

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES



Département de :SCIENCES APLIQUE

C:.....
R:.....

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master, Filière:Hydraulique

Spécialité : Traitement épuration et gestion d'eau

Thème:

**Défluoruration des eaux par
précipitation en utilisant la chaux
et sulfate de magnésium**

Présenté par :

- ❖ **Boulifa Ibtihal**
- ❖ **Bachiri Asma**

Soumis au jury composé de :

président :	M. Kateb Samir	M.C.A	Université Ouargla
Examineur :	M. Mekhloufi Nabil	Doctorant	Université Ouargla
Promoteur :	M. Baouia Kais	M.C.A	Université Ouargla
Co-promoteur :	M. Kadri abdelaziz	Doctorant	Université Ouargla

Année Universitaire: 2019 / 2020

Dédicace

A mes parents

A mes frères et soeurs

A ma famille

A mes amis

A tous ce qui me sens chère

Je dédie ce modeste travail



Ibtihal, Asma

REMERCIEMENT

Je remercie tout d'abord mon dieu pour pouvoir m'aider et m'encourager pour compléter ce modeste travail.

*Je souhaite adresser ici mes chaleureux sentiments de gratitude et de remerciement à mon Encadreur **M. BAOUIA Kaïs** et le Co-encadreur **M. kadri abdelaziz***

Tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en Acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur bienveillante attention. Je tiens aussi à exprimer mes profonds sentiments de gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Les travaux de recherche qui font l'objet de ce mémoire ont été réalisés grâce à la laboratoire de Centre scientifique de recherche .

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Ibtihal, Asma



ملخص:

في الجنوب الجزائري مرض الفلوروز (Fluorose) المصنف بالصامت يؤدي إلى تسوس الأسنان وهشاشة في العظام إذا فاق تركيز الفلور (F^-) 1.5 مغ/ل.

يهدف البحث إلى معالجة تركيز أيون الفلور في مياه الشرب ، باستعمال طريقة الترسيب بالجير $Ca(OH)_2$ وكبريتات الماغنيزيوم $MgSO_4$ ، بينت النتائج أنه عند إضافة 450 مغ/ل من الجير و 50 مغ/ل من كبريتات الماغنيزيوم $MgSO_4$ ، حيث انخفض تركيز الفلوريد من 3.28 إلى 1.48 مغ/ل، أما طريقة الترسيب بالجير وحده ، فلين النتائج ضعيفة جدا ولم يتعدى مردود المعالجة 15%.

بالإضافة إلى الجانب الإقتصادي فلين طريقة الترسيب بالجير $Ca(OH)_2$ و كبريتات الماغنيزيوم $MgSO_4$ هي مرشحة بالأفضلية لاستعمالها في معالجة المياه.

كلمات مفتاحية: فلوريور، مياه، جنوب، الجير، كبريتات الماغنيزيوم، معالجة، الكالسيوم.

Résumé :

Au Sud Algérien, la Fluorose est une maladie silencieuse surtout dans la wilaya de Ouargla, engendre de la carie dentaires et de la fragilité des os si la teneur en ions fluorure est $> 1,5$ mg/L.

Cette recherche à pour objective de réduire la concentration d'ions de fluorure dans l'eau potable ; en utilisant le procédé par sédimentation chimique avec la chaux et sulfate de magnésium $MgSO_4$. Les expériences montrent

Que Lors de l'ajout 450 mg/l de la chaux et 50mg/l de sulfate de magnésium $MgSO_4$. La concentration d'ions Floride a diminué de 3.28 à 1.48 l/mg, et la méthode de sédimentation par la chaux et seulement est très faible (rendement de 15%).

En plus de l'aspect économique, la méthode par sédimentation avec la chaux et sulfate de magnésium $MgSO_4$.est le meilleur procédé pour défloquer l'eau.

Mots clés: Fluorure, Eaux, Sud, Chaux, Sulfate de magnésium, Traitement, Calcium.

Summary:

In southern Algeria, the fluoresce disease, classified as silent, leads to tooth decay and osteoporosis if the fluorine concentration exceeds (F) 1.5 mg / l.

The research aims to treat the fluorine ion concentration in drinking water, using.

Precipitation method with lime $Ca(OH)_2$ and $MgSO_4$ magnesium sulfate.

The results show when adding 450 mg / l of lime and 50 mg / l of magnesium sulfate, the fluoride concentration decreased from 3.28 to 1.48 mg / l.

And the method of depositing with lime alone, the results are very weak, the treatment yield did not exceed 15%.

In addition to the economic aspect, the sedimentation method of $Ca(OH)_2$ lime and magnesium sulfate $MgSO_4$ is preferred for use in water treatment

Keywords: Fluoride, Water, South, Lime, Magnesium sulfate, Treatment, Calcium.

Tableaux des Materiel

Titre	Page
Dedicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figure	
Liste des photo	
Liste des Abréviations	
Introduction générale	1
CHAPITRE I PROPRIETES GENERALES DES EAUX	
I.1 Introduction	3
I. 2 Propriétés de l'eau	3
I.2.1. Propriétés physiques	3
I .2.1.1 La température d'ébullition	3
I.2.1.2 La masse volumique	4
I.21.3 La viscosité	4
I.2.1.4 La tension superficielle	4
I.2.1.5 La conductivité électrique	4
I.2.2. Propriétés chimiques de l'eau	4
I.3 Ressources hydriques naturelles	5
I.3 .1. Eaux souterraines	5
I.3.2 Propriétés biologiques de l'eau	5
I.3 .3. Eaux de surface	5
I.3.4. Eaux de mers et océans	6
I.4 Pollution des eaux	6
I.4.1. Origine de la pollution	7
I.4.1.1 L'industrie	7
I.4.1.2 L'agriculture	7
I.4.1.3 Pollution domestique	7
I.4.1.4 Pollution par les eaux pluviales	7
I.4.1.5 Pollution d'origine naturelle	7
I.4.1.6 Pollution par les substances associées au traitement de l'eau	7
I.4.2. Les principaux polluants des eaux naturelles	8
I.4.2.1 Polluants physiques	8
I.4.2.1.1 Les éléments grossiers	8
I.4.2.1.2 Les sable	8
I.4.2.1.3 Les matières en suspension (MES)	8
I.5. Les paramètre de qualité des eaux	8
I.5.1. Les paramètres organoleptiques	8
I.5.1.1 Turbidité	8
I.5.1.2. La couleur	9

I.5.1.3. Goût et odeur	9
I.5.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau :	10
I.5.2.1. La température	10
I.5.2.2. La dureté	10
I.5.2.3. Le pH	11
I.5.2.4. L'alcalinité	11
I.5.2.5. La conductivité	12
I.5.2.6. Sodium et potassium	12
I.5.2.7. Les chlorures	12
I.5.2.8. Les sulfates	12
I.5.3. Les paramètres indésirables	13
I.5.3.1 Les matières organiques	13
I.5.3.1.1 L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO ₄)	13
I.5.3.1.2 Absorbance UV 254 nm	13
I.5.3.1.3 Le carbone organique total (COT)	13
I.5.3.1.4 La demande chimique en oxygène (DCO)	14
I.5.3.1.5 La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	14
I.5.3.2 L'azote	15
I.5.3.3 Certains métaux	15
I.5.4. Les paramètres toxiques	16
I.5.5. Les caractéristiques biologiques	16
I.6. Conclusion	18
CHAPITRE II	
HYDROCHIMIE ET QUALITE DES EAUX PARTIES	
II.1 Introduction	20
II.2 Les Propriétés et la structure de l'eau	20
II.3 La Structure de la molécule de l'eau	20
II.4 Les caractéristiques de l'eau potable	20
II.4.1. Les Caractéristiques Organoleptiques	20
II.4.1.1 La Couleur	21
II.4.1.2 L'odeur	21
II.4.1.3 La Saveur	21
II.5 Les caractéristiques Physico-chimiques de l'eau	22
II.5.1 Les caractéristiques physiques	22
II.5.1.1 La Température	22
II.5.1.2 Le PH	22
II.5.1.3 La Conductivité	22
II.5.1.4 Les Matières en suspension (MES)	23
II.5.1.5 La Turbidité	23
II.5.1.6 L'Oxygène dissous	24
II.5.2 Les caractéristiques chimiques	24
II.5.2.1 La Dureté totale ou Titre hydrométrique (<i>TH</i>)	24
II.5.2.2 L'Alcalinité (<i>TA – TAC</i>)	24
II.5.2.3 Le Chlorure	25
II.5.2.3 Les Sulfate	25

II.5.2.4 Les Nitrates NO ₃	26
II.5.2.5 Les Nitrites NO ₂	26
II.5.2.6 La DBO ₅ (Demande biochimique en oxygène)	27
CHAPITRE III GENERALITES SUR LE FLUOR	
III.1. Introduction	29
III.2 Carte d'identité	29
III.3 Caractéristiques physiques	29
III.4 Caractéristiques chimiques	30
III.5 Sources de fluor	31
III.5.1 Sources naturelles	31
III.5.2 Les sources anthropiques	32
III.6 Chimie du fluor dans les eaux	33
III.6.1 Les eaux souterraines	33
III.6.2 Les eaux de surface	34
CHAPITRE IV MATERIEL ET METHODES	
IV .1 Introduction	36
IV .2 Matériels utilisez	36
IV .3 Principe	36
IV .4 Prélèvement	36
IV .5 Préparation d'échantillon initial	37
IV.6 L'addition de la chaux [Ca ₂ (oh)]	37
IV.7.L'addition de la chaux [Ca ₂ (oh)] +50mg/l] de sulfate de magnésium	38
IV.8 L'addition de la chaux [Ca ₂ (oh)] + 150mg/l de sulfate de magnésium	38
IV.9 La mesure de fluor	39
IV.10 Conclusion	40
CHAPITRE V. RESULTATS ET DISCUSSION	
V.1 Introduction	42
V.2 Propriétés physico-chimiques après traitement à la chaux [Ca (OH) 2	42
V.3 Propriétés physiochimiques de la chaux (Ca (OH) 2) et 50 mg de sulfate de magnésium (MgSo ₄)	44
V.4 Propriétés physiochimiques de la chaux (Ca (OH) 2) et 150 mg de sulfate de magnésium (MgSo ₄)	46
V.5 Conclusion	49
conclusion générale	51
Références bibliographiques	53

Liste des tableaux

TableauN°	Titre	page
-----------	-------	------

1	Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines	6
2	Principales maladies transmises par l'eau	17
3	quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.	22
4	Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).	23
5	qualité de la DBO 5 (Demande biochimique en oxygène)	27
6	Principales caractéristiques physiques du fluor	29
7	Propriétés physiques et chimiques du fluor	30
8	Caractéristiques physiques de certains composés de fluorure	32
9	les valeurs de la conductivité électrique et le PH et concentration de fluor des échantillons étudiés Lors de l'ajout de chaux seule.	42
10	les valeurs de la conductivité électrique et le PH et concentration de fluor des échantillons étudiés Lors de l'ajout de chaux seule+50 mg de sulfate de magnésium MgSO ₄ .	44
11	les valeurs de la conductivité électrique et le PH et concentration de fluor des échantillons étudiés Lors de l'ajout de chaux seule+150 mg de sulfate de magnésium MgSO ₄ .	45

Liste des figure

Figure N°	Titre	page
1	Forme du carbone dans une eau naturelle	14
2	Structure de la molécule de l'eau	20
3	La variation de PH en fonction de Ca (OH) 2	43
4	La variation de la conductivité en fonction de Ca(OH) ₂	43
5	Les valeurs de PH changent avec la valeur de chaux Ca (OH) ₂ 50mg (MgSo ₄ +	45
6	(la valeurs de conductivité électrique avec la valeurs de chaux Ca(OH) ₂ +50mg(MgSo ₄	45
7	150mg(MgSo ₄ + Les valeurs de PH changent avec la valeur de chaux Ca (OH) 2	47
8	(la valeurs de conductivité électrique avec la valeurs de chaux Ca(OH) ₂ +150mg(MgSo ₄	47
9	Eliminatgion du F- en fonction du Ca(OH) ₂ et MgSO ₄	48

Liste des photos

Photos N°	Titre	Page
1	PH -mètre et conductivité-mètre	44
2	Une balance électrique	45
3	Agitateurs magnétiques	46
4	bouteilles plastique	47
5	le spectrophotometer	48

Liste des Abréviations

COT	Le Carbone Organique Total
-----	----------------------------

CT	Carbone Total
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
EDTA	Ethylène Diamine Tétra Acétique
FTU	Formazine Turbidity Unit
JTU	Jackson Turbidity Unit
MES	Matières En Suspension
MO	Matières Organiques
NO3	Nitrates
NO2	Nitrites
NTU	Néphélobimétrie Turbidité Unit
OMS	Organisation Mondial de la Sante
SPC	Sous-Produits de Chloration
TA	Titre Alcalin
TAC	Titre Alcalin Complet
TH	Titre Hydrométrique
THM	Trihalométhanes
UCV	Unité de Couleur Vraie



Introduction

Introduction générale

Introduction générale

Si les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} ,...) sont présents en quantité relativement importante dans l'eau et les aliments et leurs présences sont nécessaires pour la santé humaine. Les oligo-éléments, le fluor en particulier est indispensable en faible quantité. Il est bénéfique à faible dose, indispensable à la croissance et au maintien du tissu osseux et des dents et en prévenant la carie dentaire, il présente, en effet un risque de fluorose dentaire et squelettique si sa teneur dépasse les niveaux admissibles (1,5 mg/l). En effet, à partir de 0,5 mg/L, une eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/L, le risque de fluorose débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/L. La norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/L pour des températures de 12 à 25 °C (Pontie et al. 1996).

La fluorose (dentaire et osseuse) est la pathologie la plus répandue dans le monde, elle continue également d'être un problème de santé publique en Afrique du Nord. Au sud Algérien, nous assistons à une fluorose "silencieuse" parmi les citoyens (Messaitfa, 2007). Les eaux souterraines et les aliments consommés semblent à l'origine de cette fluorose (Messaitfa, 2007). A l'exception des travaux de Safer (2006) et Messaitfa (2007) qui ont permis de déterminer un bilan partielle de la teneur en fluorure consommé par la population des principales régions de sud Algérien, aucun bilan complet n'est dressé pour quantifier les apports de fluorure dans ces régions arides. Par ailleurs, les conditions climatique aride (> 40°C en été), induit une forte transpiration du corps humaine et par conséquence, il semble (Messaitfa, 2007) que les normes de potabilité des eaux vis-à-vis du fluorure préconisé par l'OMS (1,5 mg/l) est loin d'être appliquée dans telle condition..

L'objectif de ce travail est de connaître la teneur de fluor dans les eaux de la region d'Ouargla et la possibilité de les défluorurées. Les traitements des eaux ont été réalisés par deux techniques : la première technique est la précipiter par la chaux $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ et le du sulfate de magnésium $[\text{Mg}(\text{so}_4)]$.

Ce mémoire est reparti sur cinq chapitres :

CHAPITRE I :Proprietes generales des eaux

CHAPITRE II : Hydrochimie et qualité des eaux parties

CHAPITRE III :Généralités sur le fluor

CHAPITRE IV : Matériel et Méthodes

CHAPITRE V :Résultats et discussion

An orange scroll graphic with a gradient from light to dark orange, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight shadow.

**CHAPITRE I
PROPRIETES
GENERALES DES EAUX**

propriétés générales des eaux

I.1 Introduction

De toutes les planètes du système solaire, la terre est la seule à être pourvue d'une hydrosphère. Celle-ci recouvre plus de 70 % de sa superficie . Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs: les océans (l'hydrosphère), l'atmosphère et le sol (lithosphère).

La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère chauffée s'évapore, conduisant à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, suite à un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se retrouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur la lithosphère à la surface. Le fonctionnement de ce système conduit à définir différents types d'eau, d'usage et de composition on différents .

Sous la pression des besoins considérables, on est passé de l'emploi des eaux de source et de nappe à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. Parallèlement se sont développées les recherches des eaux souterraines, les méthodes de recyclage et maintenant on se préoccupe de plus en plus du dessalement de l'eau de mer. Ces trois types d'eau constituent une source importante pour la satisfaction des besoins en eau potable.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain. Cette dernière peut être causée par des microorganismes, des substances toxiques des contaminants biogénétiques (engrais), de la matière organiques... etc. Ces éléments sont soit naturellement présents dans l'environnement, soit le résultat des activités humaines, d'une façon ou d'une autre, la qualité de l'eau potable est alors dégradée.

I. 2 Propriétés de l'eau :

Sur la terre, l'eau existe dans les trois états phases: liquide (eau proprement dite), solide (glace) gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre: eau- glace, eau-vapeur, glace-vapeur selon les conditions de température et de pression .

I.2.1.Propriétés physiques :

Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possibles entre les molécules d'eau. Nous signalons brièvement quelques propriétés physiques de ce liquide:

I .2.1.1 La température d'ébullition :

Anormalement élevée, si on la compare avec celle des composés de masse moléculaire du même ordre et possédant plusieurs atomes d'hydrogène. Dans les conditions normales elle est 100°C.

I.2.1.2 La masse volumique :

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous.

L'eau a une masse volumique de 1000 kg/m³.

I.2.1.3 La viscosité:

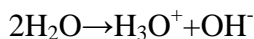
Elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures .

I.2.1.4 La tension superficielle :

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. Elle est extrêmement élevée .

I.2.1.5 La conductivité électrique :

L'eau est légèrement conductrice. Cette conductivité très faible, mais jamais nulle est expliquée par une légère dissolution de la molécule d'eau selon l'équation chimique:



Elle est exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$

I.3.2. Propriétés chimiques de l'eau :

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.

La solvation (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre, pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau, et forger ainsi des nouvelles structures: il se produit une véritable réaction chimique (une solvation complète est une dissolution).

I.3.3 Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants . Il existe un cycle biologique ; cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges ; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants.

Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales.

I.3 Ressources hydriques naturelles :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.

I.3 .1. Eaux souterraines :

Du point de vue hydrogéologique, les couches aquifères se divisent en :

I.3.1.1 Nappes phréatiques ou alluviales: peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

I.3.1.2 Nappes captives:

plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

I.3 .2. Eaux de surface :

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement.

Le tableau I.1 donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau I.1 Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines.

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
Minéralisation globale Fer et Manganèse dissous	Variable en fonction Des terrains, des précipitations, des rejets Généralement absents	Sensiblement Constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région Généralement présents
nitrate	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée

<p>Micropolluants minéraux et organiques Eléments vivants</p>	<p>Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source Bactéries, virus</p>	<p>Généralement Absents mais une pollution accidentelle Subsiste beaucoup plus Longtemps Ferro bactéries fréquentes</p>
---	---	---

I.3.3. Eaux de mers et océans :

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau. Elles représentent près de 97.4 % du volume d'eau existant actuellement sur notre planète. Le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi «eaux saumâtres», ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement .

I.4 Pollution des eaux

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulée de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversées. Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

I.4.1. Origine de la pollution

I.4.1.1 L'industrie :

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme .

Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration.

I.4.1.2 L'agriculture :

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures. Ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration

I.4.1.3 Pollution domestique :

Nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable, de germes pathogènes et de produits chimiques .

I.4.1.4 Pollution par les eaux pluviales :

Il ne faut pas oublier par ailleurs la pollution générée par les eaux pluviales. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles).

I.4.1.5 Pollution d'origine naturelle :

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes.

I.4.1.6 Pollution par les substances associées au traitement de l'eau :

La chloration de l'eau dans le but de la rendre potable est un procédé très répandu et reconnu efficace. La chloration est même considérée par les experts comme étant l'une des plus importantes initiatives de santé publique du XXe siècle. Cependant, bien qu'il soit efficace pour contrôler principalement les virus et les bactéries. Le chlore, en présence de matières organiques, entraîne la formation de plusieurs sous-produits de chloration (SPC) potentiellement cancérigènes comme par exemple les trihalométhanes (THM). Le sulfate l'eau. L'eau ainsi traitée présente des concentrations d'aluminium plus élevées que dans l'eau non traitée. La toxicité de l'aluminium a été étudiée en relation avec la maladie d'Alzheimer qui influe sur la mémoire et le comportement des personnes atteintes.

I.4.2. Les principaux polluants des eaux naturelles :

I.4.2.1 Polluants physiques:

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

I.4.2.1.1 Les éléments grossiers : Leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simples grilles. Dans les eaux de surface, ces éléments sont généralement : les brindilles, les feuilles, les arbres...etc.

I.4.2.1.2 Les sable: Les sables sont des particules minérales d'une certaine dimension. Ils sont généralement à base de silice ou de composition minérale équivalente. Leur masse spécifique est de 2,5 à 2.6 g/cm³, ce qui permet leur élimination par simple décantation. L'aluminium est un produit utilisé pour coaguler les substances contenues dans

I.4.2.1.3 Les matières en suspension (MES): Les matières en suspension rencontrées dans les eaux, surtout superficielles, sont très diverses tant par leur nature que leur dimension. Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes, et de produits de dégradation animaux ou végétaux.

I.5. Les paramètres de qualité des eaux :

I.5.1. Les paramètres organoleptiques:

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution.

I.5.1.1 Turbidité :

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Ce sont des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière. Leur origine peut être extrêmement variable: érosion des roches, entraînement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspension grossières.

Pour mesurer la turbidité on utilise certains instruments.

- Le turbidimètre de Jackson (méthode visuelle).
- Le turbidimètre de Hellige
- Le néphélogéomètre de Hach

La turbidité est mesurée par trois unités qui sont équivalentes : Unité J.T.U (Jackson turbidité unit) = Unité F.T.U (formazine turbidité unit) = Unité N.T.U (Néphélogéomètre turbidité unit).

La mesure de la turbidité, très utile pour le contrôle d'un traitement, ne donne pas d'indications sur la nature, la concentration et la taille des particules en suspension qui en sont responsables. Cette turbidité doit être éliminée pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de consommation mais aussi pour permettre une désinfection efficace et éviter les dépôts dans l'usine ou dans le réseau. En effet, les MES peuvent servir de support aux microorganismes

qui seront ainsi partiellement protégés de l'action des désinfectants et qui pourront ensuite se développer dans les réseaux et entraîner des problèmes sanitaires.

I.5.1.2. La couleur:

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées. Leur couleur varie du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation de matières végétales. Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et de la turbidité.

La mesure de la couleur d'une eau naturelle se fait par comparaison avec une échelle artificielle de couleur. La substance de référence choisie est le chloroplatine de potassium (K_2PtCl_6) dans une solution de chlorure de Cobalt ($CoCl_2$). L'unité de couleur est le Hazen correspondant à un mg/l de platine sous forme de (K_2PtCl_6). On l'appelle aussi unité platino-cobalt ou unité de couleur vraie (UCV). Pour une eau potable, le degré de couleur maximale est de 15 UCV .

I.5.1.3. Goût et odeur :

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche .

Ces deux paramètres sont regroupés et font appel aux mêmes types de traitement (adsorption, oxydation, filtration...). La saveur et l'odeur anormales sont causées par la présence dans l'eau des matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales, de résidus agricoles, de rejets urbains ou industriels et les métabolites de certains microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques, et aussi certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau.

. Dans le cas d'une eau potable, l'apparition ou le changement de goût et d'odeur peuvent être signe d'activité microbienne et de lacune dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un goût plus prononcé qu'une eau non potable du fait du chlore résiduel .

I.5.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau:

Ceux sont eux qui font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des

indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.

I.5.2.1. La température: La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels etc... Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C. Dans les eaux naturelles et au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité.

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux quelles soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres .

I.5.2.2 La dureté: La dureté ou titre hydrotimétrique correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques

- Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté:
- Dureté totale: somme des concentrations en calcium et magnésium ;
- Dureté calcique: concentration globale en calcium ;
- Dureté magnésienne: concentration globale en magnésium

Les ions calcium et les ions magnésium sont positifs, donc dans l'eau, ils peuvent se lier à d'autres ions négatifs ; de ce fait on peut diviser la dureté en deux catégories:

Dureté permanente ou non carbonatée: dureté qui persiste après ébullition de l'eau et qui correspond uniquement aux sels de calcium et de magnésium solubles à chaud, sous forme de chlorures et de sulfates, car les hydrogénocarbonates sont décomposés et précipitent sous forme de carbonate de calcium;

- Dureté carbonatée ou temporaire: dureté qui correspond aux sels de calcium sous forme d'hydrogénocarbonates, et qui est la différence entre la dureté totale et la dureté permanente .

La pollution peut aussi, dans une certaine mesure augmenter la dureté de l'eau ; c'est le cas dans certaines régions où le chlorure de calcium CaCl_2 est utilisé massivement pour faire fondre la neige. La dureté calcique et la dureté magnésienne peuvent s'exprimer en mg/l de Ca et en mg/l de Mg. Ces diverses teneurs ne peuvent évidemment pas être additionnées et

pour calculer la dureté totale, on doit exprimer la concentration de chaque ion participant dans une unité commune.

La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milli-équivalents/l: $1^\circ\text{F} = 5 \text{ meq/l}$, $1^\circ\text{F} = 4 \text{ mg/l}$ de Ca ou 2.43 mg/l de Mg ou 10 mg/l de CaCO_3 .

La mesure de la dureté se fait par une réaction de complexation entre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} et une substance d'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) en présence d'un indicateur coloré (noir Eriochrome T).

I.5.2.3. Le pH: Le pH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ions d'hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans : Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites des pH. L'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration). Les mécanismes de la coagulation La détermination du pH est donc la mesure que l'on doit effectuer le plus fréquemment. Pour mesurer le pH, on utilise un pH mètre. (CO_3)

I.5.2.4. L'alcalinité: L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate²⁻) et hydroxyde (OH^-). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH: %

Alcalinité au virage du rouge de méthyle: elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC.

* Alcalinité au point de virage de la phénophtaléine (alcalinité composite): Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8.3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA).

I.5.2.5. La conductivité: La conductivité, caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm . La conductivité électrique s'exprime en micro siemens/cm La mesure de la conductivité permet d'avoir très

rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée.

I.5.2.6. Sodium et potassium: Le sodium et le potassium les 6^{ème} et 7^{ème} éléments les plus abondants à l'état naturel sont en proportions très variables. Aucune norme ne limite la concentration en sodium (ou en potassium) dans les eaux potables. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols. Le potassium, beaucoup moins abondant que le sodium, et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier bien que le K soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau.

I.5.2.7. Les chlorures: L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. Ainsi, les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage. D'ailleurs, la teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. Certaines eaux souterraines sont très saumâtres. Il en est de même pour les nappes souterraines voisines des eaux de surface salines, surtout s'il y a pompage excessif de ces nappes.

I.5.2.8. Les sulfates: Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates, en proportion très variables. Leur présence résulte de la solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites par exemple). Les eaux traitées au sulfate d'aluminium ajouté lors du traitement en mesurant la teneur en sulfates avant et après la coagulation, bien qu'une légère fraction d'ions SO_4^{2-} soit entraînée par adsorption avec le floc.

I.5.3. Les paramètres indésirables: Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur: goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer.

I.5.3.1 Les matières organiques :

I.5.3.1.1 L'oxydabilité au permanganate de potassium ($KMnO_4$): Cette mesure renseigne sur la concentration en matières organiques présentes dans une eau peu chargée. On utilise un oxydant, le permanganate de potassium ($KMnO_4$), qui, dans des conditions opératoires précises, va oxyder des molécules présentes dans l'eau. Ces molécules sont essentiellement des molécules organiques mais des molécules minérales peuvent être

également oxydées et l'on devrait parler plutôt de matières oxydables. Le KMnO_4 n'attaque pas toutes les molécules organiques mais il est très utilisé pour suivre l'évolution de la matière organique dans une station de traitement. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid. La méthode à chaud est la plus utilisée à cause de sa rapidité.

I.5.3.1.2 Absorbance UV 254 nm: La mesure de l'absorption à 254 nm est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons (carboxyliques, benzéniques.....).

La mesure de l'absorbance peut nous renseigner sur le contenu organique d'une eau, notamment la fonction aromatique. L'absorbance (densité optique) lue sur un spectrophotomètre peut permettre une estimation de la teneur en substances humiques d'une eau naturelle (eau de surface).

I.5.3.1.3 Le carbone organique total (COT): Le COT est défini comme la concentration en mg decarbone/l d'échantillon, c'est une méthode directe pour mesurer la teneur en matières organiques d'une eau. Il consiste à brûler l'échantillon d'eau à 950°C sous l'action de l'oxygène gazeux et de mesurer le CO_2 dégagé, et par suite de mesurer le carbone total (organique et minéral).

Le COT est une méthode rapide et présente plusieurs avantages tels que: on peut analyser l'eau quelle que soit sa qualité (de forte salinité, acide, basique, ou contient des composés toxiques). Mais malgré ses avantages, il exige un appareillage coûteux.

Si on fait le bilan de toutes les formes du carbone contenu dans une eau naturelle, on a donc le schéma suivant :

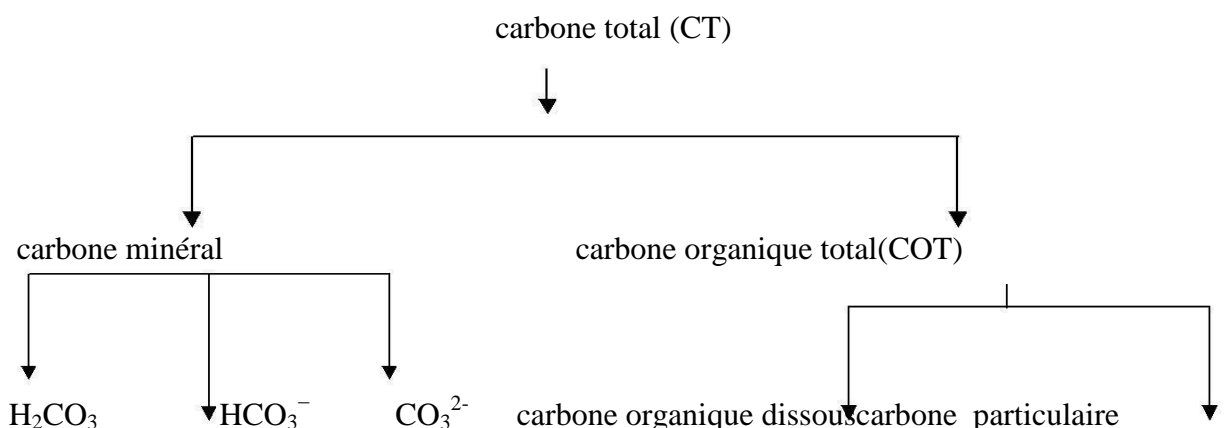


Figure I.1: Forme du carbone dans une eau naturelle

La détermination du carbone organique total (COT) ou dissous (COD) passera donc par l'élimination du carbone minéral avant la mesure, ou par sa

soustraction du carbone total. Le principe de la mesure du carbone organique dans les eaux consiste en une minéralisation par oxydation des matières organiques (M.O), suivi de la mesure de CO_2 libéré.

I.5.3.1.3.4 La demande chimique en oxygène (DCO):C'est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables. L'oxydation est effectuée ici dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), en milieu acide fort (H_2SO_4) et au reflux pendant deux heures.

La DCO constitue donc un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prête mal aux mesures de DCO, exprimée, elle aussi en mg/l d'oxygène, diffère de celle de la DBO. Elle est généralement supérieure, surtout pour les eaux usées domestiques, mais il y a souvent un rapport à peu près constant entre les deux (de l'ordre de 1,5 à 2).

I.5.3.1.5 La demande biochimique en oxygène (DBO_5):L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution.

La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO_5 , c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée ; pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes.

I.5.3.2 L'azote:L'élément azote existe principalement sous forme ionique, à savoir NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- . La pollution en ions NH_4^+ existe principalement pour les eaux de surface. Leur oxydation conduit à la formation d'ions NO_2^- . Ils sont en équilibre avec la forme gazeuse NH_3 . Ces deux espèces sont très toxiques pour la faune aquatique et problématique pour la santé publique. Elles induisent une prolifération bactérienne sur le réseau, pour conséquence, la dégradation des qualités organoleptique de l'eau et la corrosion des

canalisations. Mais les nitrates sont la principale source d'inquiétude. Ces ions se transforment en milieu acide faible en ions nitrites. Ceux-ci sont toxiques pour l'organisme humain. Ce sont des agents vasodilatateurs puissants qui causent vertiges et hypotension. Ils s'oxydent au niveau des ions ferreux de l'hémoglobine pour redonner des nitrates. On obtient alors de la méthémoglobine (MetHb) contenant des ions ferriques incapables de transporter les molécules d'oxygène.

I.5.3.3 Certains métaux:

a) Le manganèse est généralement associé au fer mais en quantité plus faible .C'est le Mn^{2+} qui est soluble dans les eaux naturelles bien que le manganèse présente de nombreux autres états d'oxydation. La teneur en Mn est limitée à 0,05mg/l dans les eaux potables pour le goût qu'il peut communiquer, pour les taches et les dépôts qu'il peut occasionner et aussi parce qu'il favorise la croissance de certains micro-organismes. (La teneur souhaitable est inférieure ou égale à 0,01mg/l .

b) Le Cu ou le Zn présentent peu d'inconvénients, du moins lorsque les concentrations sont faibles. D'autres comme le cadmium, le chrome, le mercure, le plomb ou le sélénium ont un caractère toxique marqué et leurs concentrations maximales acceptables dans l'eau potable sont très faibles .

- Le fer est, lui aussi, un élément essentiel à la santé de l'homme; certaines eaux souterraines en contiennent une forte proportion. Le fer ferreux est soluble dans l'eau alors que le fer ferrique l'est très peu et tend à précipiter sous forme d'hydroxyde .Sous l'action de l'oxygène, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique et il est difficile de les doser séparément .Il est tout aussi difficile de distinguer nettement entre fer en solution, en suspension, à l'état colloïdal, sous forme de complexes minéraux ou organiques. Le fer contenu dans l'eau provient des roches et des sols mais aussi, bien souvent, des tuyauteries lors de l'échantillonnage ; ce qui peut fausser considérablement les résultats de l'analyse. Dans l'eau potable, la teneur maximale acceptable est de 0,3 mg/l et l'objectif est inférieur à 0,05 mg/l .

I.5.4. Les paramètres toxiques :

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds : chrome, cadmium, nickel...) ainsi que de substances telles que les cyanures, ou des molécules organiques présentant une action d'inhibition des mécanismes biologiques.

I.5.5. Les caractéristiques biologiques

L'eau potable ne doit contenir aucun microorganisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution par excréments. Le principal indicateur bactérien recommandé pour suivre la pollution humaine est constitué par l'ensemble des microorganismes du groupe coliformes. Une eau qui est porteuse d'un seul Escherichia Coli par 100ml devient potentiellement dangereuse. Ce point est important, car le critère de potabilité de l'eau se fixe à partir de la présence ou de l'absence de ces germes témoins. Dans le tableau I.2 nous présentons les différentes maladies transmises par l'eau pour chaque micro-organisme (bactéries, virus et protozoaires).

Tableau I.2 : Principales maladies transmises par l'eau (Association Française pour l'étude des eaux : A.F.E.1985)

Organismes	Maladies	Principal site atteint
1. Bactéries		
Shigella	Shigelloses (dysenteriebacillaire)	Système gastro-intestinal
Salmonella typhi	Fièvre typhoïde	Intestin
Salmonella cholera	Fièvre entérique	Système gastro-intestinal
Salmonella entérique	Gastro entérite	Système gastro-intestinal
Escherichia coli	Gastro entérite	Système gastro-intestinal
Vibrio cholerae	Choléra	Intestinal
Francisella tularensis	Tularémie	Système respiratoire foie-ganglions lymphatiques
Leptospire icterohaemorrhagiae	Leptospire	foie
2. Virus		
Entérovirus Poliovirus	Poliomyélite méningite aseptique	Moelle épinière Méningite
Coxsackievirus	Myocardite méningite aseptique- épidémie myalgia	cœur -muscle
Echovirus	Méningite aseptique gastro- entérique	Méningites- intestin
Adénovirus	Pharyngite	Pharynx
Réovirus	Maladies respiratoires diarrhées	Appareil respiratoire et digestif

Virus A del'hépatite	Hépatite infectieuse	Foie
Virus gastro-entérique	Gastro-entérite	Système gastro intestinal
3. Protozoaires		
Entamoeba histolytica	Ambiase	Système gastro-intestinal
Naegleria grubéria	Méningite encephalitique	Système nerveux central
Giardia lamblia		Intestin

I.6. Conclusion :

L'eau est la plus répandue sur terre. Elle qui est un élément indispensable à toute forme de vie. D'un point de vue chimique, l'eau, lorsqu'elle est pure, est un liquide inodore, transparent et insipide. D'un point de vue biologique, c'est dans l'eau que la vie est apparue et c'est grâce à elle se maintient. En effet, l'organisme humain peut vivre pendant près d'un mois sans manger mais ne peut



CHAPITRE II
Hydrochimie et qualité des
eaux parties

Hydrochimie et qualité des eaux parties

II.1 Introduction:

La qualité des eaux présente une préoccupation primordiale et une problématique universelle pour la communauté scientifique et pour la population du globe terrestre qui est la source et la cible de cette pollution. cette ressource est menacée par les différentes activités anthropiques.

II.2 Les Propriétés et la structure de l'eau :

L'eau est un composé chimique qui constitue de l'hydrogène et de l'oxygène avec la formule de H_2O . La raison principale pour les propriétés inhabituelles de l'eau peut être discernée de la structure des molécules de H_2O . Les deux liaisons entre l'oxygène et les atomes d'hydrogène à partir d'un angle de 106° . Par conséquent, les deux hydrogènes sont sur la même cote de la molécule et le cote une charge positive nette par rapport à l'autre cote, ce qui donne une caractéristique polaire de la molécule (KHAMMAR.A.2019).[12]

II.3 La Structure de la molécule de l'eau:

La liaison $O-H$ dans la molécule d'eau H_2O . L'atome d'oxygène ($Z=8$) possède six électrons de valence dont deux célibataires. Pour former la molécule d'eau, l'atome d'oxygène se lie à deux atomes d'hydrogène établissant ainsi deux liaisons covalentes: (KHAMMAR.A..2019).[12]

La longueur de chaque liaison est 96

pm. L'angle HOH est égal à 106°

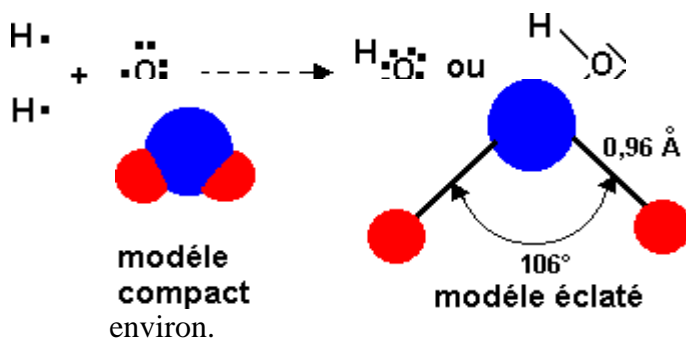
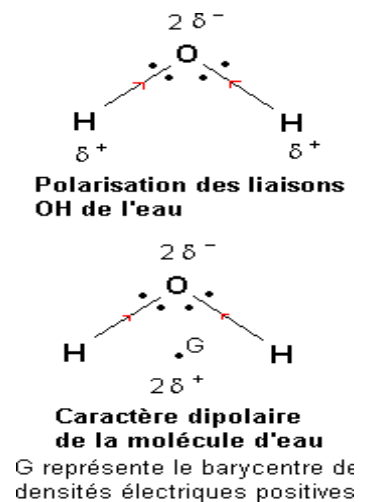


Figure 2: Structure de la molécule de l'eau



II.4 Les caractéristiques de l'eau potable

II.4.1 Les Caractéristiques Organoleptiques :

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.). [12]

II.4.1.1 La Couleur :

L'eau colorée présente des inconvénients : indépendamment des problèmes esthétiques, les substances naturelles qui donnent la coloration à l'eau peuvent, en formant des complexes avec des ions métalliques.

Bien qu'elle puisse par ailleurs satisfaire aux normes bactériologiques et chimiques, une eau présentant une certaine coloration, sans être dangereuse, est peu engageante et sera suspecte au consommateur. D'un point de vue pratique, une coloration de 5 unités (échelle colorimétrique au platino-cobalt) étant déjà décelée par beaucoup d'utilisateurs, cette valeur ne devrait pas être dépassée pour des raisons esthétiques.

Dans un certain nombre de pays, la valeur de 10 unités est considérée comme un chiffre qu'il est souhaitable de ne pas dépasser et la valeur de 20 unités est admise comme limite supérieure acceptable. L'OMS et la réglementation française (en tant que référence de qualité) indiquent 15 unités (15 mg/LPt). [12]

II.4.1.2 L'odeur :

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel ; cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs.

L'eau potable doit être sans odeur, non seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à la température de 26 °C. Les odeurs proviennent, soit des produits chimiques, soit de matières organiques en décomposition, soit de protozoaires, soit d'organismes aquatiques.

II.4.1.3 La Saveur :

Dans le cas de l'eau de distribution, il faut bien reconnaître que les traitements par le chlore sont à l'origine de la plupart des problèmes organoleptiques. Cependant, la diminution du taux de chlore ne doit pas conduire à poser des problèmes bactériologiques.

La minéralisation de l'eau suivant qu'elle est faible ou importante introduit un goût plus ou moins accentué et on peut distinguer par conséquent certains crus d'eau. Une eau potable de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable. Pour que l'eau soit considérée comme

n'ayant pas de goût particulier, certains sels tels que le chlorure de calcium, l'hydrogencarbonate de sodium, doivent être présents à une concentration voisine de celle de la salive.

II.5 Les caractéristiques Physico-chimiques de l'eau :

L'analyse d'une eau naturelle doit donner la concentration des éléments caractéristiques et la valeur des grandeurs physiques et chimiques (pH, T°, Turbidité, Conductivité, la dureté.). [6]

II.5.1 Les caractéristiques physiques :

II.5.1.1 La Température :

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15 C° ; entre 20 et 25 C°, elle désaltère mal. A titre indicatif, les anciennes du Conseil des communautés européennes fixaient à 12 C°. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la Santé de l'homme. [6]

II.5.1.2 Le PH:

Le *pH* d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à *pH* 7 une eau est dite neutre, à un *pH* inférieur à 7 une eau dite acide et à un *pH* supérieur à 7, elle est dite basique.

Il est rare que le *pH* soit une contre-indication à la potabilité. C'est cependant l'un des paramètres parmi les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement.[6]

II.5.1.3 La Conductivité:

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau l'évaluation. Le tableau ci-dessous donne quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.[12]

Conductivité < 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation très faible;
100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation faible;
200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne;
333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne accentuée;
666 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivité < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation importante;
Conductivité < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation élevée.

Tableau I.3 ci-dessous donne quelques indications sur la relation existant entre

la minéralisation et la conductivité.

Les directives du Conseil des communautés européennes relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guidé de $2\,500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ à $20\ \text{C}^\circ$. La réglementation française est plus contraignante puisque la référence de qualité est comprise entre 180 et $1\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ à $20\ \text{C}^\circ$. Une conductivité de l'eau supérieure à $1500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées.

II.5.4. Les Matières en suspension (MES):

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc.); elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.

Des teneurs plus élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, compromettre le développement ichthyologique en créant des déséquilibres entre les diverses espèces.

Les anciennes directives du Conseil des communautés européennes préconisaient que les matières en suspension soient absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine. Ces directives, comme la réglementation française, prévoient. [12]

II.5.1.5 La Turbidité:

La turbidité est liée à la présence de particules organiques diverses, d'argile, de colloïdes de plancton, etc. elle peut être favorisée par la pluviométrie.

Dans les eaux profondes, la turbidité empêche la propagation de la lumière dont la diminution d'intensité a pour conséquence de limiter et même d'éliminer la végétation. La plupart des eaux superficielles ont une turbidité importante et leur consommation directe est impossible. Il faut les clarifier, soit par décantation, soit par addition d'un coagulant, soit par filtration, soit encore par une combinaison de ces différents procédés. Il semblerait qu'une turbidité supérieure à 5 NTU limiterait la destruction des coliformes même si du chlorure résiduel libre est conservé pendant une heure.

Les normes concernant la turbidité de l'eau potable sont assez différentes et variables.

L'OMS recommande comme valeur limite 5 unités NTU (Néphélogéométrie Turbidité Unit) et précise que dans le cas où l'on pratique la désinfection, il conviendrait que la turbidité soit inférieure à 1 NTU. [12]

II.5.1.6 L'Oxygène dissous :

La teneur de l'Oxygène dans l'eau est fonction de l'Origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation ; par contre, les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre.

L'OMS

recommande que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation. Aucune valeur guide fondée sur des critères de santé n'est proposée.

II.5.2 Les caractéristiques chimiques :

II.5.2.1 La Dureté totale ou Titre hydrométrique (TH) :

La dureté de l'eau est due à la présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} (dans certains cas aussi Fe^{2+}), qui existent dans la solution sous forme de sels solubles. Selon la nature des sels que les ions alcalino-terreux peuvent former avec des ions négatifs présents dans l'eau, on distingue la dureté temporaire et la dureté permanente (BOUAMEUR.A et BOUDIA.A., 2016).

Tableau I-4: Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+40
Eau	Très douce	Eaux douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS ne recommande pas de valeur mais indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation de dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française n'indiquent pas de valeurs pour les eaux livrées à la consommation humaine.

II.5.2.2 L'Alcalinité (TA – TAC) :

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes.

Les valeurs relatives du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) permettent de connaître les quantités d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalinoterreux présents dans l'eau.[12]

*Le **TA** permet de mesurer la teneur totale en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates, lorsque ces teneurs sont mesurées en *mg/l* ou °F, ce qui est traduit par la formulation:

$$TA = [OH^-] + [CO_3^{2-}]$$

*Le **TAC** permet de mesurer les teneurs totales en hydroxydes, en carbonates et en Hydrogencarbonates, en *mg/l* ou °F, soit:

- $TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$

II.5.2.3 Le Chlorure:

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l , mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1000 mg/l

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/l , surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.

L'OMS recommande pour la teneur en chlorure dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/L pour des considérations gustatives et des risques de corrosion. La réglementation française a intégré ce paramètre dans les références de qualité avec comme valeur 250 mg/l . [12]

II.5.2.3 Les Sulfate:

La concentration en ions sulfates de seaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l , mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. [12]

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), L'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/l .

Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française retiennent cette dernière valeur de 250 mg/L (SO_4). L'organisme est susceptible cependant de supporter des doses plus élevées, inconvénient majeur autre qu'une action laxative

temporaire.[12]

II.5.2.4 Les Nitrates NO_3^- :

La pollution des eaux par les nitrates présente un double risque. Ingerés en trop grande quantité, les nitrates ont des effets toxiques sur la santé humaine. Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à modifier l'équilibre biologique des milieux aquatiques en provoquant des phénomènes d'eutrophisation.

Au-delà d'un certain seuil de concentration les nitrates présentent donc un risque pour la santé. Ils ne sont pas toxiques en soi, mais leur conversion en nitrites, par certaines bactéries présente dans l'organisme, est très nocive. En effet ceux-ci réagissent avec l'hémoglobine pour former de la méthémoglobine, qui affecte la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme, surtout chez les nourrissons qui représente une population à risque. Mais même à faible concentration, ils peuvent également engendrer à long terme des cancers chez les adultes lorsqu'ils sont associés à certains pesticides avec lesquels ils forment des composés cancérigènes.[12]

Il existe quatre classes distinctes en fonction de la concentration en nitrates retrouvée dans l'eau :

- Eau de qualité optimale pour être consommée (<25 mg/L).
- Eau de qualité acceptable (de 25 à 50 mg/L).
- Eau non potable nécessitant un traitement (de 50 à 100 mg/L).
- Eau inapte à la production d'eau potable (>100 mg/L).

II.5.2.5 Les Nitrites NO_2^- :

En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux et dans les zones où l'autoépuration est active ; les teneurs se maintiennent à des niveaux très faibles (de l'ordre de 0,01 mg/L). En dessous d'un centième de mg/L, les eaux peuvent être considérées comme pures ou se trouvant sous l'action d'une autoépuration active, en présence de quelques dixièmes de mg/L la pollution est sensible, celle-ci devient significative au-delà de 1 mg/L.

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car

lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique.[12]

II.5.2.6 La DBO5 (Demande Biochimique en Oxygène):

Les phénomènes d'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résultent de la dégradation des charges organiques polluantes, sous l'action de micro-organismes. Il en résulte une consommation d'oxygène qui s'exprime par la demande biochimique en oxygène ou DBO 5. Le paramètre DBO5 est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques biodégradables.[12]

5*Tableau I-5 : qualité de la DBO 5 (Demande biochimique en oxygène)

Qualité	DBO5
Tres bonne	$DBO5 < 3$
Bonne	$3 < DBO5 < 5$
Moyenne	$5 < DBO5 < 8$
Mauvaise, voire très mauvaise	$DBO5 > 8$

CHAPITRE III

Généralités sur le fluor

Généralités sur le fluor

III.1. Introduction

Comme tout oligo-élément, le fluor est indispensable et bénéfique pour l'organisme humain, à de faibles concentrations, mais toxique à plus fortes doses. A partir de 0,5 mg/l, en ions fluorure, l'eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/l, le risque de fluorose, dentaire et squelettique, débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/l. Par ailleurs, il faut tenir compte, que la norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/l pour des températures de 12 à 25°C.

III.2. Carted'identité

L'ion fluorure F⁻ a la même structure que le néon (Z = 10). Les rayons atomiques du fluor et celui de l'ion fluorure, sont plus petits que celui des autres halogènes et halogénures. Comme pour tous les halogènes, la molécule du fluor est diatomique F₂. Le fluor est l'oxydant le plus fort de la famille des halogènes et même de tous les éléments simples, le seul qui soit plus électronégatif que l'oxygène. Le potentiel normal du couple F₂ /F⁻ est de 2.87 V. l'ion fluorure fait partie des petits ions (r_{stoke}= 1.6 Å) qui possèdent une haute densité de charge. En solution, il s'entoure de molécules d'eau en modifiant localement la structure primitive de l'eau. Il forme de très puissantes liaisons hydrogène avec l'eau (5 molécules d'eau par ion), ce qui explique sa stabilité en solution aqueuse. C'est un élément dit structurant. Son rayon hydraté est de 3.52 Å. [1]

III.3Caractéristiquesphysiques

Le fluor est l'un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre (Pontie et al., 2006). Il occupe la 13^{ème} place dans l'ordre d'abondance (Taylor, 1964; Wedepohl, 1974), soit 0,027 à 0,032% de l'écorce terrestre (Fleischer, 1953; Pedro et Delmos, 1970 et Chekhachir et al., 1991). Ces principales caractéristique physiques, sont consignées dans le tableau 1 suivant:[19]

Tableau 6: Principales caractéristique physiques du fluor (Chekhachir et al., 1991)et (Charlot, 1969)

Caractéristiques	Valeurs
Nombre atomique	9
Point de fusion (°C)	-223
Point d'ébullition (°C)	-187
Masse atomique	19


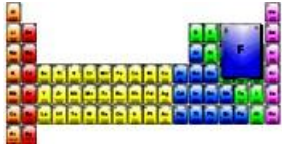

Structure électronique	1s2, 2s2, 2p5
Electronégativité	4.00
Rayon atomique (A°)	0.64
Rayon ionique (A°)	1.36
Potentiel de restitution (V)	2.87
Potentiel d'ionisation (eV)	17.42

III.4 Caractéristiques chimiques

C'est l'halogène le plus électronégatif de tous les éléments; c'est par conséquent un oxydant extrêmement puissant. En effet, il gagne naturellement un électron en passant à l'état très stable d'ions fluorures. C'est principalement pour cette raison, que le fluorure est présent dans le sol, dans les eaux et dans les aliments. Il forme, pour la plupart, des complexes ioniques métalliques solubles dans l'eau, sauf ceux formés avec l'aluminium, le plomb et le magnésium qui sont insolubles ou difficilement solubles.

En raison de sa réactivité et de sa grande activité chimique, le fluor n'existe pratiquement jamais à l'état libre mais sous forme de fluorures en association avec d'autres éléments (le calcium, l'aluminium, le sodium, ...etc) (Samb, 2004). Ses propriétés physiques et chimiques sont présentées au tableau 2 suivant:[21]

Tableau 7. Propriétés physiques et chimique du fluor (David, 2009)[10]

Nome	Fluor
Symbole chimique	F ₂
Fluor à l'état liquide à - 196 °C.	
Fluor a état solide	
Placement au tableau périodique	
Rayon atomique (F-)	0,71 pm
Rayon ionique(F ⁻)	133 pm

Électronégativité	3,98
Série chimique	Halogène
Couleur	Jaune verdâtre clair
Masse atomique	18,998403163 g/mol
Masse volumique	1,696 g/l
Température critique	-129,02 °C
Nombre d'oxydation	-1
Configuration électronique	2s ² 2p ⁵
Structure cristalline	Cubique
Point d'ébullition	-188,12 °C (1 atm)

III.5 Sources de fluor

III.5.1 Sources naturelles:

En dehors des contaminations anthropiques, les sources naturelles ont, pour la plupart, une origine géologique (Travi, 1993). C'est le cas des eaux souterraines des réservoirs de granite, de gneiss, de certains bassins sédimentaires ainsi, que des eaux géothermales qui concentrent de fortes teneurs en ions fluorures.

Par sa grande affinité aux éléments métalliques qu'il l'entoure, le fluorure sous forme combinée dans de nombreux minerais. On le rencontre sous forme de fluorite (CaF_2), le plus abondant et la principale source de fluor à l'état naturel, avec une teneur d'environ (49%). La cryolithe ($\text{Na}_3(\text{AlF}_6)$), une autre source de minerai riche en fluorures, avec une teneur approximative de 54%. Le fluoro-apatite ($\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), principale source des engrais phosphatés, et la biotite ($(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_2(\text{K,H})(\text{SiO}_4)_2$) contiennent par contre, des quantités variables mais faibles (3 à 4%) de fluor. Dans les roches métamorphiques et magmatiques acides, les concentrations en fluor, restent comprises entre 0,2 et 0,7 mg/l (Diop et al., 1993). Ces minéraux étant peu solubles dans l'eau, et c'est pourquoi que la concentration en ions fluorure dans les eaux de surface est faible (Pontie et al., 2006). Cependant, la capacité chimique de l'eau à solubiliser le fluor (O.M.S., 1972; Raop, 1988) et les caractéristiques physico-chimiques de certains sels et des nappes d'eau (températures élevées par exemple), en contact de ces roches (Pontie et al., 2006), favorisent leurs dissolutions. Les caractéristiques physiques de certains composés de fluorure sont présentées dans le tableau 3. [23]

Tableau 8. Caractéristiques physiques de certains composés de fluorure (Alya et Hijazi, 1988)

Composés	Température de fusion (°C)	Température d'évaporation (°C)	Densité (g/ml)	Solubilité (1g/100 mld'eau à 18°C)
NaF	999	4071	2,09	1,22
KF	698	4972	2,16	92,3
MgF ₂	4283	2220	-	$1,3 \times 10^{-5}$
CaF ₂	4146	2977	3,46	$1,8 \times 10^{-3}$
LiF	616,44	4893	2,81	7,43

Sous forme particulière, les particules détachées des sols, sont entraînées dans l'atmosphère par les vents ambiants et peut être véhiculées dans les eaux naturelles de surface (barrage, lac, rivière, eau de mer,...). Les opérations particulières susceptibles d'introduire des poussières fluorées dans l'atmosphère sont le broyage, la calcination, la fusion des minéraux contenant du fluor et le traitement électrochimique pour la fabrication de l'aluminium (Pontie et al., 2006). La teneur en fluorure des précipitations dépende, de la nature et de degré de liberté des polluants atmosphériques qu'elles contiennent.

III.5.2 Les sources anthropiques:

L'utilisation intensive des engrais phosphatés (fluorapatite), d'insecticides ou d'herbicides, contenant des fluorures, en tant que constituant essentiel ou sous forme d'impuretés (cryolite, fluorosilicate de baryum), induit généralement une pollution des ressources en eau aux alentours des sols traités (Mazet, 2002).

Les industries de l'acier, de l'aluminium, du verre, de la fabrication de briques et de tuiles, de la poterie et du ciment, la production de substances chimiques fluorées, la fonderie, le soudage et le brasage des métaux, représentent également une source potentielle de contamination en fluorure. Les émissions gazeuses tels que, le HF ou le SiF₄ (Chakhachir et al., 1991), peuvent se solubiliser au contact d'un milieu aqueux et intégrer le cycle de l'eau. Environ 23500 tonnes de fluorures inorganiques sont libérées des sources anthropiques chaque année au Canada (Environnement Canada, 1993), alors que l'estimation pour les sources volcaniques du monde entier est de 60 à 6000 kt

par an (Symonds et al., 1988). Dans l'état de Washington, aux USA, des teneurs élevées en fluorure ont été constatées, dans les puits situés aux alentours du site industriel (Burkhalter et al., 1984).[14]

III.6 Chimie du fluor dans les eaux

L'eau de boisson représente la principale source d'apport en fluor pour l'organisme (Rozel, 2012). Les aliments en apportent aussi (Messaitfa, 2008; Belmabdi, 2009; Belmabdi et Messaitfa, 2011; Belmabdi et Messaitfa, 2014; Baoui, 2017). Indispensable à l'homme, il est pratiquement présent dans tous les tissus et en particulier dans l'os, le cartilage, l'émail dentaire et la thyroïde.[5]

III.6.1 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines se chargent en fluor, après lessivage de roches phosphatées, probablement par dissolution des apatites fluorées. Le niveau de saturation des eaux dépend principalement du déplacement de l'équilibre de formation de la fluorine (CaF_2) :

La teneur en calcium, l'équilibre des eaux en calcite (CaCO_3), gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et la formation de complexes calciques (CaSO_4 , CaHCO_3^+ , CaCO_3), sont des facteurs importants pour le déplacement de cet équilibre (Pontie et al., 2006).

Si l'augmentation de la teneur en fluorure dans les eaux, de surface et souterraine, devenue un fléau mondial, l'UNICEF classe les eaux de 27 pays, parmi eux l'Algérie (OMS, 1972), ayant des teneurs en fluorure supérieures à 1,5 mg/l.[17]

Comparativement aux eaux de surface (rivières et lacs, ...), et en raison des caractéristiques physico-chimiques et géologiques des roches réservoirs ou encore le climat; les eaux souterraines contiennent plus des teneurs en ions fluorures (WHO, 2002). Les fortes ou les faibles concentrations en fluorure, peuvent se produire en fonction de la nature des roches (WHO, 2006). Les eaux riches en fluor se rencontrent généralement dans les bassins sédimentaires, les zones de socle cristallins et les régions volcaniques (Pierre, 2002). L'hydrodynamique du système aquifère, joue un rôle important, en fonction du temps de contact eau - roche. Ainsi, lorsque le flux des eaux souterraines est relativement lent, une nette augmentation des teneurs en substance dissoute (TDS) et en fluor, est observée. Le rôle du climat est donc très important. Les faibles précipitations des régions arides, entraînent généralement des temps de transfert

de l'eau souterraine plus longs que dans les zones humides. Par ailleurs, en région aride, l'évaporation des eaux superficielles et des sols, susceptibles de s'infiltrer, est aussi un facteur important de l'augmentation des concentrations en fluorure des eaux souterraines (Pierre,2002).[18]

III.6.2 Les eaux de surface:

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



CHAPITRE IV
Matériel et Méthodes

Matériel et Méthodes

VI.1 Introduction:

Dans cette chapitre nous avons présente le protocole expérimentale de dé fluoruration des eaux dans la région d'Ouargla par trois méthodes, par la précipitation au niveau de laboratoire de l'université d'Ouargla qu au niveau de centre de recherche..

VI.2 Matériels utilisés:

- 1- 11 bécher de 200ml et un seau de 1000ml.
- 2- 4 Agitateurs magnétiques.
- 3- 4 Les barreaux magnétiques.
- 4- Une balance électrique .
- 5- Un chronomètre .
- 6- pH mètre .
- 7- 2 entonnoirs et les papier a filtre d'un épaisseur de 0,5mm .
- 8- le spectrophotometer et des bouteilles plastique.



Photo 1: pH –mètre et conductivité-mètre .

VI.3 Principe :

Nous faisons une expérience pratique pour éliminer les ions fluorure de l'eau potable, en fonction de l'addition Chaux [2 Ca (OH)] pour la précipitation du fluorure et du sulfate de magnésium [Mg(so4)] afin d'induire la coagulation et la formation de précipités, afin de vérifier son efficacité, en tenant compte des propriétés physicochimiques de l'eau et des conditions environnementales.

VI.4 Prélèvement:

- Vous voyez le robinet ouvert pendant un certain temps pour drainer les objets suspendus.
- Utiliser un bécher après l'avoir bien lavé avec de l'eau.

- Mettez une carte d'information dessus.

VI.5 Préparation d'échantillon initial :

- Prépare un bécher de 1000 ml d'eau.-
- Ajouter 3 mg de sulfate magnésium [Na F].
- Placer l'échantillon sur l'agitateur pendant une heure à vitesse moyenne.
- Remplit 11 bécher avec une capacité de 200 ml de l'échantillon initial.



Photo 2: Une balance électrique

IV.6 L'addition de la chaux [Ca₂ (oh)] :

- Additionner de la chaux par des différentes quantités et en respectivement de 1 jusqu'à 11 dans les béchers précédents :(10,50,100 ,200, 250, 300, 350, 400, 450, 500).
- Placé ces bécher sur les agitateurs magnétiques et injecté les barreaux magnétiques dans tous les bécher
- Mettez l'agitateur pour 3min vitesse rapide et ensuite pour 25min vitesse lente.
- Mesuré le pH et la conductivité dans chaque bécher pendant l'agitation (chaque 10min) et avant l'addition de la chaux.
- Après avoir terminé le mélange, placer les échantillons dans des plastiques bouteilles en endroit approprié pour la sédimentation.
- Après sédimentation, les échantillons (de filtration) sont filtrés à l'aide de entonnoirs et de papiers filtres le spectrophotometer.
- Après le prélèvement on a faire la mesure de flour par le spectrophotomètre et note les Resultants.

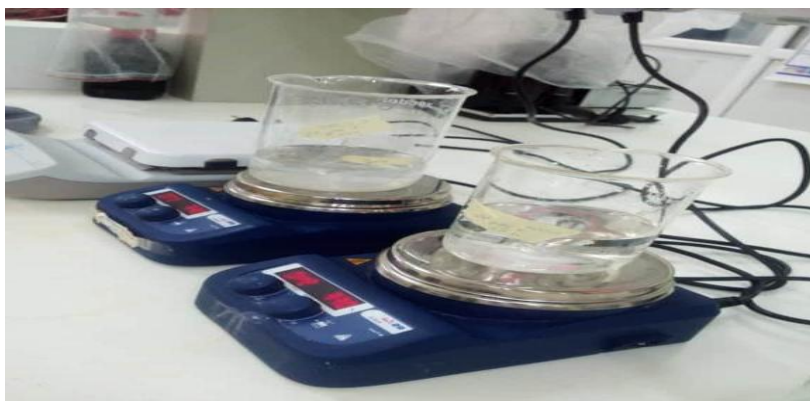


Photo 3: Agitateurs magnétiques

IV.7L'addition de la chaux [Ca₂ (oh)] +50mg/l] de sulfate de magnésium :

De la même manière que ci-dessus, des échantillons de chaux sont préparés :

- On Ajouter des concentrations de sulfate magnésium 50mg dans chaque bécher avec les derniers quantités de la chaux :(10, 50, 100,200,250,300,350,400,450,500).
- Placé ces bécher sur les agitateurs magnétiques et injecté les barreaux magnétiques dans tous les bécher
- Mettez l'agitateur pour 3min vitesse rapide et ensuite pour 25min vitesse lente.
- Mesuré le pH et la conductivité dans chaque bécher pendant l'agitation (chaque 10 min) et avant l'addition de la chaux.
- Après avoir terminé le mélange, placer les échantillons dans des plastiques bouteilles en endroit approprié pour la sédimentation.
- Après sédimentation, les échantillons (de filtration) sont filtrés à l'aide de entonnoirs et de papiers filtres le spectrophotometer.
- Après le prélèvement on a faire la mesure de flour par le spectrophotomètre et note les Resultants.

IV.8L'addition de la chaux [Ca₂ (oh)] + 150mg/l de sulfate de magnésium :De la même manière que ci-dessus, des échantillons de chaux sont préparés

- On Ajouter des concentrations de sulfate magnésium 150mg dans chaque bécher avec les derniers quantités de la chaux :(10,50,100 200,250,300,350,400,450,500).
- Placé ces bécher sur les agitateurs magnétiques et injecté les barreaux magnétiques dans tous les bécher
- Mettez la agitateur pour 3min vitesse rapide et ensuite pour 25min vitesse lente.
- Mesuré le pH et la conductivité dans chaque bécher pendant l'agitation (chaque 10 min) et avant l'addition de la chaux.
- Après avoir terminé le mélange, placer les échantillons dans des plastiques bouteilles en endroit approprié pour la sédimentation.
- Après sédimentation, les échantillons (de filtration) sont filtrés à l'aide d'entonnoirs des papiers filtres le spectrophotometer.
- Après le prélèvement on a faire la mesure de flour par le spectrophotomètre et note les Resultants.

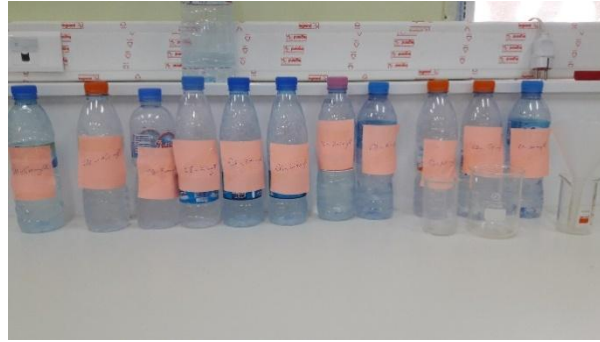


Photo 4: bouteilles plastique

VI.9 La mesure de fluor :

Pour mesuré le taux de fluor dans les différents équipements on a utilise le spectrophotomètre, et les étapes de mesure est comme suivant :

- Touché Hach programme.
- Sélectionner programme 190 Fluorure.
- Touché Start.
- Mettre à l'aide d'une pipette 10 ml d'eau distillée dans un flacon de dosage (le blanc).
- Mettre aussi 10 ml d'eau de l'échantillon dans un autre flacon.
- Précautionneusement ajouter 2,0 ml de solution réactif de fluorure dans chacun des flacons.
- Appuyer sur l'icone de temps , la ou, le chronomètre vas conter jusqu'une minute (le temps de réaction) .
- Quand le temps bipe, placer le flacon blanc dans la cellule de la pareil.
- Toucher Zéro, l'appareil vas fixer le chiffre 0,00 mg/l F.
- Placer le flacon d'échantillon dans la cellule.
- Appuyer sur lire le résultat va marque en mg/LF



Photo 5: le spectrophotomètre

*La mesure de fluor est faite par le spectrophotomètre dans le laboratoire de centre de recherche

VI.10 Conclusion

Dans cette étude nous avons essayé de faire les analyses dans les bonnes conditions dans le laboratoire pour obtenir des résultats dont des valeurs importantes, parce que ces résultats sont de possibilité de prendre comme des références par rapport aux gens qui font des recherches sur ce problème.



Chapite V
Résultats et discussion

Résultats et discussion

V.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les concentrations de fluorure dans les échantillons après avoir ajouté de la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et du sulfate de magnésium (MgSO_4), pour évaluer la réduction du fluorure par cette technique tout en vérifiant la quantité appropriée d'additifs pour réduire la valeur du fluorure dans l'eau, selon les normes de l'OMS Global (OMS) 1,5 mg/l

V.2 Propriétés physico-chimiques après traitement à la chaux [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]:

Nous préparons (11) échantillons à partir de l'eau d'étude avec un volume de 250 ml pour l'échantillon, nous ajoutons des concentrations croissantes de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (10, 50, 100, 150, 200, 250.300. 350. 400. 450. 500) (mg / l). Au temps de mélange et la réaction on mesure la conductivité électrique CE et le PH pendant une heure chaque 10 minutes. Et après ça on filtre et titrer les ions fluorure. Quelques résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant et le reste voir l'annexe.

Tableau 9 :les valeurs de la conductivité électrique et le PH et concentration de fluor des échantillons étudiés Lors de l'ajout de chaux seule.

Le numéro d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Concentration de choux	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
PH	7.34	10.28	11.16	11.59	11.76	11.82	11.98	12.02	12.09	12.18	12.18
CE	80	125	307	582	821	1042	1259	1578	1629	1952	2098
Concentration de fluorureF^-	3.42	3.41	2.49	2.28	2.11	1.75	1.46	1.42	1.29	1.28	1.27

* Les changements de la conductivité électrique et le PH des échantillons étudiés ont été suivis en termes de valeur de chaux Ca(OH)_2 .

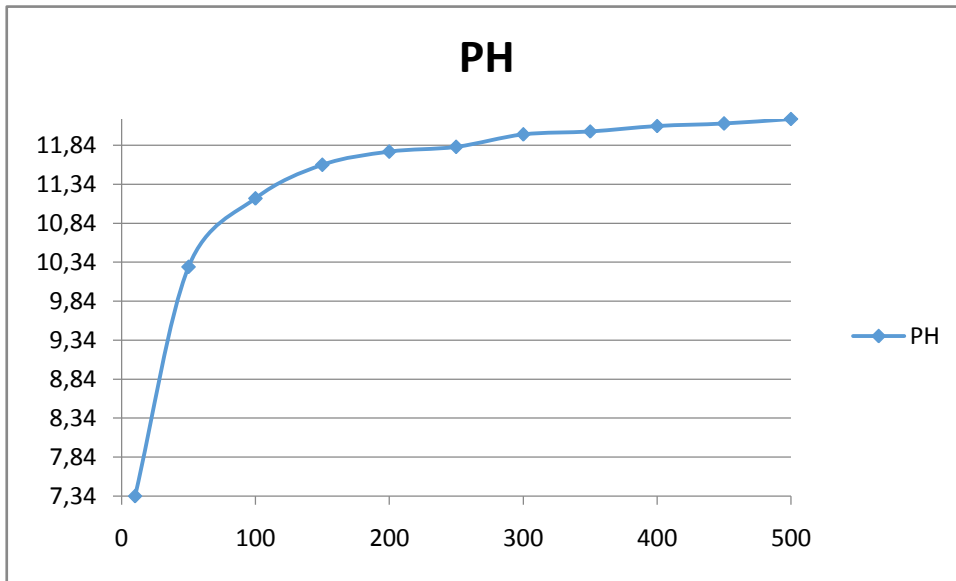


Figure 3 : La variation de PH en fonction de Ca (OH) 2

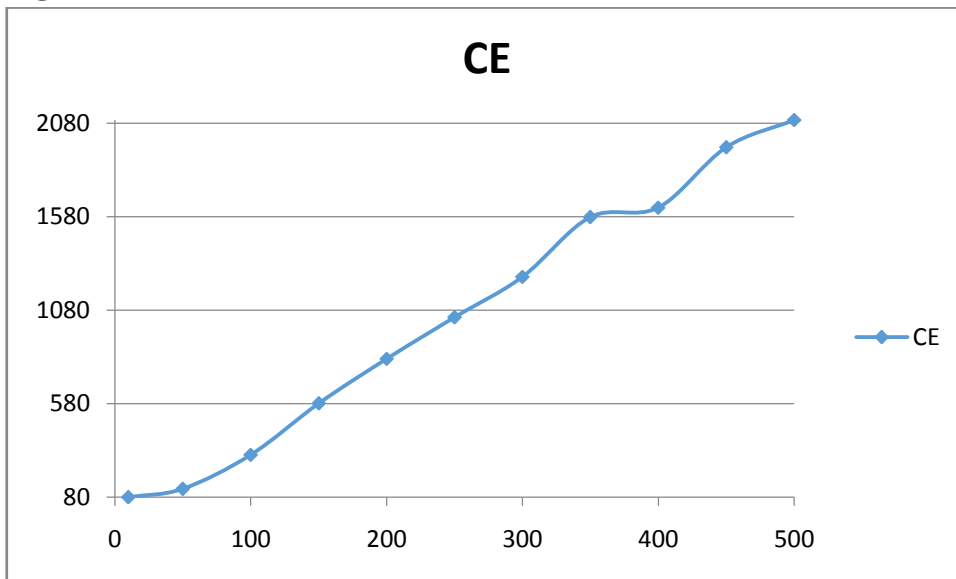


Figure4 : La variation de la conductivité en fonction de Ca(OH)_2 .

interprétation

Nous enregistrons une augmentation de la conductivité électrique dans l'eau étudiée avec l'augmentation de la quantité de chaux ajoutée. et atteignons à la fin de la réaction à 2098 ms/cm après avoir ajouté 500 mg/l à 30 minutes de mélange, nous expliquons cet augmentation a cause de l'augmentation de la salinité des eaux étudiées.

* On remarque l'augmentation de la valeur du pH, de 7,34 à 12,21 dans les eaux étudiée avec l'augmentation de chaux ajoutée.

Résultats et discussion

*Lors de l'ajout de chaux. On remarque une diminution de la concentration des ions fluorure, jusqu'à 15% elle a diminué de 3,42 mg / l à 1,27 mg / l après addition de 500 mg de chaux Ca(OH)_2 à cause de la formation de fluorure (CaF_2), et le pourcentage de chaux ajouté pour obtenir une concentration de 1,46 mg. / l qui est approuvée par les normes internationales (1,5 mg / l), il est estimé à 300 mg / l, ce qui est la valeur optimale si l'on ajoute uniquement de la chaux.

V.3 Propriétés physicochimiques après la chaux (Ca(OH)_2) et 50 mg de sulfate de magnésium (MgSO_4).

Nous préparons (11) échantillons à partir de l'eau d'étude avec un volume de 250 ml pour l'échantillon, nous ajoutons des concentrations croissantes de chaux Ca(OH)_2 (10, 50, 100, 150, 200, 250.300. 350. 400. 450. 500) (mg / l), Avec l'ajout de 50 mg de sulfate de magnésium MgSO_4 . Au temps de mélange et la réaction on mesure la conductivité électrique CE et le PH pendant une heure chaque 10 minutes. Et après ça on filtre et titrer les ions fluorure. Quelques résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant et le reste voir l'annexe.

Tableau 10 : les valeurs de la conductivité électrique et le PH et concentration de fluor des

Le numéro d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Concentration de chaux+50mg(MgSO_4)	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
PH	10.11	10.86	10.91	10.68	11.62	11.77	11.76	11.9	10.91	10.99	12.12
CE	482	332	321	561	729	977	1074	1182	345	281	2090
Concentration de fluorure F^-	3.28	3.28	3.24	3.2	2.93	2.64	2.46	2.18	1.99	1.48	1.14

échantillons étudiés Lors de l'ajout de chaux seule+50 mg de sulfate de magnésium MgSO_4 .

* Les changements de conductivité électrique et le pH des échantillons étudiés ont été suivis en termes de valeur de chaux Ca(OH)_2 .

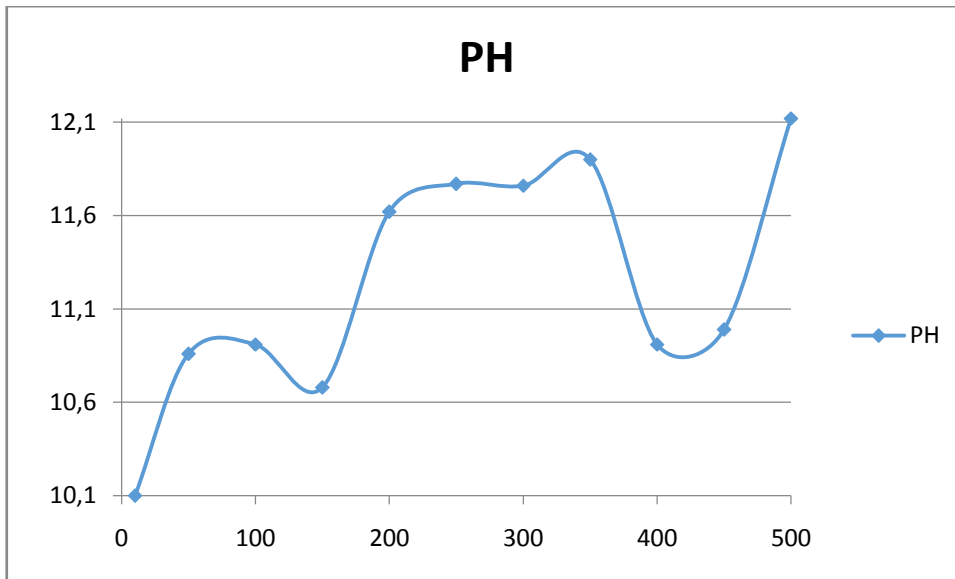


Figure 5 : Les valeurs de PH changent avec la valeur de chaux $\text{Ca(OH)}_2 + 50\text{mg(MgSO}_4)$

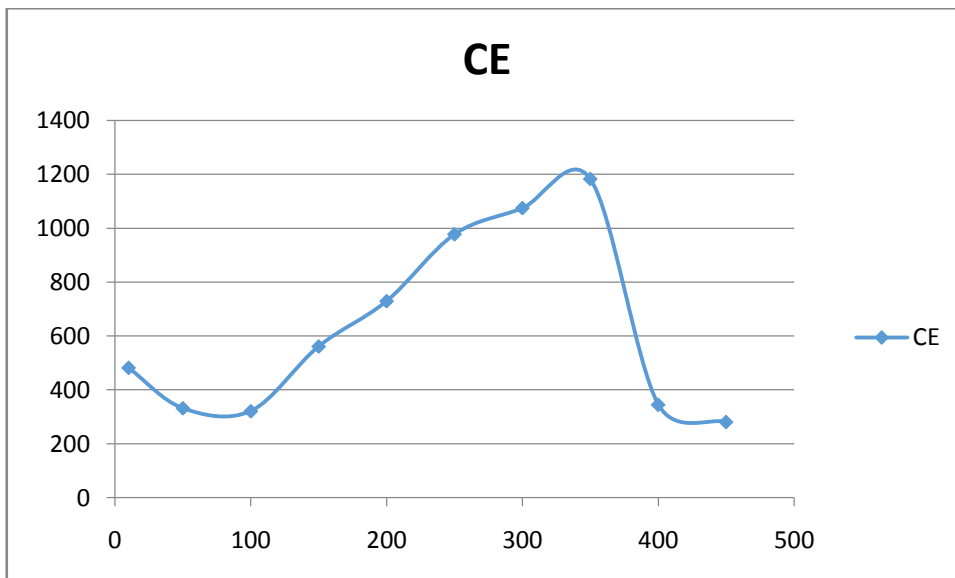


Figure6 : la valeurs de conductivité électrique avec la valeurs de chaux $\text{Ca(OH)}_2 + 50\text{mg(MgSO}_4)$

Interprétation:

Après l'ajoute de la chaux Ca(OH)_2 et 50 mg/l de sulfate de magnésium MgSO_4 les sels de calcium et de magnésium sont sédimentés et le système a atteint son équilibre, et à la fin de la réaction nous enregistrons une diminution de la conductivité électrique dans les échantillons d'eau étudiés à 281ms/cm après l'ajout du 450mg/l de la chaux.

* On remarque l'augmentation de la valeur du pH, de 10,11 à 12,12 dans les eaux étudiée avec l'augmentation de chaux ajoutée.

Résultats et discussion

*On remarque une diminution accrue de la concentration en ions fluorure de 18%, après ajout de 500 mg / l de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et 50 mg / l de sulfate de magnésium $[\text{MgSo}_4]$, par rapport à l'addition précédente de la même quantité de chaux, et la valeur optimale d'addition de chaux est estimée à 450 mg / l et 50 mg / l de sulfate de magnésium, pour obtenir une concentration de fluorure de 1,48 mg / l, conformément aux normes internationales (1,5 mg / l).

V.4 Propriétés physicochimiques après la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et 150 mg de sulfate de magnésium (MgSo_4)

Nous préparons (11) échantillons à partir de l'eau d'étude avec un volume de 250 ml pour l'échantillon, nous ajoutons des concentrations croissantes de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (10, 50, 100, 150, 200, 250.300. 350. 400. 450. 500) (mg / l), Avec l'ajout de (150) mg de sulfate de magnésium MgSo_4 , Au temps de mélange et la réaction on mesure la conductivité électrique CE et le PH pendant une heure chaque 10 minutes. Et après ça on filtre et titrer les ions fluorure. Quelques résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant et le reste voir l'annexe.

Tableau 11 :les valeurs de la conductivité électrique et le PH et concentration de fluor des

Le numéro d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Concentration de choux	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
PH	10.27	10.7	10.95	11.13	11.35	11.68	11.75	11.87	11.95	12.01	12.09
CE	195	279	386	738	738	990	1011	1126	1527	1858	1946
Concentration de fluorure F^-	2.21	2.19	2.18	1.98	1.95	1.9	1.8	1.77	1.73	0.98	0.61

échantillons étudiés Lors de l'ajout de chaux seule+150 mg de Sulfate de magnésium MgSo_4

* Les changements de conductivité électrique et le pH des échantillons étudiés ont été suivis en termes de valeur de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +150mg(MgSo_4).

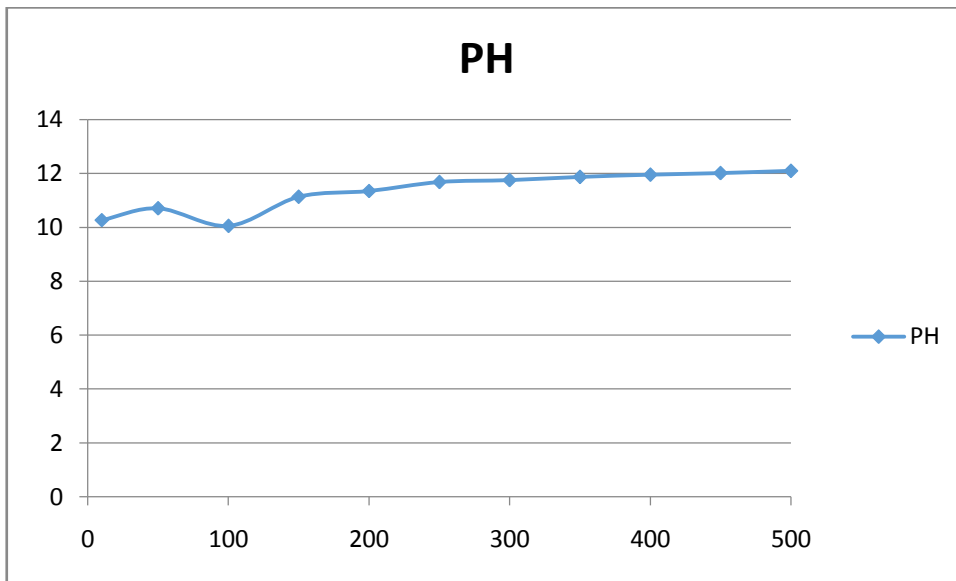


Figure7 : Les valeurs de PH changent avec la valeur de chaux $\text{Ca(OH)}_2+150\text{mg(MgSO}_4)$

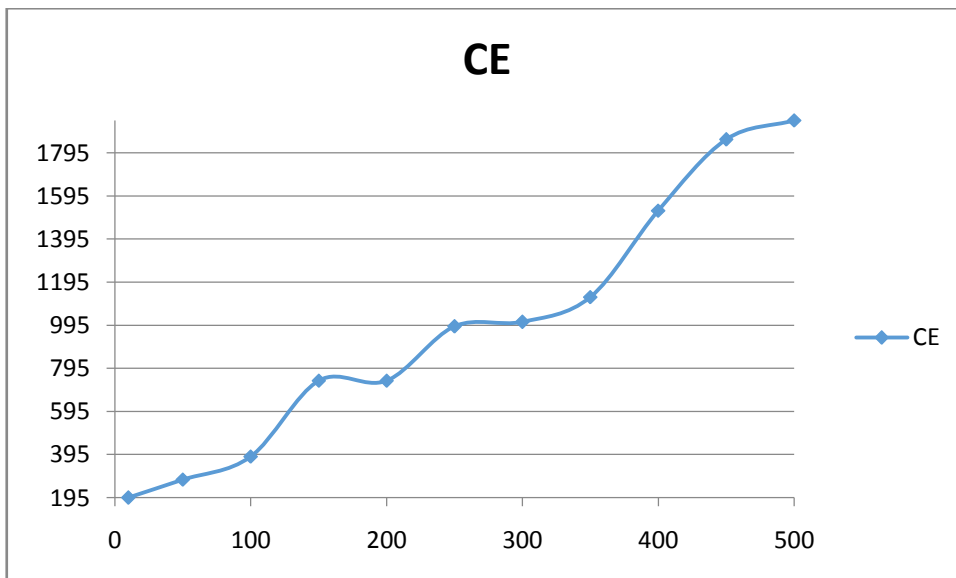


Figure8 : la valeurs de conductivité électrique avec la valeurs de chaux $\text{Ca(OH)}_2+150\text{mg(MgSO}_4)$

Interprétation

Après l'ajoute de la chaux Ca(OH)_2 et 150 mg/l de sulfate de magnésium MgSO_4 les sels de calcium et de magnésium sont sédimentés et le système a atteint son équilibre, et à la fin de la réaction nous enregistrons une diminution de la conductivité électrique dans les échantillons d'eau étudiés à 1946ms/cm après l'ajout du 500mg/l de la chaux.

Résultats et discussion

* On remarque l'augmentation de la valeur du pH, de 10,27 à 12.09 dans les eaux étudiée avec l'augmentation de chaux ajoutée.

*On remarque une diminution accrue de la concentration en ions fluorure de 45%, après ajout de 500 mg / l de chaux Ca(OH)_2 et 150 mg / l de sulfate de magnésium $[\text{MgSO}_4]$, par rapport à l'addition précédente de la même quantité de chaux. mais avec un pourcentage plus élevé.

*Les changements de La concentration de fluor lors de l'ajout de la chaux seuls et lors de l'ajout de chaux avec du sulfate de magnésium à différentes concentrations.

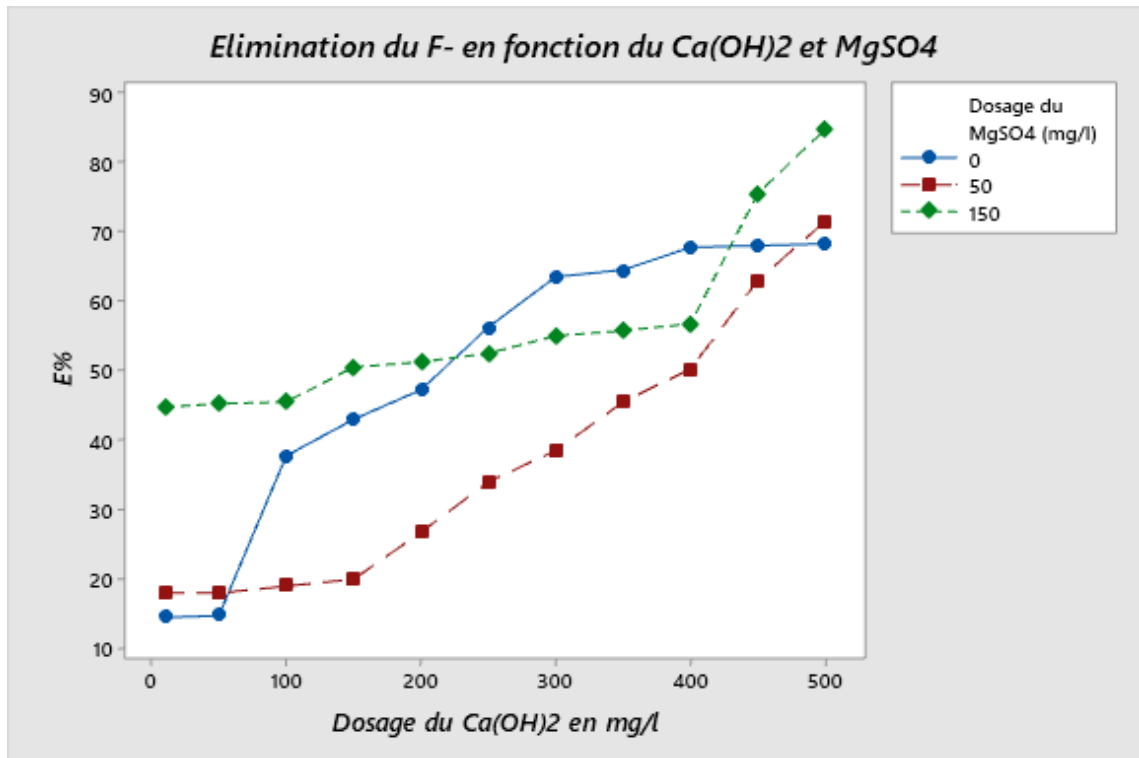


Figure 9 : Elimination du F^- en fonction du Ca(OH)_2 et MgSO_4

V.5 Conclusion

A travers les résultats obtenus, nous constatons que la valeur de la concentration en ions fluorure dans l'eau étudié dépasse les normes de l'Organisation mondiale de la santé (1,5 mg /l). et pour réduire cette valeur nous avons utilisé la méthode de traitement à la chaux Ca(OH)_2 , où la concentration a diminué à 15%, et lors de l'ajout de sulfate Magnésium $[\text{MgSO}_4]$ à la chaux, ce pourcentage augmente en fonction des quantités ajoutées de sulfate de magnésium $[\text{MgSO}_4]$, où il augmente à 18% après addition de 50 mg/l de sulfate de magnésium, et à 45% après addition de 150 mg/l de sulfate de magnésium.

Nous concluons de ces ajouts et résultats que la deuxième méthode est la meilleure en termes de concentration d'addition et de pourcentage de Diminution concentration de fluorure.

An orange scroll graphic with a gradient from light to dark orange, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the top right, both with rounded ends and a slight shadow.

**conclusion
générale**

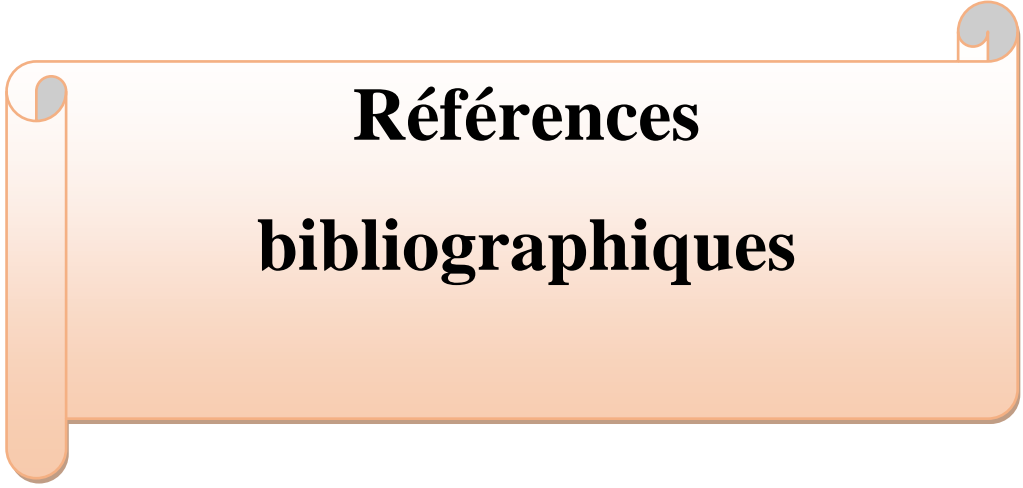
Conclusion générale

Grace à cette étude, nous avons tenté d'identifier l'un des composants les plus importants de l'eau potable. Il a un grand impact sur la santé humaine et son environnement, qui est le Floride. Le Floride est considéré comme un élément oxydant très puissant car il acquiert des électrons d'autres matériaux, ce qui est dû à sa forte négativité électrique et se trouve dans les légumes, les fruits, le thé et d'autres cultures. Mais l'eau potable est le plus grand contributeur à l'apport quotidien de Floride pour le corps humain.

Et afin de déterminer et réduire sa concentration dans l'eau étudiée. Et obtenir une concentration selon les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS). Avec lequel vous spécifiez le focus approprié (1.5 l/mg).

Il existe plusieurs façons de se débarrasser de la concentration excessive de Floride. Y compris la sédimentation, l'adsorption et les membranes. Dans cette étude, nous avons choisi de réduire sa concentration en ajoutant de la chaux Ca(OH)_2 et sulfate de magnésium MgSO_4 .

Après avoir effectué les expériences nécessaires et analysé et étudié les résultats. Nous l'avons trouvé en utilisant la thérapie à la chaux Ca(OH)_2 , la concentration était réduite à 15%, lorsque la concentration d'ions Floride a diminué de 3.42 à 1.27l/mg. La valeur optimale sélectionnée dans cette note est 450l/mg de la chaux Ca(OH)_2 avec 50l/mg de sulfate de magnésium MgSO_4 , lorsque la concentration d'ions Floride a diminué de 3.28 à 1.48l/mg. et c'est la valeur qui répond aux normes internationales (1.5l/mg).



**Références
bibliographiques**

Références Bibliographiques

1. annane.o:amelioration de la technique de defloration par le nouveau procede d electrococoagulation bipolaire . mémoire de magister . chimie de l'environnement . universite mouloud mammeri de tizi-ouzou.2007/2008
2. baouia k. et messaitfa a., (2015). distribution and removal of fluoride ions in the drinking waters in the algerian south (ouargla as a showcase), energy procedia.; 294 - 300.In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
3. bellalem a. defluoruration des eaux potables de ouargla par la chaux et sulfate d'aluminium .master 2.ingénierie de l'eau . kasdi merbah ouargla.2013/2014.
4. belmabdi a., (2009). distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments. evaluation du risque de la fluorose dans deux communautés du sud est algérien (ouargla et el-oued), mémoire de magister, université deouargla, 62 p. + annexe. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
5. belmabdi a., messaitfa a., (2011). distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments. evaluation du risque de la fluorose dans deux communautés du sud-est algérien ouargla et el- oued, tunis. j. med. plantsnat. prod., 5: 113 – 117. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
6. bouameur.a et boudia.a : caracterisation hydrochimique et qualite des eaux souterraines de la nappe karstique de saida.mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique.ressources en eau. universite dr. moulay tahar de saïda.2016/2017
7. burkhalter r.a., mix t.j., mccall m.f., provost d.o. (1984). assessing cyanidecontamination fiom an aluminum smelter. environmental sampling for hazardous wastes. american chernical society, washington: p 15-26.In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
8. charlot a. « réactions chimiques en solution. analyse qualitative minérale ». editions masson 1969.In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement.

Références Bibliographiques

université kasdi marbah ouargla.2016/2017

9. clays for defluoridation of natural waters. msc dissertation, faculty of science, rand afrikaans university (2004)

10. david r., (2009). lide, crc handbook of chemistry and physics, crc press inc, 2009, 90 éd., 2804 p., relié (isbn 978-1-420-09084-0). In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017

11. fleischer, mdc., (1953). recent estimates of the relative abundance of the elements in the earth's crust. circular no 285, us geological survey, washington. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017

12. khammar.h: hydrochimie et qualité des eaux. cours et travaux pratiques. 1ère année master ecologie des milieux naturels. universite larbi ben m'hidi oum el bouaghi.2018/2019

13. lewis d.w. et limeback h.,(1996). comparison of recommended and actual mean intakes of fluoride by canadians, journal (canadian dental association), 62(9): 708-709, 712-715. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017

14. mazet p., (2002). les eaux souterraines riches en fluorures dans le monde. mémoire de dea en science de l'eau dans l'environnement continental, maison des sciences de montpellier, rapport de stage, p. 45. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017

15. messaitfa a.,(2008). fluoride contents in groundwaters and the main consumed foods (dates and tea) in southern algeria region", environmental geology, 55:377 - 383. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017

16. mezane s. defluoruration des eaux potables de la ville de ouargla par précipitation et osmose inverse. master 2 .traitement épuration et gestion des ressources en eaux .université kasdi merbah ouargla .2016/2017

17. oms (1972), fluor et santé, série de monographie, genève, 59. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire

Références Bibliographiques

- master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
18. pierre m., (2002). les eaux souterraines riches en fluor dans le monde, mémoire de dea sciences de l'eau dans l'environnement continental, université des sciences et technologies montpellier ii, 36 p. + annexes .In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
19. pontie m., schrotter j-c., lhassani a. et diawara c.k. (2006). traitement des eaux destinées à la consommation humaine élimination domestique et industrielle du fluor en excès, l'actualité chimique, n° 301-302 : 1 - 8.In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
20. rozel d., (2012). les fluoroses des dents antérieures, thèse de diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire, univ. claudes bernard-lyon i, france, 41 page
21. samb, f., (2004). problématique du fluor dans l'alimentation en eau potable du sénégal. analyse de la situation - proposition de solution. projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur, univ. cheikh anta diop, dakar, 64 p.+ annexes. In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
22. taylor s.r., (1964). abundance of chemical elements in the continental crust; a new table. geochim. cosmochim. acta, 28(8) : 1273 - 1285.In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/2017
23. travi y. (1993). hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du sénégal, hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines, mémoire n°95, issn 0302– 2684, p.161.In ayachi omar. a: défluoruration des eaux potables d' ouargla : cas de la poudre d' os et de la chaux. Mémoire master académique. génie de l'environnement. universite kasdi marbah ouargl.2016/20



Annexes

Annexes

Le temps	Le numéro d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Concentration de choux	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
0	PH	7.43	10.74	11.29	11.5	11.5	11.7	11.93	11.96	12.04	12.08	12.14
	CE	70	184	339	585	616	1083	1189	1292	1590	1642	1026
10	PH	7.39	10.81	11.35	11.62	11.72	11.76	11.92	12.03	12.08	12.14	12.15
	CE	76	174	357	629	854	1040	1286	1494	1797	1971	1075
20	PH	7.41	10.83	11.01	11.56	11.8	11.83	11.97	12.01	12.09	12.09	12.03
	CE	83	163	329	623	856	1016	1264	1481	1770	1848	1987
30	PH	7.34	10.28	11.16	11.59	11.76	11.82	11.98	12.02	12.09	12.18	12.18
	CE	80	125	307	582	821	1042	1259	1578	1629	1952	2098
40	PH	10.1	10.61	11.2	11.6	11.68	11.84	11.97	12.01	12.13	12.16	12.2
	CE	102	143	292	565	752	991	1197	1458	1734	1880	2061
50	PH	9.74	10.73	11.25	11.56	1.73	11.89	11.95	12.02	12.1	12.13	12.21
	CE	80	129	287	575	751	983	1190	1410	1635	1797	2016

Annexes

	PH	9.43	10.54	11.19	11.61	11.74	11.84	11.99	12.01	12.1	12.12	12.14
60	CE	81	124	279	559	755	969	1172	1361	1654	1700	1892
	Concentration de fluor F-	3.42	3.41	2.49	2.28	2.11	1.75	1.46	1.42	1.29	1.28	1.27

Annexes

Le temps	Le numéro d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Concentration de choux	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450
0	PH	7.43	10.74	11.29	11.5	11.5	11.7	11.93	11.96	12.04	12.08	12.14
	CE	70	184	339	585	616	1083	1189	1292	1590	1642	1026
10	PH	7.39	10.81	11.35	11.62	11.72	11.76	11.92	12.03	12.08	12.14	12.15
	CE	76	174	357	629	854	1040	1286	1494	1797	1971	1075
20	PH	7.41	10.83	11.01	11.56	11.8	11.83	11.97	12.01	12.09	12.09	12.03
	CE	83	163	329	623	856	1016	1264	1481	1770	1848	1987
30	PH	7.34	10.28	11.16	11.59	11.76	11.82	11.98	12.02	12.09	12.18	12.18
	CE	80	125	307	582	821	1042	1259	1578	1629	1952	2098
40	PH	10.1	10.61	11.2	11.6	11.68	11.84	11.97	12.01	12.13	12.16	12.2
	CE	102	143	292	565	752	991	1197	1458	1734	1880	2061
50	PH	9.74	10.73	11.25	11.56	1.73	11.89	11.95	12.02	12.1	12.13	12.21

Annexes

	CE	80	129	287	575	751	983	1190	1410	1635	1797	2016
60	PH	9.43	10.54	11.19	11.61	11.74	11.84	11.99	12.01	12.1	12.12	12.14
	CE	81	124	279	559	755	969	1172	1361	1654	1700	1892
	Concentration de fluor F-	3.28	3.28	3.24	3.2	2.93	2.64	2.46	2.18	1.99	1.48	1.14

Annexes

Le temps	Le numéro d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Concentration de choux+150mg(MgSo4)										
0	PH	10.37	10.05	11.1	11.04	11.58	11.75	11.77	11.95	12.06	12.11	12.16
	CE	290	172	400	748	748	976	1210	1422	1655	1949	1655
10	PH	10.91	10.09	11.14	11.24	11.65	11.78	11.85	11.89	12.03	12.05	12.10
	CE	307	171	380	742	742	975	1215	1354	1677	1961	2100
20	PH	10.7	10.08	11.06	11.2	11.62	11.71	11.84	11.9	12.01	12.05	12.10
	CE	288	279	362	734	734	972	1045	1200	1530	1923	2000
30	PH	10.27	10.7	10.95	11.13	11.35	11.68	11.75	11.87	11.95	12.01	12.06
	CE	195	279	386	738	738	990	1011	1126	1527	1858	1900
40	PH	10.32	10.73	10.91	11.23	11.49	11.71	11.58	11.8	12	12.03	12.08
	CE	194	285	410	708	708	957	1005	1035	1522	1805	1900
50	PH	10.22	10.74	10.94	11.21	11.53	11.75	11.49	11.98	11.99	12.05	12.10
	CE	200	199	442	655	655	977	1006	1108	1500	1810	1800

Annexes

60	PH	10.3	10.47	10.17	11.13	11.52	11.6	11.66	11.78	11.96	12.1	12.
	CE	206	200	454	617	617	946	946	1175	1452	1845	17
	Concentration de fluor F-	2.21	2.19	2.18	1.98	1.95	1.9	1.8	1.77	1.73	0.98	0.6