne journalière de l'air (32).

Tableau I-3: Concentration en ion fluorure dans les eaux de boisson en fonction de la moyenne annuelle des températures maximales quotidiennes de l'air. Norme USA (33) :

Intervalle de variation de la Moyenne annuelle des températures maximale quotidiennes en (°C)	Concentration en ion fluorure dans l'eau potable en (mg/l)			
	Minimale	Optimal	Maximale	Limite
10 à 12	0,9	1,2	1,7	2,2
12,22 à 15,6	0,8	1,1	1,5	2,2
14,7 à 17,7	0,8	1	1,3	2
17,8 à 21,4	0,7	0,9	1,2	1,8
21,5 à 26,2	0,7	0,8	1	1,6
26,3 à 32,5	0,6	0,7	0,8	1,4

1.7.5 Normes de l'O.M. S (Organisation Mondiale de la Santé) :

En 1972, l'OMS a fixé les teneurs maximales en fluorure autorisées dans l'eau de boisson à 0,8 mg/l pour les pays chauds et à 1,5 mg/l pour les pays froids. Cette distinction reflète le fait que la consommation d'eau d'un individu donné augmente avec la température. Ces normes ont été établies en tenant compte de la température moyenne de l'air et de l'eau. Le taux étant très bas et la température moyenne annuelle plus élevée.

Chapitre I : Généralité sur le fluor

Tableau I.4: Normes de la teneur en ions fluorures dans les eaux de consommation humaine en fonction de la température moyenne annuelle de l'eau (34).

Température moyenne annuelle de l'eau à partir des maximums diurnes quotidiens en (°C)	Teneur optimale de fluorures en (mg/l)	Teneur maximale admissible en fluorure en (mg/l)	Teneur limite en fluorure en (mg/l)
10	1	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	/	/	0,700

1.7.6 Les normes Canadiennes :

Selon la réglementation canadienne sur la qualité de l'eau potable, la quantité maximale de fluorure permise est de 1,5 mg/l (35). Les normes canadiennes pour la présence de fluorure dans l'eau potable sont régulièrement mises à jour pour garantir la sécurité de l'eau potable. Le ministère de la Santé du Canada est responsable de l'élaboration et de la mise en œuvre des normes canadiennes pour la qualité de l'eau potable. Les normes sont basées sur des recherches scientifiques et sont régulièrement révisées pour tenir compte des nouvelles données scientifiques et des avancées technologiques (36).

1.8 Conclusion :

En conclusion, le fluor est un élément essentiel à notre santé en petites quantités, grâce à son rôle dans la minéralisation de l'os et la prévention de la carie dentaire. Cependant, à des doses plus élevées, il peut être toxique, entraînant des maladies graves appelées fluoroses. L'eau est le principal vecteur de ces fluoroses, qui peuvent devenir endémiques dans certaines régions. Il est donc important de surveiller les niveaux de fluor dans les sources d'eau potable et de respecter les normes nationales et internationales en matière de concentration de fluor. Une bonne compréhension des caractéristiques du fluor et de ses effets sur la santé humaine est indispensable pour prévenir les effets négatifs de cet élément.

*Chapitre II : Procédés de défluoruration des
eaux*

II: Procédés de défluoruration des eaux

II.1 Introduction :

De nombreuses méthodes sont disponibles pour éliminer ou réduire l'excès de fluor conformément aux recommandations de l'OMS et à la norme algérienne de 1,5 mg/L. Le choix de l'un de ces procédés dépend de sa viabilité technique, de sa viabilité économique d'un point de vue technique et de sa facilité d'entretien (2).

II.2 Définition de la défluoruration :

Son principe consiste à utiliser des réactions donnant lieu la formation de complexes solubles ou insolubles, permettant de ramener la concentration du fluor à une teneur optimale compatible avec les effets favorables sur la santé humaine (37).

II.3 Procédés de défluoruration des eaux :

La flore et la faune qui vivent dans les zones avoisinantes peuvent être affectées par l'empoisonnement au fluorure tout autant que les humains. De ce fait, le traitement de l'eau potable est nécessaire pour réduire les risques sanitaires et les niveaux d'intoxication. Plusieurs procédés ont été mis au point (Figure II-1), mais leur coût élevé les empêche d'être utilisés dans les pays en développement (38).

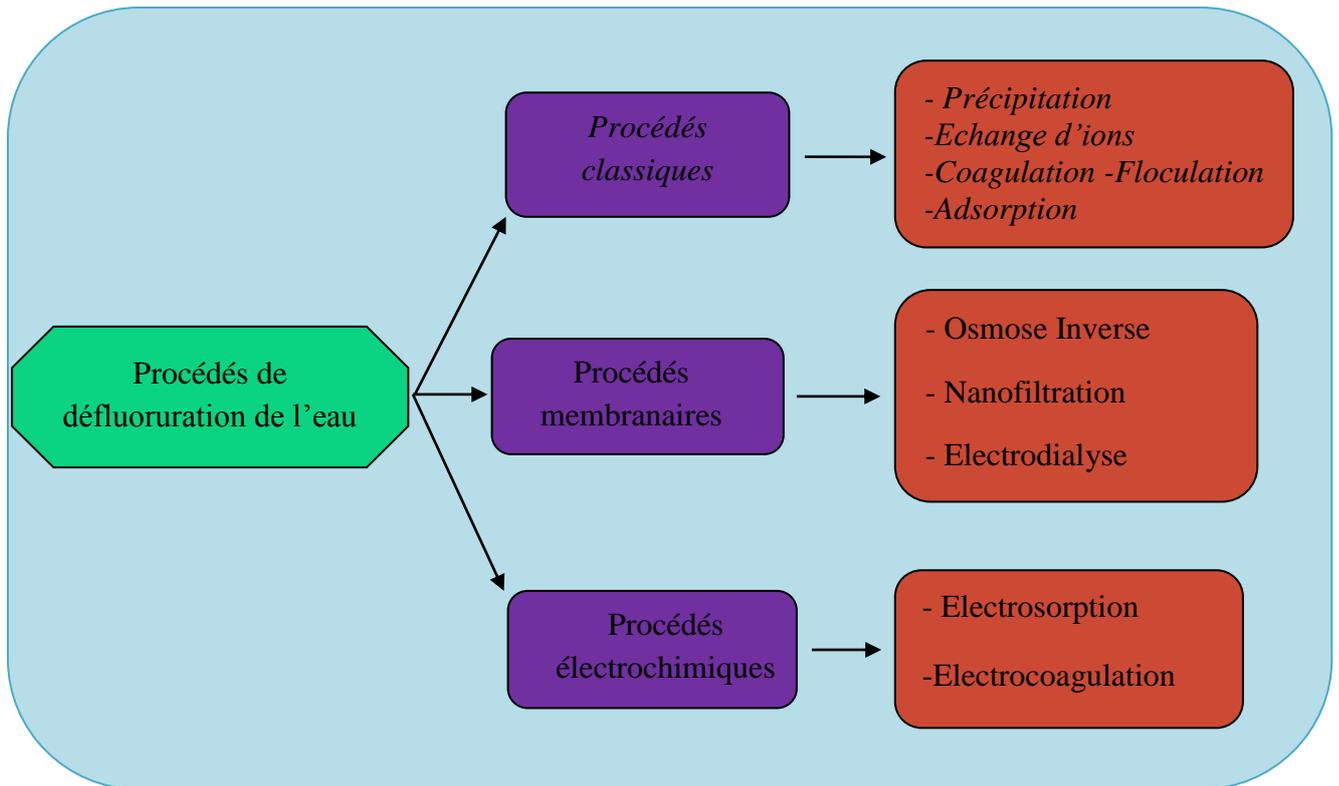


Figure II-1: Les différents Procédés de défluoruration de l'eau destinée à l'usage humain

II.3.1 Procédés classiques :

II.3.1.1 La Procédé d'adsorption :

Les processus d'adsorption impliquent principalement un phénomène de physisorption rapide qui peut être suivi d'un phénomène de fixation chimique beaucoup plus lent dû à la diffusion dans les pores (39).

Les fluorures ont la capacité de s'adsorber sur une variété de composés minéraux, y compris l'apatite ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), CaCO_3 , où les ions fluorure peuvent remplacer les ions carbonate pour produire une fluorapatite insoluble, ainsi que l'aluminium, le charbon actif et l'argile enrichie en magnésie.

II.3.1.1.1 Le charbon Actif :

L'utilisation de cette méthode de défluorisation peut donner de bons résultats. Elle purifie l'eau en fixant les impuretés et en leur permettant de s'accumuler à sa surface. Le mécanisme de sorption dépend fortement du PH et est efficace à des valeurs de pH inférieures à 3,0. La majorité du carbone utilisé dans le processus de traitement de l'eau est fabriqué à partir des déchets organiques ou du charbon de coke.

II.3.1.1.2 Filtration sur phosphate tricalcique :

Cette procédure a été largement utilisée dans les États Unis. Le mécanisme peut être résumé comme un échange d'ions entre l'ion fluorure et le carbonate ou l'hydroxyde des ions apatite ou hydroxyapatite. Les produits utilisés sont soit naturels (poudre d'huile ou cendre), soit synthétiques et sont fabriqués dans l'eau à l'aide d'un mélange contrôlé d'acide phosphorique et de craie (40). Ces produits de synthèse peuvent être utilisés sous forme de poudre ou de grains contenus dans un filtre et dont la taille varie de 0,3 à 0,6 mm (gravitaires ou sous pression). Il possède une capacité de rétention de 700 mg/l, selon les estimations. Ce procédé présente les inconvénients suivants (41):

- Plus coûteux et moins efficace que le traitement à l'aluminium activé.
- Le matériau sera périodiquement renouvelé à la soude caustique et rincé à l'acide.
- Les eaux de régénération doivent être collectées et traitées séparément (42).

II.3.1.1.3 L'Adsorption sur les argiles :

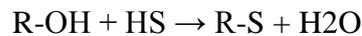
De nombreux laboratoires dans le monde se sont récemment intéressés à l'étude des argiles, et cet intérêt est justifié par l'abondance des argiles dans la nature, l'importance des surfaces qu'elles forment, la présence de charges électriques et, surtout, la capacité d'échanger des cations entre les surfaces foliaires (43). La capacité de se lier à certains anions et cations et de les maintenir dans un état qui permet l'échange avec d'autres ions en solution est une propriété des argiles. Sur des matériaux naturels tels que le sable rouge, le charbon de bois, la poudre de brique et la serpentine dont la composition correspond à la formule $Mg_6 Si_4 O_{10} (OH)_8$ ont testé l'élimination des ions fluorure par adsorption (44).

En outre, 25 grammes de chaque matériau ont été ajoutés séparément à une colonne pour tester leur capacité d'adsorption en fonction du temps nécessaire à la filtration. Les résultats montrent que le sol rouge a la meilleure capacité de défluoruration, avec seulement 0,1 mg/l de fluorure restant après 30 minutes de contact, par rapport aux autres matériaux. Les résultats d'une étude comparative entre deux types de capacité de défluoruration (45).

II.3.1.2 Échange d'ions :

Le processus d'échange d'ions consiste à placer de l'eau ou toute autre solution aqueuse en présence d'un échangeur d'ions ayant la capacité d'éliminer de la solution par fixation un type d'ion et de le remplacer par une quantité exactement équivalente d'un autre type d'ion, avec la même charge (Figure II-2).

Ce procédé utilise des substances ioniquement réactives ayant une affinité spécifique pour les ions fluorure. On fait passer l'eau à travers un échangeur d'anions fortement basique pour la défluorer. L'équation suivante est utilisée pour décrire la réaction qui s'est produite sur l'amine (46):



Où :

- R représente un site d'échange de résines ;
- S représente un anion (F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , etc.) (24).

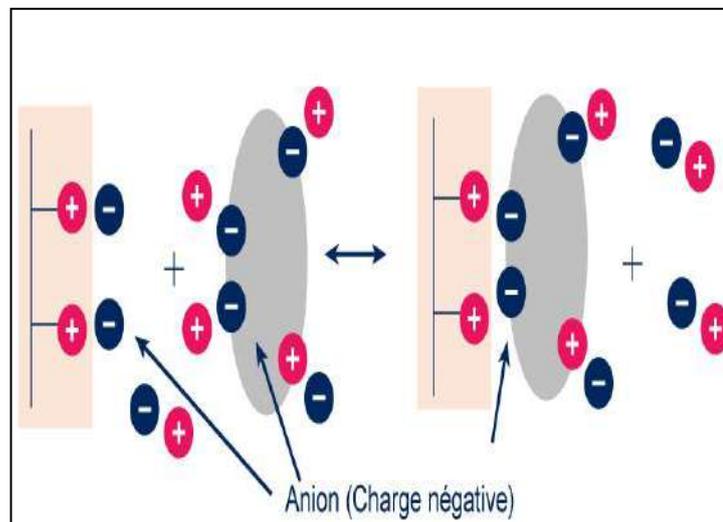


Figure II-2: Principe de l'échange d'ions

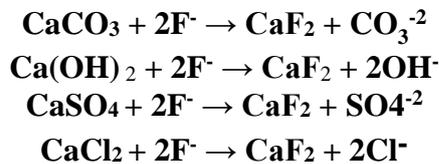
II.3.1.3 Coagulation Floculation (Technique de Nalgonda) :

La méthode de coagulation-floculation la plus connue est la méthode Nalgonda, fréquemment utilisée en Inde, qui consiste à ajouter de l'aluminium et de l'hypochlorite de calcium pour désinfecter. Viennent ensuite la floculation, la sédimentation et la filtration. Cette méthode peut être appliquée à petite échelle à la maison ou à plus grande échelle dans une installation de traitement pouvant traiter quelques m³ (47).

Cette procédure a un coût modéré. Le procédé Nalgonda fonctionne mieux lorsque l'eau traitée a des concentrations en fluorures supérieures à 20 mg/l, des matières dissolvables supérieures à 20 mg/l et des durées supérieures à 250 mg/l de CaCO₃. Avec un taux de 84% pour les fluorures (48).

II.3.1.4 Précipitation :

Les procédés utilisés pour précipiter les ions fluorure sont de nature chimique et reposent sur la création de composés insolubles à base de fluorure qui sont ensuite éliminés par décantation et filtrage. Cependant, il est important de prendre en compte les excès de substances réactives liées à la précipitation dans l'eau traitée qui peuvent altérer sa qualité et nécessiter des étapes de traitement supplémentaires. Il est possible de favoriser la précipitation des ions fluorure sous forme de CaF₂ en ajoutant certains additifs chimiques appropriés, tels que le carbonate de calcium (CaCO₃), la chaux de calcium (Ca(OH)₂), le sulfate de calcium (CaSO₄) ou le chlorure de calcium (CaCl₂). Les réactions suivantes ont été déclenchées (2) :



Étant donné la faible solubilité de la majorité des fluorures, il est difficile de procéder à des traitements par précipitation des fluorures pour le traitement de l'eau potable (49).

II.3.2 Procédés membranaires :

Les technologies membranaires sont plus simples à mettre en œuvre et ont de bien meilleures capacités de production, mais elles restent difficiles à utiliser pour les pays en développement en raison de leur coût élevé et de leur manque de maîtrise technologique (7). La station de traitement des eaux à Touggourt est un exemple du sud de l'Algérie où l'osmose inverse a montré leurs limites opérationnelles.

Chapitre II : Procédés de défluoruration des eaux

Parmi les nombreux procédés à membranes, des expériences de défluoruration des eaux destinées à la consommation humaine ont été menées, en mettant en œuvre les procédés d'électrodialyse, d'osmose inverse (OI) et, plus récemment, de Nanofiltration (NF) (50).

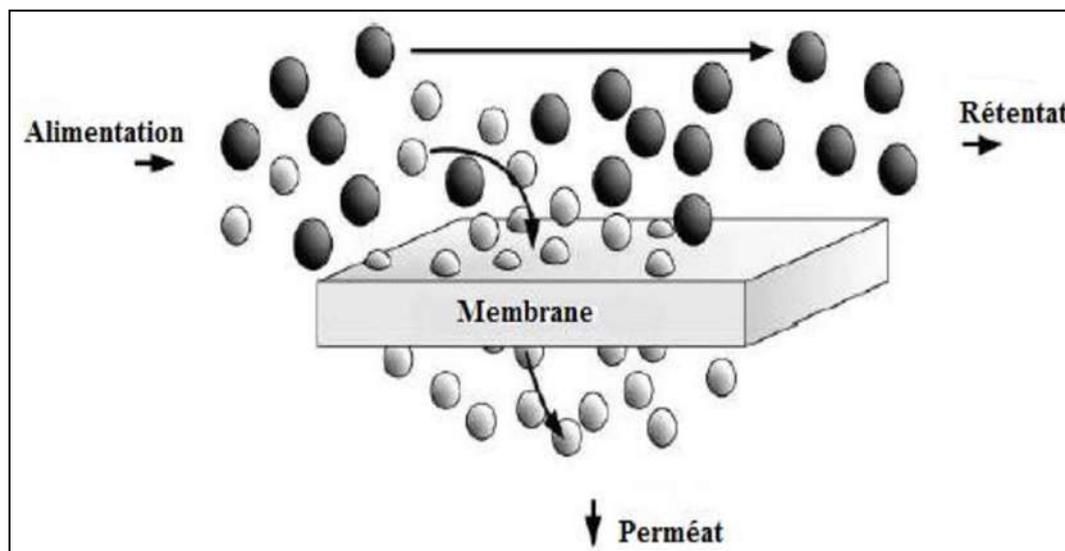


Figure II-3:Schéma simplifié d'une opération de séparation membranaire

II.3.2.1 Osmose inverse (OI) :

L'osmose inverse, phénomène important et connu depuis le XVIII^e siècle, n'a vu des applications que dans la deuxième moitié du XX^e siècle. C'est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression, permettant de travailler entre 8 et 100 bars (coût énergétique élevé). Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration (Figure II-4). Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux de solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution. Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse c'est le phénomène d'osmose inverse (51).

L'OI est une méthode très efficace pour éliminer la quasi-totalité des minéraux présents dans la solution (il n'y a pas de sélection parmi les minéraux), ce qui justifie son utilisation dans plusieurs usines de dessalement dans le monde. Pour répondre aux exigences d'une boisson, une minéralisation supplémentaire (sans fluor) est nécessaire avant qu'elle puisse être considérée comme potable. La phase de prétraitement (clarification), qui est souvent

Chapitre II : Procédés de défluoruration des eaux

essentielle, peut représenter 60 % des coûts totaux de traitement. Cependant, bien qu'il présente l'avantage d'être simple, de petite taille et de fonctionner en continu, l'IO a un coût d'investissement et d'exploitation élevé, en plus d'inconvénients tels que la reminéralisation et une grande sensibilité aux solutions d'oxydants (52).

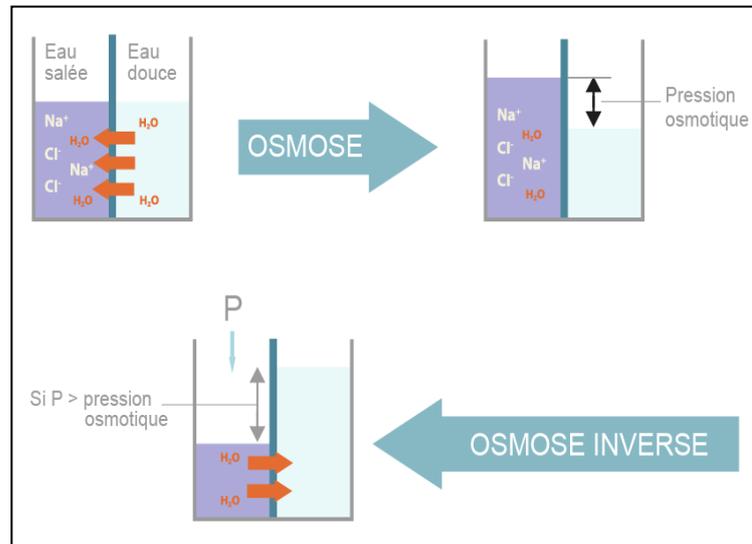


Figure II-4: Principe de phénomène d'osmose et d'osmose inverse.

II.3.2.2 Nanofiltration (NF) :

L'osmose inverse à basse pression, ou NF, est un processus membranaire qui se situe entre l'osmose inverse (OI) et l'ultrafiltration (UF). Elle reste le traitement le plus économique et le plus efficace. Pour ce faire, elle permet une défluoruration sélective tout en permettant également une désalinisation partielle (élimination de 50% du chlorure de sodium en une seule portion) (53).

La NF est une méthode de séparation qui utilise une membrane pour permettre le fractionnement des solutions. Elle permet de traiter des eaux faiblement minéralisées à très basse pression et a une masse molaire comprise entre 100 et 1000 g/mol (20 bars).

Ce type de membrane, qui est encore à l'étude, devrait permettre de réaliser une rétention sélective des sels tout en évitant l'étape de la déminéralisation après le traitement. Cela permettrait d'éliminer préférentiellement les fluorures tout en maintenant une minéralisation suffisante de l'eau pour la rendre directement potable. Et d'ajuster le taux d'absorption souhaité en jouant sur les paramètres opérationnels (pression transmembranaire, taux de conversion et force ionique) (49).

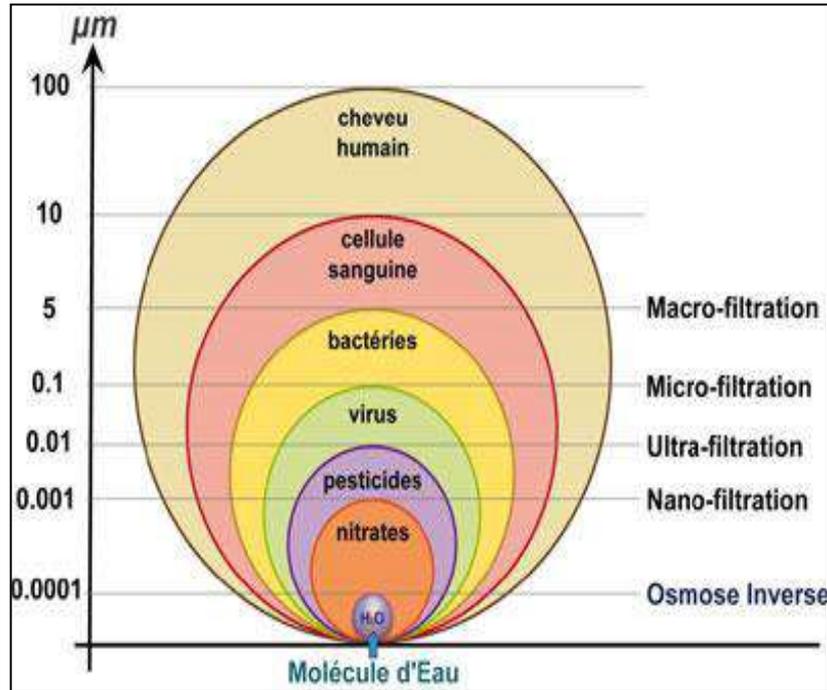


Figure II-5: Place de la Nanofiltration entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration

II.3.2.3 Electrolyse :

Il s'agit d'une méthode de séparation par laquelle des particules dispersées sont déplacées à travers des membranes ioniques sous l'influence d'un champ électrique, depuis des compartiments de déconcentration vers des compartiments de concentration, la concentration dans les compartiments adjacents diminuant et augmentant dans les compartiments de même parité. On obtient ainsi un jet d'eau concentré d'un côté et un jet d'eau doux de l'autre (Figure II-6). Lorsqu'une solution est introduite dans les compartiments qui séparent ces membranes, les cations se dirigent vers la cathode à travers les membranes cationiques et les anions se dirigent vers l'anode à travers les membranes anioniques.

La capacité à traverser les membranes cationiques est inhibée par les membranes anioniques, qui sont disposées en alternance avec les membranes cationiques afin d'empêcher l'arrêt réciproque (54).

L'objectif de ce procédé est d'ioniser les solutions salines en plus de les utiliser pour éliminer les fluorures de l'eau afin que le produit final soit conforme aux normes fixées par l'ISN ou l'OMS. Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite une déminéralisation complète de l'eau traitée afin d'éliminer les fluorures. Cette méthode a également un coût énergétique élevé qui est directement lié à la quantité de sel qui doit être retirée de l'eau (55).

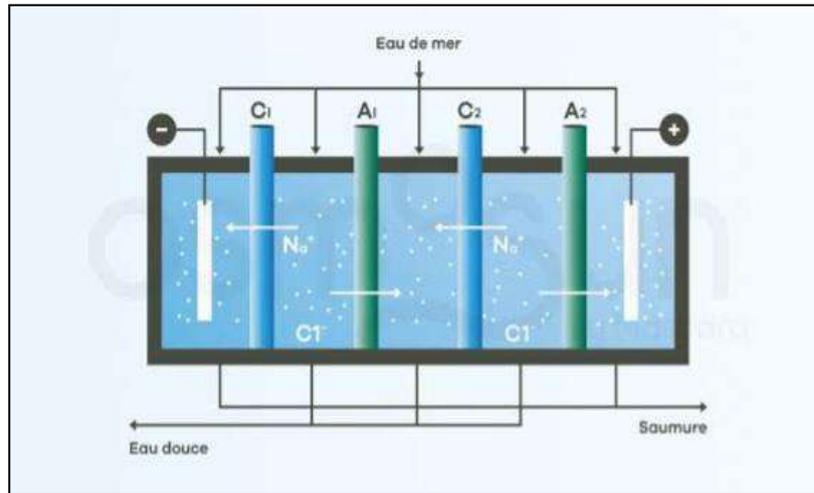


Figure II-6: Principe d'un électrodialyseur

II.3.3 Procédés électrochimiques :

II.3.3.1 Electrosorption :

C'est un phénomène de surface caractérisé par une adsorption dans des solutions où la qualité des produits absorbés dépend du potentiel électrochimique de l'adsorbant. Le phénomène d'adsorption est provoqué par la polarisation de la surface sur laquelle se trouvent les électrodes chargées. En particulier, lorsqu'un champ électrostatique externe est appliqué aux surfaces d'électrodes immergées dans des solutions électrolytiques, les ions chargés sont contraints de se déplacer vers leurs électrodes opposées, ce qui conduit à la formation de fortes doubles couches électriques proches des conductivités élevées et des surfaces élevées (Figure II-7) (50). L'efficacité de la procédure est fortement influencée par le pH, la température, la teneur initiale en fluorure et la qualité de l'eau. Lorsqu'elle est utilisée pour défluorer l'eau du sol, cette méthode a permis de réduire la concentration moyenne d'ions fluorure de 3 mg/L à 0,4 mg/L (56).

Plusieurs matériaux sont utilisés comme sources de carbone en raison de leur microporosité, de leur surface spécifique, de leur capacité d'adsorption élevée et de leur bonne conductivité électrique (carbone actif, fibres de nanocarbone, graphène).

Sur le plan énergétique, ce procédé est intéressant car il fonctionne à un faible potentiel (environ 1-1,5 V) par rapport à des procédés plus courants tels que la distillation thermique, l'osmose inverse, l'échange d'ions et l'électrodialyse. De plus, il s'agit d'une technologie verte qui ne nécessite aucun agent chimique pour la reproduction (56).

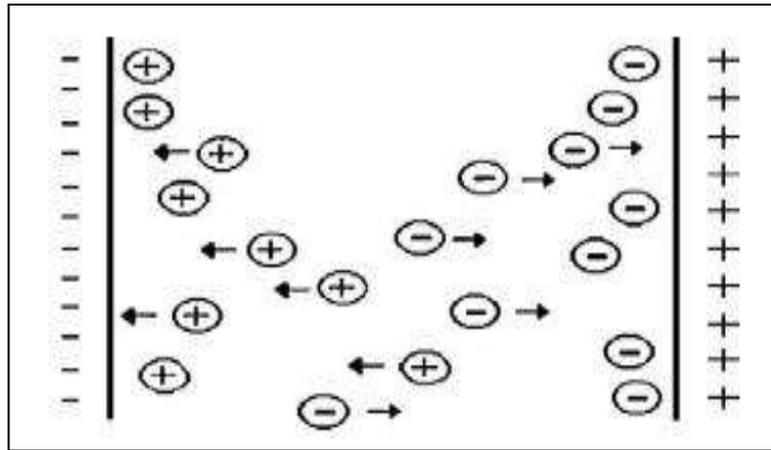
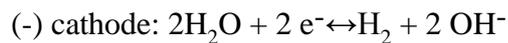
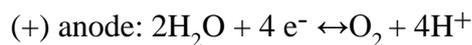


Figure II-7: Principe d'un Electroadsorption

II.3.3.2 Electrocoagulation :

C'est un procédé électrochimique qui permet, au cours du traitement d'épuration des eaux fluorures, de produire des microbulles d'oxygène et d'hydrogène suivant ces réactions :



En remontant à la surface, ces bulles finement divisées (10 m) vont provoquer la mise en suspension des matières (hydrocarbures et colloïdes) sous forme de floccs, qui peuvent ensuite être éliminés par une procédure physique classique (décantation, flottation, filtration, etc.) pour obtenir une clarification complète de la solution (49).

L'électrocoagulation est un procédé basé sur l'idée d'anodes solubles. Il est nécessaire d'appliquer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes métalliques (acier ou aluminium) positionnées dans un électrolyte contenu dans un réacteur afin de produire sur place des ions (Fe^{2+} , Fe^{3+} , et Al^{3+}) qui peuvent provoquer une coagulation-floculation des polluants indésirables. Le principe de la procédure d'électrocoagulation à base d'électrodes d'aluminium est illustré à la (Figure 0-8) (57).

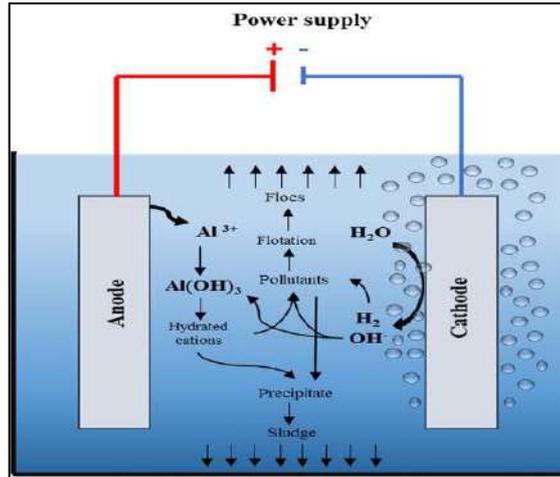


Figure II-8:Principe d'Electrocoagulation

II.4 Conclusion :

Un certain nombre de techniques de défluoruration ont été choisies et améliorées, que ce soit en laboratoire, en station pilote ou même à l'échelle industrielle. L'efficacité de ces procédés varie en fonction de la méthode et des caractéristiques de l'eau traitée. Les techniques les plus connues mettent en évidence les phénomènes d'adsorption, de précipitation, d'échange d'ions, ainsi que les techniques membranaires et électrochimiques.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III : Matériels et Méthodes

III.1 Introduction :

Aux fins de la réalisation des travaux appliqués liés au sujet de notre recherche, le recours aux laboratoires scientifiques représentés au laboratoire du Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien de Centre de Recherche Scientifique et au laboratoire pédagogique de Traitement des Eaux de faculté des Sciences appliquées au niveau du pôle universitaire III, où à leur niveau des expériences scientifiques et des mesures chimiques ont été réalisées à l'aide d'outils et d'équipements de laboratoire nécessaires à la réalisation de cette recherche qui seront gérés et introduits à travers ce chapitre.

III.2 Echantillonnages :

Tableau III.1 : Les données des forages utilisés :

N°	Nom de forage	X	Y	Nappe capté
01	F. Centre ADE Touggourt	33.110566	6.062333	Mio-pliocène
02	F. secoure station filtration	33.076932	6.044294	Mio-pliocène
03	F. Château bel air	33.120277	6.071459	Mio-pliocène
04	F. albien El Mostakbel	33.120046	6.032532	Albien
05	F. Complexe Nezla	33.096824	6.059551	Mio-pliocène
06	F. Ben yessoued	33.107518	6.082890	Mio-pliocène
07	F. Zaouïa El Abdia	33.107518	6.084489	Mio-pliocène
08	F. complexe secour 02 Meggarine	33.127234	6.079410	Mio-pliocène
09	F. cité El Manar	33.188985	6.063211	Mio-pliocène
10	F. albien Meggarine	33.083127	6.077353	Albien
11	F. albien Sidi Slimane	33.190069	6.115987	Albien
12	F. albien Ain Sahara 01	33.282486	6.045786	Albien
13	F. albien Ain Temacine	33.077045	5.993134	Albien

Pour effectuer cette étude, un ensemble d'échantillons bruts a été prélevé sur les forages existants et exploités au niveau de la ville de Touggourt.

Les six premiers échantillons ont été utilisés afin d'étudier le processus d'élimination des ions fluor à l'aide de charbon actif à base de noyaux d'olive, contrairement à l'étude hydrochimique dans laquelle tous les échantillons prélevés ont été utilisés, tout cela est dû à des raisons, dont la plus importante est la rareté du réactif utilisé pour obtenir les résultats finals de l'expérience.

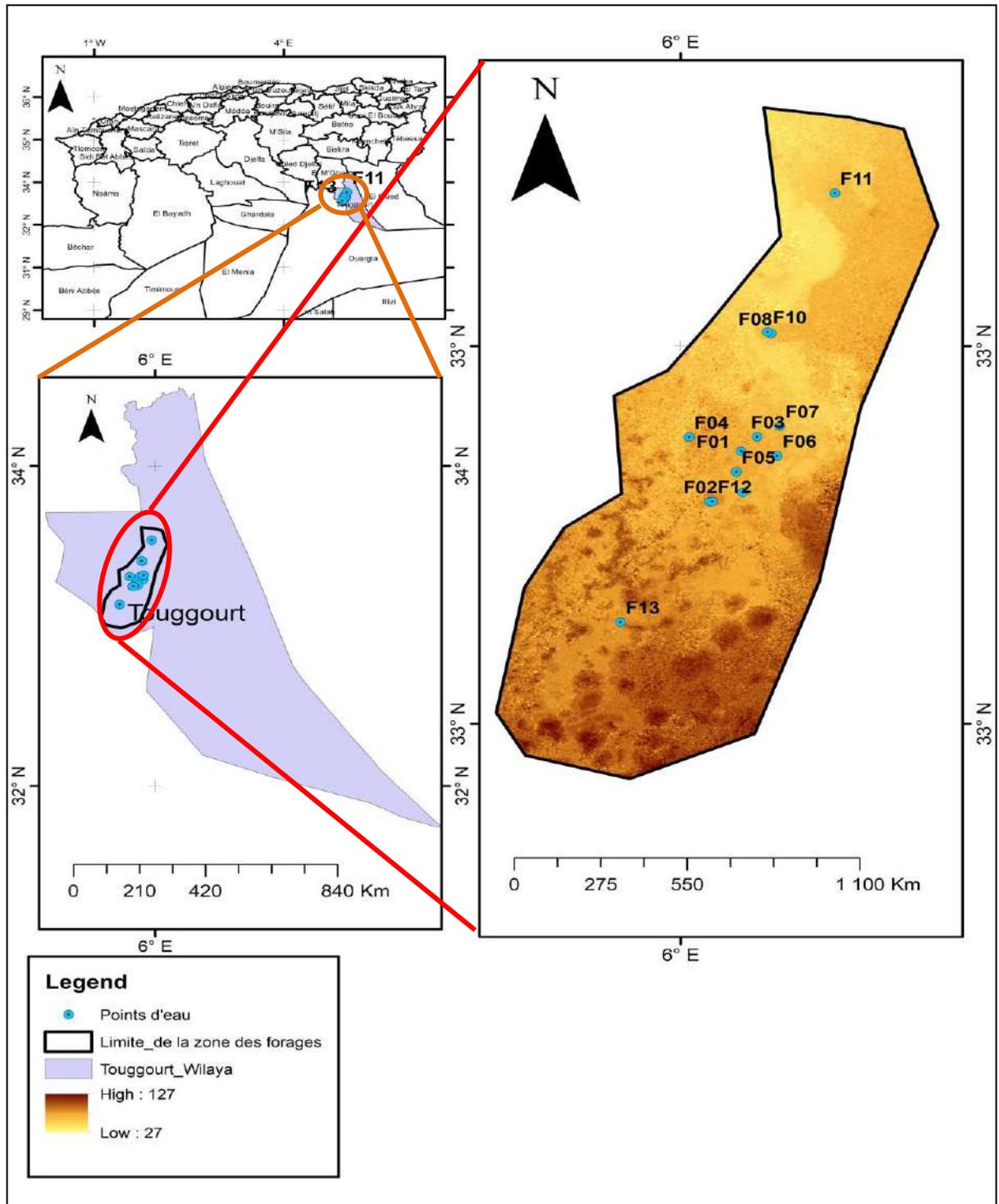


Figure III-1 : délimitation de la zone d'étude et positionnement les forages

III.3 Matériels et méthodes utilisés :

III.3.1 Bécher :

Un bécher est un récipient utilisé pour de nombreuses applications de laboratoire, notamment en chimie, physique, biologie et pharmacie. Le mot provient de l'allemand Becher qui signifie gobelet. Il est aussi appelé vase de Berlin ou Berlin.



Figure III-2 : bécher

III.3.2 Erlenmeyer :

L'Erlenmeyer est utilisé pour les mêmes fonctions que le bécher. Pour éviter des projections, il est préféré au bécher pour manipuler des produits chimiques volatils, ou faire des réactions exothermiques. Ses graduations sont justes d'ordre indicatif. Il peut être muni d'un bouchon et être chauffé s'il est fait en Pyrex (58).

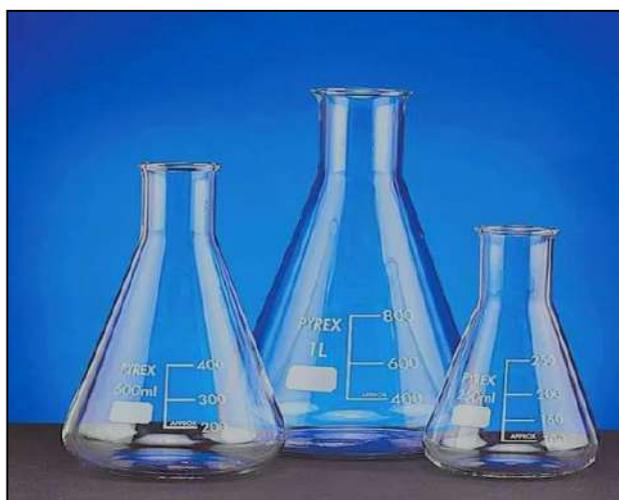


Figure III-3: Erlenmeyer

III.3.3 Fiole jaugée :

Une fiole jaugée est un récipient en forme de poire, à fond plat et col étroit. C'est un récipient jaugé : il permet de mesurer un volume très précis. C'est le volume contenu dans la fiole qui est précis – il s'agit donc d'une verrerie. Le trait de jauge est indiqué au niveau du col de la fiole (59).



Figure III-4: Fiole jaugée

III.3.4 Eprouvette graduée :

Une éprouvette graduée est un récipient cylindrique en verre ou en plastique utilisé dans les laboratoires pour mesurer avec précision des volumes de liquides. Elle est graduée avec des marques de mesure précises, généralement en millilitres (ml) ou en centimètres cubes (cc), pour permettre des mesures précises des volumes de liquides. Les éprouvettes graduées sont couramment utilisées dans les domaines de la chimie, de la biologie et de la physique pour mesurer des volumes de liquides avec précision.



Figure III-5: Eprouvette graduée

III.3.5 Entonnoir en verre :

Cet instrument est utilisé pour transvaser un liquide ou un solide (sous forme de poudre ou granulés) dans un autre récipient ayant un col étroit, tel une fiole jaugée, un erlenmeyer, une burette graduée, un ballon, une ampoule de coulée ou une ampoule à décanter, afin d'éviter d'en mettre à côté.



Figure III-6: Entonnoir en verre

III.3.6 Pipette :

Une pipette est un outil de laboratoire utilisé en chimie, en biologie pour transporter un volume mesuré de liquide. Les pipettes sont disponibles en plusieurs modèles avec différents niveaux de résolution. Elles peuvent être simples, en plastique ou en verre, à piston. La pipette fonctionne sur le même principe que les pailles : on crée une aspiration dans le tube pour prélever un liquide de manière mécanique ou contrôlée.



Figure III-7: Pipette

III.3.7 Les flacons :

Ce sont des flacons de 50 ml en polyéthylène. Il a été utilisé pour conserver des échantillons d'eau après que du charbon actif leur ait été appliqué et les transporter pour analyse.



Figure III-8: Flacon

III.3.8 Papier aluminium :

Le papier aluminium a été utilisé pour mettre du charbon actif dans l'étuve pour le séchage et aussi pour prendre des poids et diverses autres utilisations.



Figure III-9: Papier aluminium

III.3.9 Papiers filtres :

Le papier filtre est une barrière en papier semi-perméable placée perpendiculairement à un flux de liquide ou d'air. Il est utilisé pour séparer les fines particules solides des liquides.



Figure III-10: Papier filtre

III.3.10 Pissette :

Une pissette est un récipient de laboratoire, de forme cylindrique (souvent en matière plastique souple), munie d'un tube plongeant et d'un tube verseur recourbé.

La pissette est prévue pour contenir des solvants divers (éthanol, méthanol, eau déminéralisée, etc.). Elle est habituellement utilisée pour le rinçage de la vaisselle de laboratoire (tubes à essai, ballons, etc.).



Figure III-11: Pissette

III.3.11 Jar test :

C'est un appareil électrique qui agite et mélange des solutions à des même vitesses et des temps contrôlés qui permet de connaître les concentrations appropriées des produits et des solutions ajoutées.



Figure III-12: Appareille de JAR TEST

III.3.12 Balance analytique :

C'est une balance très précise utilisée pour mesurer le poids des matériaux, des échantillons et des solutions.

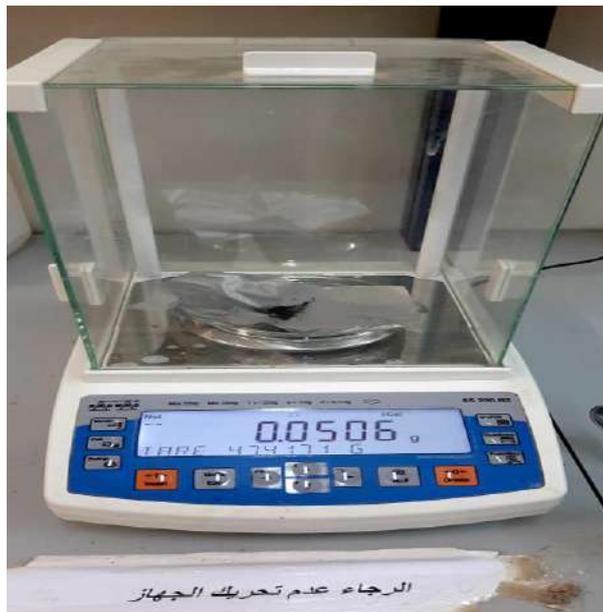


Figure III-13: Balance analytique

III.3.13 *Agitateur magnétique :*

L'agitateur magnétique est un appareil permettant de mélanger deux composants de façon homogène. Il est très utilisé en laboratoire pour homogénéiser une solution à doser, accélérer la dissolution.



Figure III-14: Agitateur magnétique

III.3.14 *Etuve :*

Les étuves de laboratoire, communément appelées étuves de séchage ou étuves universelles, qu'elles soient à convection naturelle ou à convection forcée (étuve ventilée) sont parmi les appareils les plus répandus dans les laboratoires industriels ou les laboratoires de recherche. Conçues pour maintenir le meilleur niveau d'homogénéité dans leur chambre interne, les étuves de séchage sont présentes dans d'innombrables applications. Les étuves de laboratoire sont couramment utilisées en tant qu'étuves de séchage, application sans doute la plus fréquente.



Figure III-15: Etuve

III.3.15 Multi paramètres :

L'appareil multiparamètre HANA est un instrument de mesure utilisé pour mesurer plusieurs paramètres d'eau tels que le pH, la conductivité, la température, l'oxygène dissous et d'autres variables importantes. Il est conçu pour être portable, facile à utiliser et à transporter sur le terrain.



Figure III-16: Multiparamètre HAANA

III.3.15.1 Méthode d'analyse :

1. Allumer l'appareille ;
2. Sélectionner les éléments à mesurer (PH ; TDS ; CE ; NUT etc.) ;
3. Rincer bien l'électrode avec l'eau distillée ;
4. Remplir la gaine de l'électrode avec l'échantillon ;
5. Fermer la gaine avec l'électrode ;
6. Lire les résultats sur l'écran de l'appareil ;
7. Lors de toute nouvelle mesure, lavez bien la gaine et l'électrode avec de l'eau distillée.

III.3.16 Appareille spectrophotomètre :

Le spectrophotomètre UV-VIS offre des performances optimales pour les procédures de routine en laboratoire et les applications de photométrie les plus exigeantes.

Le spectrophotomètre UV-VIS allie résultats fiables et efficacité. La navigation intuitive sur l'écran tactile couleur vous permet de saisir et d'étalonner vos propres méthodes en quelques étapes. L'instrument offre également une large gamme de méthodes préprogrammées. Les packs d'applications, par exemple en enzymologie et en colorimétrie, constituent d'autres possibilités d'utilisation, comme pour l'analyse de l'eau potable ou des boissons.



Figure III-17: spectrophotomètre DR 6000



Figure III-18: flacon spéciale

III.3.16.1 Méthode d'analyse :

1. Allumer l'appareille ;
2. Verser 10 ml d'eau distillé dans le flacon de l'appareille ;
3. Ajouter 2ml de réactif de fluor (SPADANS) ;
4. Mettre le flacon dans la chambre de mesure ;
5. Fermer le couvert de l'appareille ;
6. Appuyer sur la touche ZÉRO ;
7. L'appareil lit l'échantillon témoin et nous montre le zéro ;
8. Retirer le flacon de la chambre de mesure ;
9. Dans le deuxième flacon verser 10 ml d'échantillon ;
10. Ajouter 2ml de réactif de fluor (SPADANS) ;
11. Mettre le flacon dans la chambre de mesure ;
12. Fermer le couvert de l'appareille ;
13. Appuyer sur la touche Mesurer ;
14. Le résultat de l'analyse que nous effectuons apparaîtra à l'écran.

III.3.17 Méthode de Préparation d'un charbon actif :

1. Nettoyage des noyaux d'olive en utilisant l'eau de robinet et par suivre l'eau distillé
2. Faire le séchage dans une étuve pendant 24 heures avec une température de 105°C
3. Broyage + Tamisage (pour obtenir des grains de taille inférieur à 2mm)
4. Mettre notre échantillon dans des feuilles en aluminium et aspirer l'air
5. On commence la carbonisation pendant 1 heure à une température variable

Chapitre III : Matériels et méthodes

6. On laisse refroidir le charbon obtenu puis gardé dans un flacon hermétique.
7. Faire l'activation chimique (par voie acide) de telle façon imprégné notre cendre par **H₃PO₄ à 85 %**.

La phase d'imprégnation consiste à tremper une prise de **100 g** poudre de coques dans **200 ml** du réactif d'activation et laisser à macérer pendant **24 heures** dans l'étuve à **105°C**

8. On procède ensuite à une série de filtrations et de lavage :
 - 02 fois à l'eau distillée bouillante
 - Plusieurs fois à l'eau distillée froide

Jusqu'à ce que le **pH** du filtrat soit compris entre **6** et **7**

9. On sèche à l'étuve à **105°C** puis gardé dans un flacon hermétique.

III.3.17.1 Bilan de Caractérisation du charbon actif :

1. Caractéristiques chimique :

- MEB

III.3.18 Protocole d'utilisation de charbon actif :

Au niveau du laboratoire, les mesures suivantes ont été prises :

- Prendre un poids de 0,05 g de charbon actif pour chaque échantillon.
- Prendre 40 ml de chaque échantillon.
- Mettez le charbon actif à l'intérieur du bécher puis versez l'échantillon dessus.
- Mettre le bécher à l'intérieur de l'appareil (Jar Test), (notez que nous avons 06 échantillons, c'est-à-dire pour chaque échantillon bécher, et tous sont placés en même temps dans l'appareil).
- Programmation de l'appareil sur le nombre de tour de 300 tours par minute et pour une durée de 120 minutes.
- Après l'arrêt de l'appareil, des échantillons sont prélevés et filtrés sur papier filtre, puis conservés dans des flacons.

III.3.19 Outil informatique utilisé :

III.3.19.1 Arcgis :

Arcgis est un logiciel complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer, cartographier et diffuser des informations géographiques, ce logiciel est l'un des principales plates-formes utiliser pour le développement et l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) dans le monde.

Ce logiciel a été utilisé pour la création des cartes geospatiale des différents paramètres des eaux.

III.3.19.2 Diagrammes :

Ce programme est un ensemble de diagrammes qui analyse les données hydrochimiques et permet de connaître la nature chimique de l'eau grâce à des diagrammes particuliers, y compris le diagramme de PIPER.

Ce programme a été utilisé dans cette étude pour obtenir la nature et le faciès chimique des échantillons d'eau brute.

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV : Résultats et Discussions

IV.1 Introduction :

Après avoir mené plusieurs expériences selon le protocole utilisé sur des échantillons d'eau brute pour étudier l'effet du charbon actif extrait des noyaux d'olive sur la composition chimique de l'eau, notamment sur l'élément fluor, les résultats finals ont été obtenus, qui seront présentés et discutés dans ce chapitre.

IV.2 Elimination de fluor :

Afin d'obtenir ces résultats, du charbon actif extrait des noyaux d'olive a été appliqué sur six échantillons d'eau brute.

Grâce à ces résultats, nous avons pu déterminer son efficacité sur l'eau et des analyses supplémentaires ont été effectuées pour déterminer si son effet sur d'autres éléments chimiques ou non.

IV.2.1 Résultats :

Sur la base des documents extraits du laboratoire de l'ADE à Ouargla et des résultats expérimentaux obtenus sur le laboratoire du Centre de Recherche Scientifique et avec l'aide du laboratoire central de la Société SIAL à El Kouba, Alger, nous avons obtenu le Tableau IV- 1, qui montre les résultats physiques et chimiques des échantillons avant et après l'application de charbon actif.

Tableau IV-1 : Résultats pré- et post-expérimentaux du charbon actif extrait de l'olive

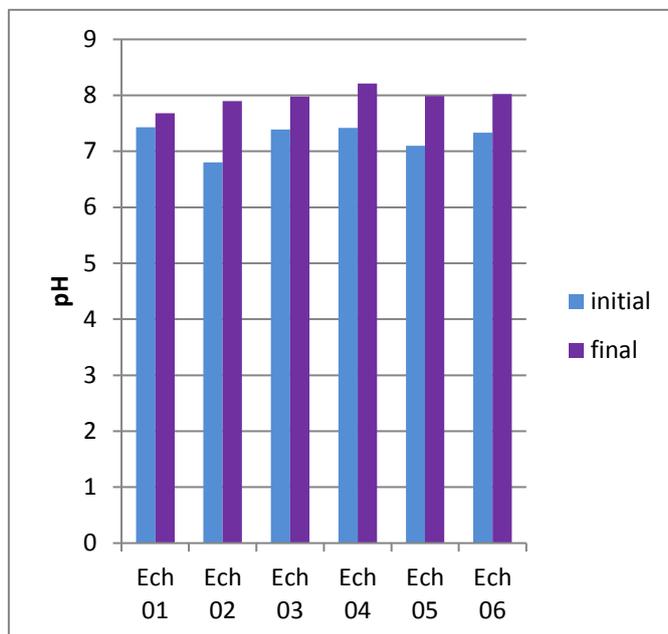
		Type de Charbon : Noix d'olives					
		Température de calcination : T 600°					
		La masse (g) : 0.05g					
Paramètre	Unité	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05	Ech 06
Le volume	ml	40	40	40	40	40	40
Le temps	min	120	120	120	120	120	120
Ø	tr/min	300	300	300	300	300	300
Analyse primaire							
Conductivité	µs/cm	7220	3140	7710	3190	4058	7690
PH	/	7.43	6.80	7.39	7.42	7.1	7.33
TDS	mg/l	3610	1570	4355	1595	2840.60	3845
F ⁻	mg/l	2.79	1.95	1.93	0.84	1.73	1.91
Ca ⁺²	mg/l	386.6	232.46	412.82	200.4	236.6	448.89
Mg ⁺²	mg/l	243.5	267.3	260.01	97.2	150	238.14
Na ⁺	mg/l	708	300	765	300	374	760
K ⁺	mg/l	50.56	31	54	22	34.9	53
Cl ⁻	mg/l	1469	388.48	1568.87	609.09	845	1615.02
SO ₄ ⁻²	mg/l	1311	350	1400	500	774	1330
Analyse après le traitement							
Conductivité	µs/cm	11200	8100	11940	3896	10030	13310
PH	/	7.68	7.9	7.98	8.21	7.99	8.02
TDS	mg/l	5616	3315	6190	1895	5017	6655
F ⁻	mg/l	1.90	1.91	1.89	0.445	2	2.1
Rendement	%	31,900	2,051	2,073	47,024	-15.6	-9.94
Ca ⁺²	mg/l	720.47	494.57	675.76	265.05	498.97	582.97
Mg ⁺²	mg/l	259.97	163.82	240.66	97.23	188.75	230.82
Na ⁺	mg/l	942.51	636.95	1076.98	296.52	717.72	1053.97
K ⁺	mg/l	41.97	45.01	48.73	39.7	45.97	49.059
Cl ⁻	mg/l	1846.35	1092.38	1905.18	614.11	1233.74	1839
SO ₄ ⁻²	mg/l	1973.63	1570.59	2001.14	743.6	1646.26	1848.17

IV.2.2 Représentation graphique et interprétation des résultats :

IV.2.2.1 Potentielle en pH :

Discussion :

L'histogramme montre une comparaison entre les résultats primaire et les résultats finals du pH obtenus après l'application de l'expérience, où l'on note que les résultats initial varient entre **6,8** et **7,43**, tandis que les résultats final varient entre **7,5** et **8,3**, ce qui indique une augmentation du pH des résultats final du primaire, et cette augmentation s'explique par

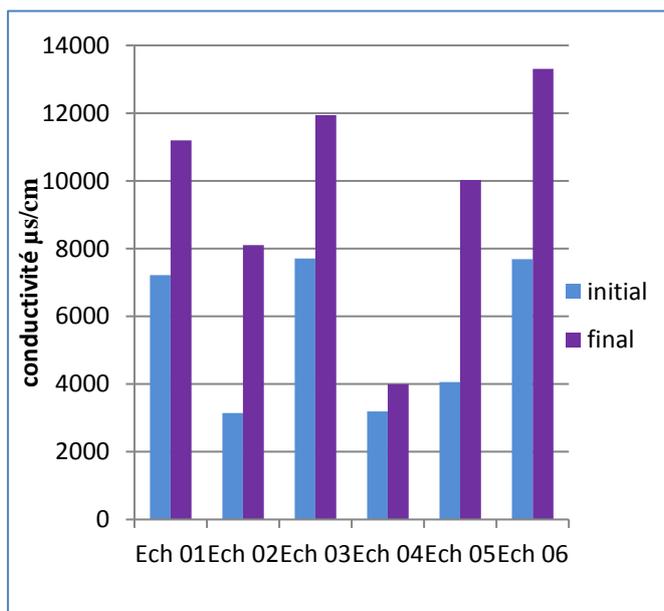


l'acquisition d'échantillons Pourcentages finaux de certains composés basiques

IV.2.2.2 La conductivité électrique CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :

Discussion :

L'histogramme montre une comparaison entre les résultats initiaux et les résultats de l'exposant final de la conductivité électrique obtenus après application de l'expérience, car on note que les résultats initiaux varient entre **3140** et **7710** ($\mu\text{s}/\text{cm}$), tandis que les résultats finaux diffèrent entre **3896** et **11940** ($\mu\text{s}/\text{cm}$), ce qui indique une augmentation des résultats finaux du primaire, cette augmentation s'explique

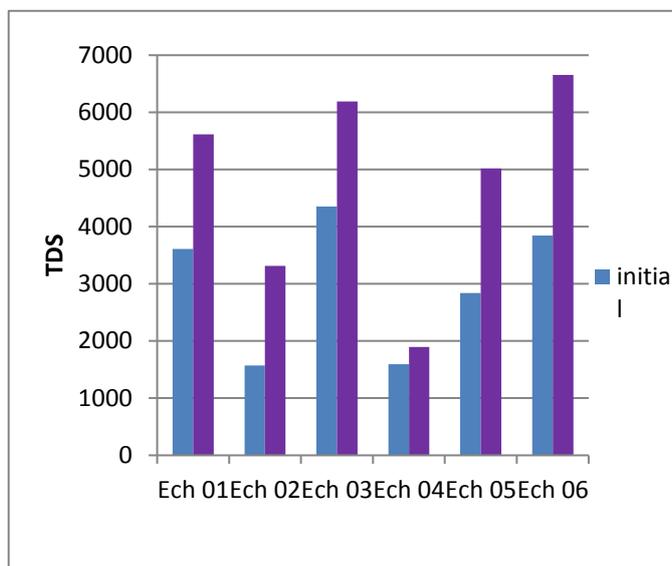


par la proportion plus élevée d'électrolytes dans les échantillons finaux en raison de leur acquisition

IV.2.2.3 Taux des sels dessous TDS (mg/l) :

Discussion :

L'histogramme suivantes représentent des résultats expérimentaux du TDS avant et après l'application de charbon actif sur des échantillons d'eau de forage, où l'on remarque que les résultats initiaux varient entre **1570** et **4355** (mg/l), tandis que les résultats finals varient entre **1895** et **6655** (mg/l), où l'on remarque que les résultats finals sont supérieurs au primaire, ce qui peut

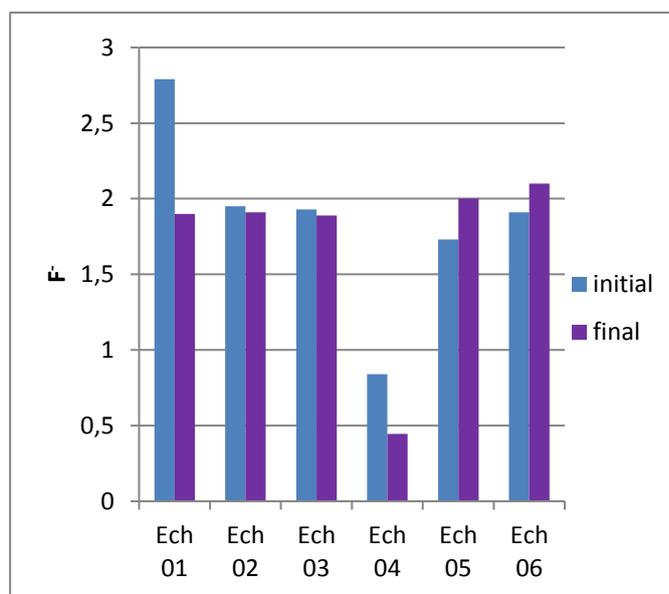


s'expliquer par le fait que les échantillons finaux ont obtenu des ions.

IV.2.2.4 Fluorure F⁻ (mg/l) :

Discussion :

L'histogramme suivante représente les résultats expérimentaux de l'élément fluor avant et après l'application de charbon actif sur les échantillons primaires, où les pourcentages initial variaient entre **0,84** et **2,79** (mg/l), tandis que les pourcentages final variaient entre **0,445** et **2,1** (mg/l), de sorte que chacun des échantillons **01**, **02**, **03** et **04** ont diminué dans les résultats final du primaire d'un rendement d'élimination maximale de **47,024%** , ce qui indique

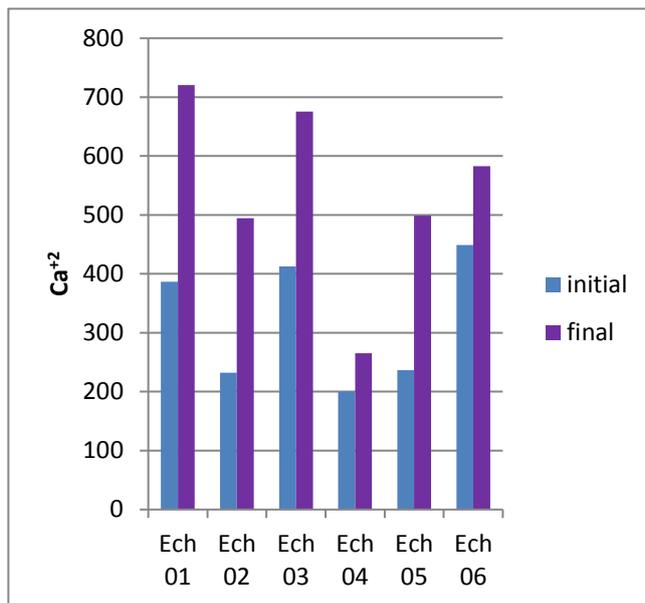


son élimination par le charbon actif quant aux échantillons **05** et **06**, c'est l'inverse, car sa concentration a augmenté à partir du primaire , ce qui pose la question de la différence des résultats malgré la similarité des conditions expérimentales. Ce problème nécessite une étude plus approfondie sur le protocole suivi et du charbon utilisé.

IV.2.2.5 Calcium Ca^{2+} (mg/l):

Discussion :

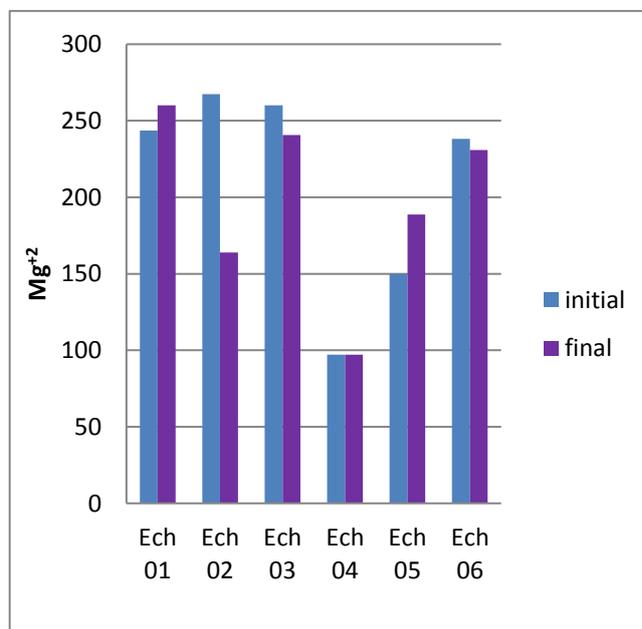
L'histogramme suivant montre l'évolution de la concentration en ions calcium avant et après l'application de charbon actif sur des échantillons d'eau brute, où les résultats initiaux variaient entre **204,05** et **448,89** (mg/l), tandis que les pourcentages finals variaient entre **265,05** et **720,47** (mg/l). Cela indique une forte concentration en tous les échantillons après l'application de l'expérience, ce qui confirme le gain de calcium.



IV.2.2.6 Magnésium Mg^{2+} (mg/l):

Discussion :

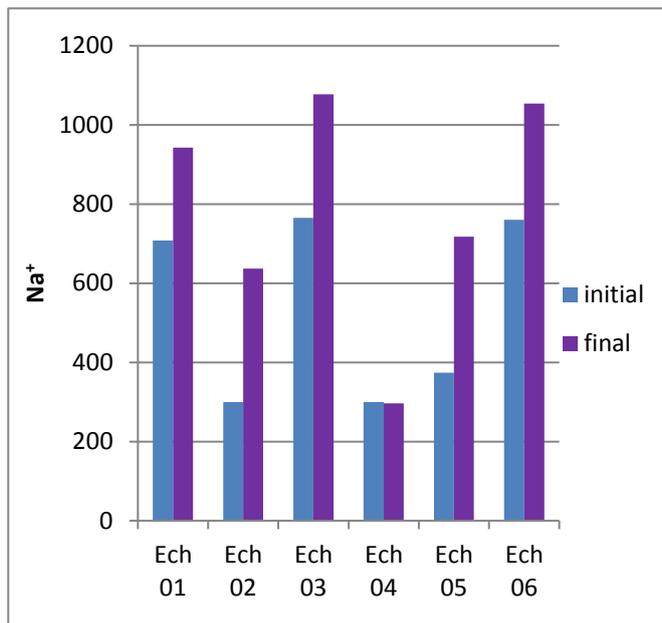
L'histogramme suivant représente les changements de concentration en ions magnésium avant et après l'application de charbon actif sur les échantillons d'eau brute, où les résultats initiaux se situent entre **97,2** et **267,3** (mg/l), tandis que les résultats finals variaient entre **97,23** et **259,97** (mg/l). Où nous avons remarqué une augmentation des concentrations finales dans chacun des échantillons 01 et 05, et une diminution dans chacun des 02, 03 et 06, et nous avons également remarqué que la concentration n'a pas changé dans l'échantillon 04.



IV.2.2.7 Sodium Na^+ (mg/l) :

Discussion :

L'histogramme suivant représente les changements de concentration d'ions Sodium avant et après l'application de charbon actif sur des échantillons d'eau brute, où les concentrations initiales variaient entre **300** et **765** (mg/l), tandis que les concentrations finales variaient entre **296.52** et **1076.98** (mg/l). On a constaté qu'il y avait une augmentation de la concentration en ions de Sodium dans les résultats finals de **28,9%** Pour

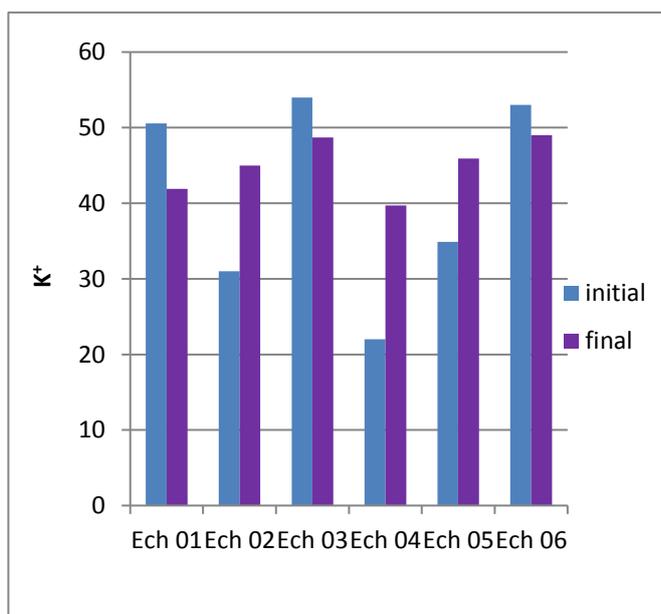


le primaire ces changements peuvent s'expliquer par le fait que les échantillons finaux ont gagné en ions sodium après application du protocole expérimental.

IV.2.2.8 Potassium K^+ (mg/l):

Discussion :

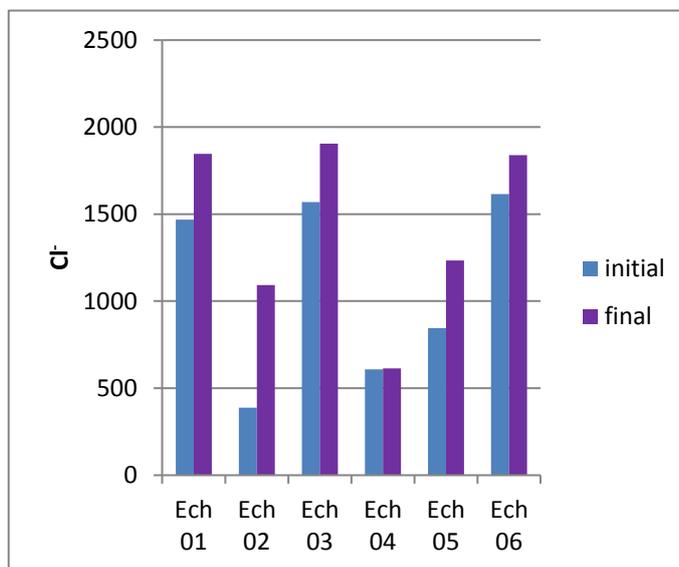
L'histogramme suivant représente les changements de concentration d'ions de Potassium avant et après l'application de charbon actif à des échantillons d'eau brute, où les concentrations initiales variaient entre **22** et **54** (mg/l), tandis que les concentrations finales variaient entre **39,7** et **49,05** (mg/l). On a constaté qu'il y avait une élévation de la concentration en ions de Potassium ce qui explique l'acquisition des échantillons final de ces ions après l'application du protocole expérimental.



IV.2.2.9 Chlore Cl^- (mg/l) :

Discussion :

L'histogramme suivant montre les changements de concentration des ions de Chlore avant et après l'application de charbon actif sur les échantillons initial d'eau brute, où les concentrations initiales variaient entre **388,48** et **1615,02** (mg/l), tandis que les concentrations finales variaient entre **614,11** et **1905,18** (mg/l). Résultats du relevé, il a été constaté qu'il y avait une élévation de la concentration en ions de

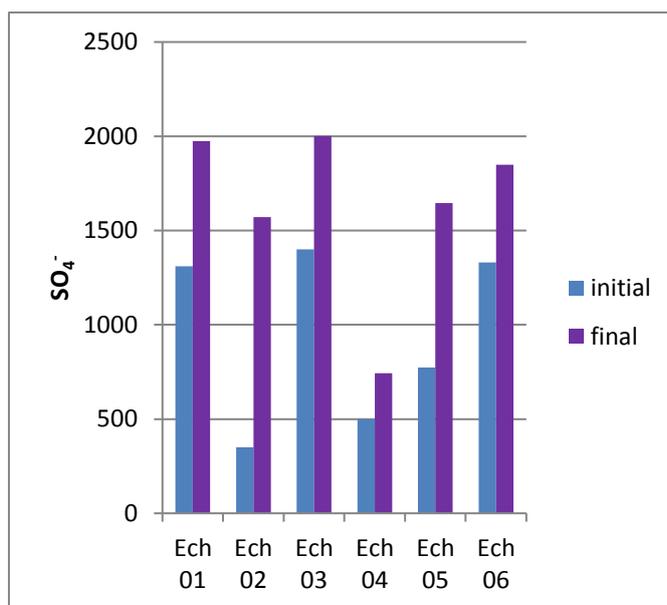


Chlore ce qui explique que l'application du protocole expérimental ait conduit à l'acquisition de ces ions.

IV.2.2.10 Sulfate SO_4^- (mg/l) :

Discussion :

L'histogramme suivantes représentent les résultats expérimentaux des ions sulfate avant et après l'application de charbon actif sur des échantillons d'eau brute, où l'on remarque que les résultats initiaux varient entre **350** et **1400** (mg/l), tandis que les résultats finaux varient entre **743,6** et **2001,14** (mg/l), où l'on note l'augmentation des résultats finaux du primaire de 56,8 %, ce qui est un record qui peut s'expliquer par les échantillons derniers errants obtenus grâce à l'expérience.



IV.3 Aspect hydrochimique :

Grâce aux données obtenues, le programme de diagrammes a été utilisé pour obtenir des résultats graphiques montrant la nature des échantillons d'eau prélevés dans la zone d'étude.

Dans cette étude, les 13 échantillons prélevés dans la zone d'étude ont été utilisés

IV.3.1 Le faciès chimique :

IV.3.1.1 Diagramme de piper :

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il permet également de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents.

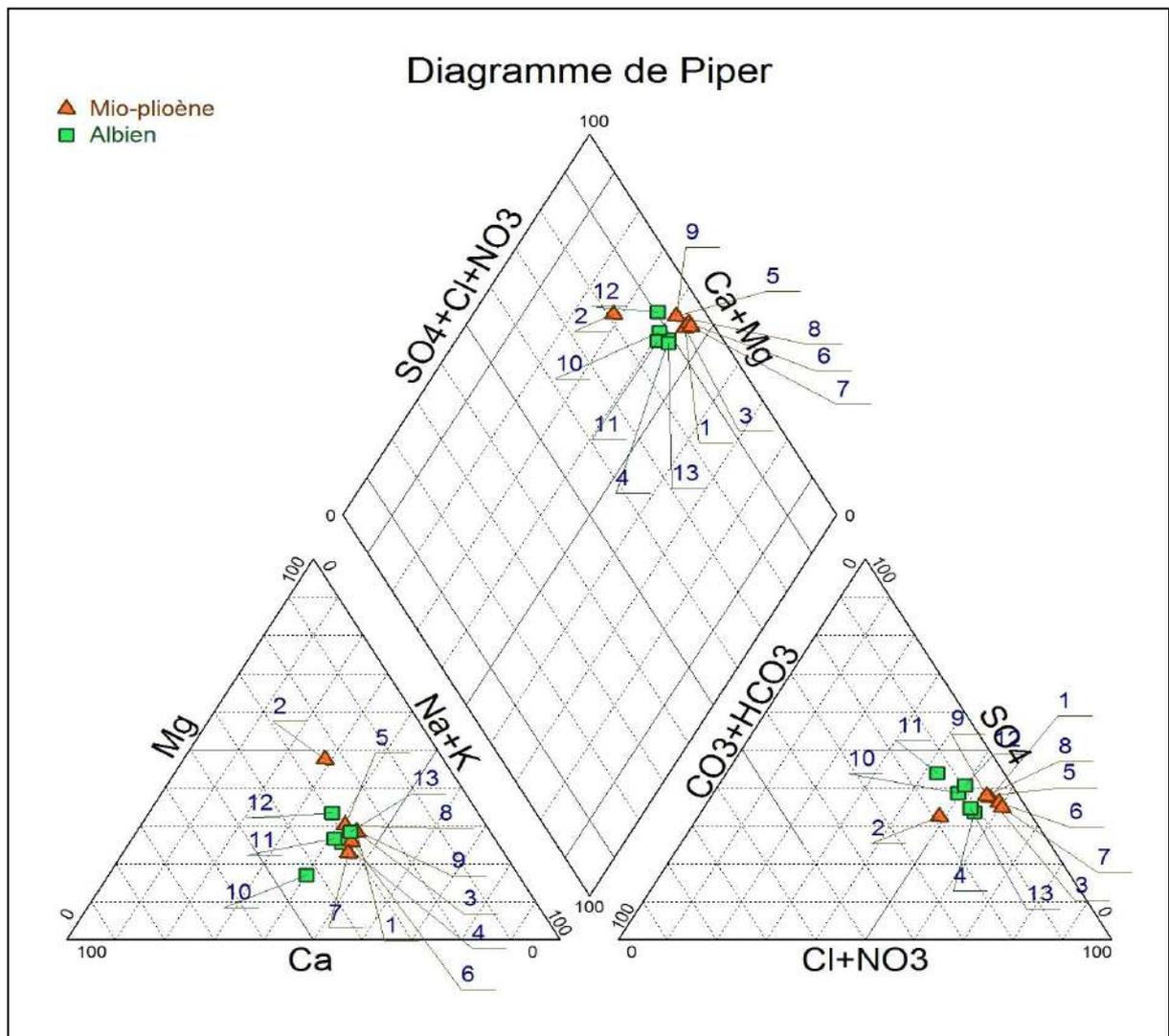


Figure IV-1: Représentation graphique des résultats initiale des échantillons dans le diagramme de piper

Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses. Le diagramme de Piper est composé de deux triangles et un losange. Les deux triangles (un triangle portant les cations et un autre les anions) sont d'abord remplis puis ensuite le losange. Les valeurs utilisées sont exprimées en % .meq/L (60).

IV.3.1.2 Interprétation des résultats :

A partir du diagramme de piper (Figure IV-1) nous remarquons que le faciès chimique dominant est le chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne dans tous les eaux prélevées.

Le faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien est typique des eaux souterraines dans les régions sahariennes (61). Ce faciès est caractérisé par une forte concentration de chlorure et de sulfate, ainsi que de calcium et de magnésium.

Les eaux de la région de Touggourt ont une tendance très remarquable vers la salinisation. Les cations magnésiens et calciques, marque la totalité des forages représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi la nature de ces eaux.

La présence de calcium et de magnésium peut indiquer une dissolution de la roche calcaire dans le sous-sol.

Il est important de surveiller les niveaux de ces composés dans l'eau, car une concentration élevée de chlorure peut avoir un impact sur la santé humaine, tandis que des concentrations élevées de sulfate peuvent causer des problèmes de goût et d'odeur de l'eau. De plus, une concentration élevée de calcium et de magnésium peut provoquer l'entartrage des canalisations, ce qui peut entraîner des coûts élevés de maintenance.

Le faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien est un indicateur de la qualité de l'eau souterraine dans les régions sahariennes. Bien que sa présence soit naturelle, il est important de surveiller les niveaux de ces composés dans l'eau pour assurer la qualité de l'eau potable et éviter les problèmes de santé.

IV.4 Distribution géospatiale des paramètres :

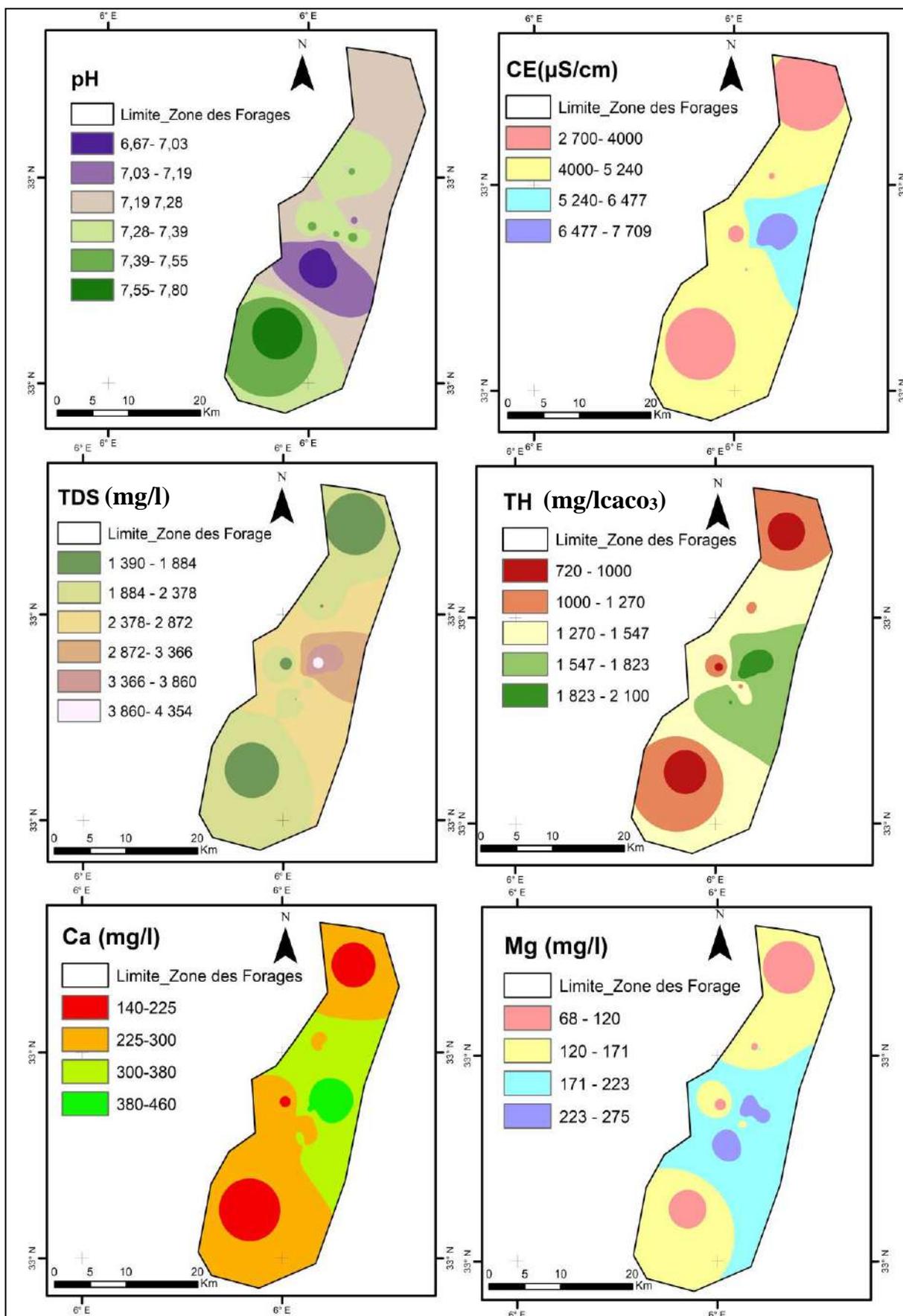
Dans cette étude, nous avons utilisé le logiciel Microsoft Excel pour calculer et incréer des données dans le logiciel Arcgis 10.8.2 pour préparer les cartes de distribution géospatiale des paramètres de qualité des eaux souterraines tels que la conductivité électrique (EC), le taux des sels dissous (TDS), le pH, les anions et les cations.

Les cartes de distribution géospatiale de tous les paramètres physiques et chimiques collectées pour cette étude ont été créées en utilisant la technique d'interpolation inverse (IDW) pour produire une base de données sur la qualité des eaux souterraines pour l'eau potable dans la zone d'étude (Figure IV-2 et Figure IV-3).

IDW (Inverse Distance Weighted) utilise une méthode d'interpolation qui estime les valeurs des cellules en faisant la moyenne des valeurs des points de données d'échantillon dans le voisinage de chaque cellule de traitement. Plus un point est proche du centre de la cellule à estimer, plus il a d'influence ou de poids dans le processus de calcul de la moyenne (62).

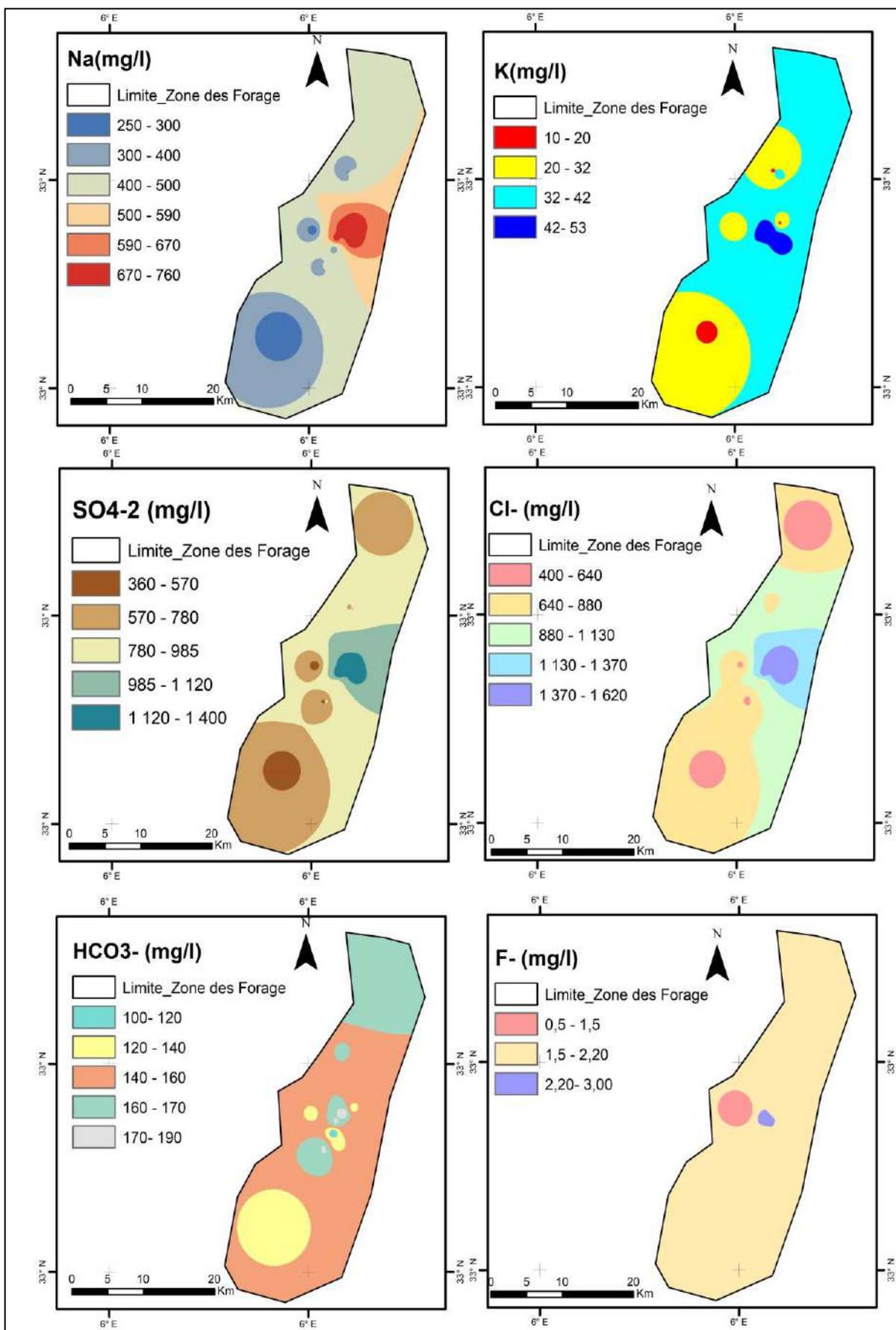
Ces cartes permettent d'évaluer la qualité des eaux souterraines et déterminer les meilleurs emplacements pour les nouveaux forages contenant le moins de polluants dangereux.

Chapitre IV : Résultats et Discussions



IV-2: distribution géospatiale pour le pH , la Conductivité, TDS, TH, Ca⁺² et Mg⁺²

Chapitre IV : Résultats et Discussions



IV-3: distribution geospatiale pour : Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- et F^-

IV.5 Conclusion :

Grâce à la bonne utilisation de toutes les ressources disponibles, des résultats scientifiques a été atteints pour cette étude, où l'accent a été mis sur deux types de résultats, dont le premier est l'étude de l'effet du charbon actif extrait du noyau d'olive dans l'élimination du fluorure, et le second est l'étude hydrochimique de l'eau de la ville de Touggourt.

Dans le premier aspect qui s'intéresse à l'élément fluor, il a été conclu que le rendement de cette méthode était faible à inexistant, car le rendement de cette méthode a atteint 47,02% comme valeur la plus élevée et -15.6 % comme valeur la plus faible, contrairement à ce qui était attendu, comme on l'a trouvé dans une précédente étude des deux étudiants (Labaier Zohra et Bouzidi Nasrine) menée sur de l'eau industrielle avec une concentration de 3 mg/l de fluor, le rendement d'élimination était de 72 %. Certains autres éléments qui étaient disponibles ont également été discutés, dans le but de savoir si ce charbon les affecte, notamment le pH, la conductivité et certains éléments chimiques.

Conclusion générale

V : Conclusion générale

Grâce à cette étude, l'un des composants les plus importants de l'eau potable a été identifié, qui est l'élément fluor. D'autres sources de celui-ci ont également été mentionnées, tels que les dattes, le thé et autres. L'élément fluor a un effet direct sur la santé humaine, qui peut causer la fluorose osseuse, la fluorose dentaire et autre maladies, Ces maladies apparaissent dans le cas où sa concentration dépasse 1,5 mg/L selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé.

Plusieurs méthodes courantes d'élimination du fluorure de l'eau ont été présentées, résumées en trois catégories : méthodes classiques, méthode membranaire et méthode électrochimique.

Se référant à une précédente étude dans laquelle du charbon actif extrait de noyaux d'olives était appliqué sur de l'eau industrielle, la décision a été prise d'appliquer cette méthode de charbon sur des échantillons d'eau de forage situés au niveau de la région de Touggourt.

Après avoir effectué plusieurs expériences nécessaires liées à cette étude grâce à l'application de charbon actif sur les échantillons, des résultats finaux distincts ont été obtenus indiquant la faible efficacité de cette méthode pour éliminer l'élément fluor. Cela indique la nécessité de mener des examens expérimentaux plus approfondis sur le protocole utilisé et le charbon utilisé en approfondissant ce sujet.

Grâce à la bonne exploitation des données obtenues pour les forage d'où les échantillons ont été prélevés, une étude hydrochimique de l'eau de la région a été réalisée grâce à l'exploitation de l'élément informatique représenté par le diagramme de piper, ce qui nous a donné une connaissance précise de la nature chimique de cette eau et nous a permis d'en obtenir le faciès chimique, et aussi le SIG a été exploité grâce au programme Arcgis, qui a enrichi le sujet de la recherche avec des informations précieuses grâce auxquelles nous avons pu connaître la distribution géospatiale des éléments chimiques qui affecte l'eau de la région d'étude.

Il est très possible que cette méthode ait un meilleur rendement, et cela dépend de la poursuite d'expériences plus scientifiques avec la disponibilité des conditions pour cela, dont la plus importante est le réactif Spadans, qui a limité les progrès de la recherche en raison de son manque de disponibilité

Bibliographie

VI : Bibliographie :

1. Momot, J. (). Le rôle du fluor dans le chimisme volcanique. Publications de la Société Linnéenne de Lyon.1964 et 330-334., 33(8) :
2. A. BenNasr, « Performances des procédés physico-chimiques et membranaires pour l'élimination des ions fluorure dans les eaux de forage : application aux eaux tunisiennes », Thèse de Doctorat, Université de Sfax, Tunisie, 2013.
3. Nekrassov B, Chimie minérale, Ed MIR, Moscou, 1969.
4. Rodier J., et Coll., (2005) L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition, Paris, pp. 219 - 310.
5. 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.
6. Environnement Canada, Canada Water Quality, guidelines for the protection of. 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, environnemental quality branch, Environnement Canada, 2001.
7. WHO, 2006,fluoride in drinking water, IWA Publishing, London,.
8. O'Donnell, T. A. The Chemistry of Fluorine: Pergamon Texts in Inorganic Chemistry. Elsevier. 2016.
9. Chapa, L., Surani, S., & Varon, J. (). Management of hydro fluoracidin jury in the emergency department and critical care units. Crit Care Shock. 2009 et 117-119., 12:.
10. Aigueperse, J., Mollard, P., Devilliers, D., Chemla, M., Faron, R., Romano, R., &Cuer, J. P. Fluorine compounds, inorganic. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry 2000.
11. Klein, Cornelis, Hurlbut, Cornélius Searle et Dana, James Dwight, Manuel de minéralogie (21 éd.), Wiley. 1999.
12. West, N. X., He, T., Macdonald, E. L., Seong, J., Hellin, N., Barker, M. L., &Eversole, S. L. Erosion protection benefits of stabilized SnF2 dentifrice versus an arginine–sodium mono fluoro phosphate dentifrice: results from in vitro and in situ clinical.
13. Bassin, E. B., Wypij, D., Davis, R. B., & Mittleman, M. A. (). Age-specific fluoride exposure in drinking water and osteosarcoma (United States). Cancer Causes & Control. 2006 et 421-428., 17(4):421-428.
14. Anderson, B., Peyster, A. D., Gad, S. C., Hakkinen, P. J., & Kamrin, M. Encyclopedia of toxicology. Academic Press. 2005.

VI : Bibliographie

15. Sorsby A, Harding R Oxidizing agents as potentiators of the retinotoxic action of sodium fluoride, sodium iodate and sodium iodoacetate. 1966 et :997–998., 210.
16. Tressaud A and Haufe G. Fluorine and Health, Molecular Imaging Biomedical Materials and Pharmaceuticals Edition. Elsevier B.V. 2008.
17. Mazet, Pierre. Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde. 2002.
18. World Health Organization. Fluorides and oral health: report of a WHO Expert Committee on Oral Health Status and Fluoride Use [meeting held in Geneva from 22 to 28 November 1993]. World Health Organization. 1994. .
19. Fawell JK et al. Fluoride in Drinking-water; Guidelines for Drinking-water Quality, (WHO). 2004 .
20. Ruan, J; Wong. M.H. Accumulation of fluoride and aluminum related to different varieties. 2001. .
21. WALDBOTT, GEORGE L. "Fluoride in food." The American Journal of Clinical Nutrition. 1963; 12(6): 455-462.
22. C. Guilleux, É. Kochoni, P.G.C. Campbell, J-F. Blais et C. Fortin, « Géochimie et.
23. Evens E., Pierre N., Régine L., Gérard-Alain M, Détermination de la dose optimale de fluor de l'eau destinée à la consommation humaine de la région hydrographique Centre Sud de la république d'Haïti, volume12, N°2,.
24. G. Guimard, « La fluorose dentaire : données actuelles et évaluation », Thèse de.
25. T. Romain, « Le fluor : action, toxicités et sources », Thèse de Doctorat, Université de.
26. 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.
27. Cutress T. W. (1990) Differentiel diagnostic of dental fluorosis. J. Dent. Res.63: 714–720.
28. Arbab Chirani R., Foray H, (2005) Fluorose dentaire : diagnostic étiologique Archives de pédiatrie 12, , p. 284–287.
29. H. Lounici, L. Adour, H. Grib, D. Belhocine et N. Mameri, « Le fluor dans l'eau potable et la fluorose », Laboratoire des Biotechnologies Environnementales, Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach, Algérie, 2000.
30. Saoud D, Etude de l'effet des dérivés organiques sur la formation de lithiase urinaire dans la région du sud –est Algérien, Thèse de Magister, Université de Ouargla, 2009.
31. D.D.A.S.S, d'ile de France, service santé Environnement, septembre 2000.

VI : Bibliographie

32. Djelloul, Zidane, et al. "Lithiase urinaire dans l'Ouest algérien: étude de la composition de 1354 calculs urinaires en relation avec leur localisation anatomique, l'âge et le sexe des patients." *Progrès en urologie* 16.3 (2006): 328.
33. R.C, Meenakshi, Maheshwari, Fluoride in drinking water and its removal, *Journal of Hazardous Materials B137*. 2006, pp et 456–463.
34. OMS, (1985) Critères d'hygiène de l'environnement³⁶, fluor et fluorures, OMS, Genève.
35. Gouvernement de Québec .Règlement sur la qualité de l'eau potable, IRQ4., c. Q-2, r.18.1.1, 2001.
36. "Fluoride in Drinking-water" par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).
37. F. Bouamra, « Déphosphatation des eaux par de nouveaux procédés », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach, Algérie, 2018.
38. G. Linquette, « Production, qualité, gestion et prix de l'eau potable : application à la ville de Nantes », Thèse de Doctorat, Université de Nantes, France, 2003.
39. Raymond Desjardins, Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 1997, pp; 182-238.
40. Srimurali S., Pragathi A., Karthikeyan J. A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials, *Journal, Environ. Pollution*, 1998, pp; 99, 285- 290.
41. Achour S., Youssef L, Excès des fluorures dans les eaux du Sahara Septentrional oriental et possibilités de traitement, *Rev. L'eau, L'industrie, les Nuisances*, Ed. Johanet, France, 2001, pp; 6, 47- 54.
42. Barbier J. P., Mazounie P. méthodes d'élimination des fluorures, *Filtration sur alumine activée : Un procédé de choix, congrès de Monastir*. 1984.
43. Padmasiri J.P., Fonseka W.S.C.A., Liyanapatabendi T. Low cost fluoride removal by upward flow household filter, advanced water treatment and integrater water system management into the 21 St century, Ed. Masson, France, 1995.
44. Degrémont. *Mémento technique de l'eau*, Ed. Degrémont, Paris. 1989.
45. D.D.A.S.S, d'ile de France, service santé Environnement, septembre 2000.
46. A. Ratier, « Évaluation de la capacité d'échange d'ions des fibres ligno-cellulosiques phosphorylées », Thèse de Doctorat, Université de Québec à Trois-Rivières, Canada, 2017.
47. 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.

VI : Bibliographie

48. 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.
49. M. Pontié, J-C. Schrotter, A. Lhassani et C. K. Diawara, « Traitement des eaux destinées à la consommation humaine - Elimination domestique et industrielle du fluor en excès », Revue Fluor et environnement, N° 301-302 (2006) 2-8.
50. M. J. Bunch, V. M. Suresh et T. V. Kumaran, « Fluoride and environment- a review », Procédure de la troisième conférence internationale sur l'environnement et la santé, Université de Madras, Inde, 2003.
51. C. Sagne, « Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse. Application au recyclage des condensats issus de la concentration des vinasses de distilleries », Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, France, 2008.
52. M. Zarouki, « Etude de l'adsorption dans un système liquide - solide : solution d'ion dicyanoaurate - charbon actif », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1990.
53. D. G. M. Ahoulé, « Performances comparatives des techniques de nanofiltration et d'osmose inverse pour le traitement d'eau de consommation contaminée à l'arsenic au Burkina Faso », Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, France, 2016.
54. G. Génin, « L'électrodialyse et ses applications dans l'industrie laitière. Le Lait », Supplément Technique, 43(427) (1963) 394-401.
55. H. Dach, « Comparison of nanofiltration and reverse osmosis processes for a selective desalination of brackish water feeds », Thèse de Doctorat, Université d' Fès, Maroc, 2008.
56. M. Ziati, « Adsorption et électrosorption de l'arsenic (III) sur charbon à base de noyaux de dattes activés thermiquement et chimiquement », Thèse de Doctorat, Université de Annaba, Algérie, 2012.
57. M. Bennajah, « Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation /électroflotation en réacteur airlift », Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France, 2007.
58. scientificsentence. *scientificsentence*. [En ligne] [Citation : 19 05 2023.] <https://scientificsentence.net/Equations/Chimie2/index.php?key=yes&Integer=verrierie>.
59. chimactiv. *chimactiv*. [En ligne] [Citation : 19 05 2023.] <http://chimactiv.agroparistech.fr/fr/bases/materiel/materiel/16#:~:text=Une%20fiolle%20jaug%C3%A9e%20est%20un,du%20col%20de%20la%20fiolle..>
60. techno-science. *techno-science.net*. [En ligne] [Citation : 29 05 2023.] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Hydrochimie-page-2.html>.

VI : Bibliographie

61. Messaitfa A () Floride contens in groundwater and the main consumed foods in Southern Algeria region. Environmental Geology. 2007;55: 377-383.

62. ArcGIS PRO. *pro.arcgis.com*. [En ligne] [Citation : 31 05 2023.]

[https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/comparing-interpolation-](https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/comparing-interpolation-methods.htm#:~:text=Interpolation%20predicts%20values%20for%20cells,noise%20levels%2C%20and%20so%20on..)

[methods.htm#:~:text=Interpolation%20predicts%20values%20for%20cells,noise%20levels%2C%20and%20so%20on..](https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/comparing-interpolation-methods.htm#:~:text=Interpolation%20predicts%20values%20for%20cells,noise%20levels%2C%20and%20so%20on..)