

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



*Ecole Nationale Polytechnique*

Département de Génie de l'Environnement

Division laboratoire SEAAL



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'Environnement

**Elimination des traces d'aluminium dans les  
eaux traitées Taksebt par la méthode  
d'adsorption sur Bentonite et par  
l'électrocoagulation**

**Présenté par :** Mlle. ABDERRAHMANI Yasmine

Sous la direction de Mr. Y.KERCHICH, MCA à l'école nationale polytechnique et Mr.

N. HADDADI cadre d'étude technique à SEAAL

**Présenté et soutenu le 30 /09/2021**

**Composition du Jury**

Président	Mr N. MAMERI	Professeur, ENP
Promoteur	Mr Y. KERCHICH	MCA, ENP
Encadreur	Mr N. HADDADI	Cadre d'études (SEAAL)
Examineur	Mr H. BALOUL	MCA, Université de Boumerdes



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



*Ecole Nationale Polytechnique*

Département de Génie de l'Environnement

Division laboratoire SEAAL



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'Environnement

**Elimination des traces d'aluminium dans les  
eaux traitées Taksebt par la méthode  
d'adsorption sur Bentonite et par  
l'électrocoagulation**

**Présenté par :** Mlle. ABDERRAHMANI Yasmine

Sous la direction de Mr. Y.KERCHICH, Professeur à l'école nationale polytechnique et Mr.

N. HADDADI cadre d'étude technique à SEAAL

**Présenté et soutenu le 30 /09/2021**

**Composition du Jury**

Président	Mr M. DROUCHE	Professeur, ENP
Promoteur	Mr Y. KERCHICH	MCA, ENP
Encadreur	Mr N. HADDADI	Cadre d'études (SEAAL)
Examineur	Mr H. BALOUL	MCA, Université de Boumerdes

**ENP 2021**

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو التوصل إلى حل مشكلة بقايا الألمنيوم في المياه الصالحة للشرب باستعمال طريقتين

الأولى باستعمال طريقة الامتزاز باستخدام المواد الماصة المعدلة المتمثلة في البنتونيت. بعد القيام بالتحاليل وجدنا أن الكميات المناسبة لفعالية الامتزاز هي تركيز 250 مجم / لتر للبنتونيت وسرعة التحريك 200 دورة / دقيقة بالإضافة إلى زمن الاستقرار 40 دقيقة

الطريقة الثانية تتمثل في طريقة الكتروكيميائية تعتمد على جهاز متخصص يمكننا من التخلص من ملوثات الماء بدون إضافة أي مواد كيميائية للمياه

الكلمات الدالة معالجة المياه/ البنتونيت /الامتزاز/ بقايا الألمنيوم/الكتروكيمياء /التخثير الكهربائي

### **Abstract:**

The objective of this study is to treat via 2 different processes, the aluminium traces contained in treated water. The first is a physicochemical treatment which is the adsorption, this aluminium came from the excessive use of aluminium Sulfate (coagulant) which causes microscopic impurities to clump together into larger and larger particles which will settle to the bottom.

For the adsorption, we used bentonite which showed a higher adsorption of toxic metals. We have optimized the necessary parameters to guarantee better efficiency, we have also carried out the adsorption isotherms. Bentonite powder showed a very high trace adsorption capacity even in small amounts (up to 79% removal)

The second is an electrochemical process (electro coagulation) which can replace the use of chemical coagulants by electrochemical process.

Key words: Water treatment/ Aluminium/ Bentonite/ Adsorption/ electrochemistry/ electro coagulation.

**Résumé** — La cinétique d'adsorption des traces d'aluminium dans les eaux traitées par deux méthodes : L'adsorption et l'électrocoagulation

Dans le cas de la bentonite. L'objectif de cette étude est de déterminer les conditions optimales d'activation de la bentonite. Nous avons optimisé les paramètres nécessaires pour garantir une meilleure efficacité, nous avons également réalisé les isothermes d'adsorption. La bentonite en poudre a montré une capacité très élevée d'adsorption des traces même en faibles quantité (jusqu'à 79% d'élimination)

Dans le cas de l'électrocoagulation, un système électrochimique a été conçu pour le traitement de brute pour éviter l'usage des coagulants chimiques. Nous avons étudié l'effet de certains paramètres tels que le pH (pH=7), le courant imposé (0,08) et le temps de traitement (7 minutes) pour lesquels on a eu les meilleurs rendements d'élimination de pollution.

Mots clés : Traitement des eaux/ Aluminium/ Cinétique / adsorption / bentonite/ électrochimie/ Courant / électrocoagulation

# Dédicaces

*Au nom de Dieu le tout puissant qui ma donné la volonté, la patience et qui m'avait mis sur le bon chemin pour arriver à ce jour-là, je dédie ce modeste travail*

*A la mémoire de mon grand-père et ma grand-mère qui sont toujours présent dans mon cœur.*

*A ma chère maman,*

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection, tu n'as cessé de me soutenir et m'encourager tout au long de mon parcours. En ce jour mémorable, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.*

*A mon papa,*

*Tu as su m'inculper le sens de la responsabilité, tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite, je te dois ce que je suis aujourd'hui. Merci infiniment et que dieu te garde.*

*A mes frères MEHDI et ABDELHADI*

*A ma grand-mère et mon grand père*

*A ma chère Tante Nadia,*

*Je ne saurai jamais te remercier pour ton soutien et ton amour envers moi.*

*A toute ma famille sans exception.*

*A ma marraine Mounira DJEBBAR,*

*Je te remercie pour ton soutien, tes conseils et ta tendresse.*

*A tous mes amis (ies) A. Farid, A. Mohamed, B. Ismail, B. Narimene, A. Amel, S. Macelia, D. Melissa, M. Aicha, K. David, B. Rayane, B. Naima, A. Meryem, O. Martha, S. Houda, B. Bouchra, M. Sabrina, S. Sana.*

*Ainsi qu'à tout qui me sont chers.*

*Yasmine ABDERRAHMANI*

# REMERCIEMENT

*D'abord nous tenons à remercier, le bon Dieu de nous avoir donné la force afin d'accomplir ce travail*

*Evidemment, je remercie toutes les personnes que j'ai côtoyées lors de ce stage et dont la présence fut tellement bénéfique, autant sur le plan professionnel que personnel.*

*J'exprime mes remerciements à mon promoteur **Yacine KERCHICHE** et à mon encadreur Monsieur **Noredine HADDADI**, qu'en plus du savoir scientifique acquis auprès d'eux, on a tenté de nous positionner à l'interface, entre l'expérience d'un ingénieur et les compétences d'un chimiste, Avec ces deux encadrements, le temps nous a semblé trop court, sans bénéficier pleinement de leurs expertises respectives.*

*Je tiens également à remercier Professeur **Abdelmalek CHERGUI**, Docteur **Ouiza KITOUS**, pour leur aide et surtout pour leur gentillesse.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de jury : le président professeur **Nabil MAMERI**, l'examineur **Mr Hakim BALOUL**, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de nous avoir honoré par leur présence le jour de la soutenance.*

*J'exprime notamment ma profonde gratitude à nos professeurs qui, en plus de nous avoir fait don de leur précieuse érudition, nous ont fait aimer notre spécialité encore plus chaque jour.*

*Merci à notre école de nous avoir offert la chance de découvrir un monde qui dès lors nous était méconnu.*

*Yasmine ABDERRAHMA NI*

# TABLE DE MATIERE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

## INTRODUCTION GENERALE.....15

### Chapitre 1 : Généralités sur l'eau

Introduction.....	18
Définition des eaux potables.....	18
Principaux paramètres physico-chimiques et chimiques mesurables.....	18
Température .....	18
pH.....	19
Conductivité.....	19
Turbidité .....	19
Matières en suspension MES.....	20
Oxygène dissous et % de saturation en O <sub>2</sub> .....	20
Dureté de l'eau.....	20
Alcalinité.....	20
Demande biochimique en oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO) .....	20
Paramètres organoleptiques.....	21
Paramètres indésirable.....	21
Normes de potabilité .....	22

### Chapitre 2 : Traitement d l'eau

Définition du traitement .....	25
Importance du traitement .....	25
Fonctionnement de la station .....	25
Pré chloration .....	25
Aération.....	25
Coagulation-Floculation.....	26
Décantation.....	26
Filtration .....	26
Désinfection.....	27

# TABLE DE MATIERE

## Chapitre 3 : Adsorption

Définition de l'adsorption.....	29
Domaine d'application de l'adsorption.....	29
Mode d'action.....	29
Les forces d'adsorption.....	29
Les forces de Van DerWaals.....	29
Les forces coulombiennes.....	30
Les liaisons hydrogène.....	30
Les interactions hydrophobes.....	30
Les types d'adsorption .....	30
La physisorption.....	30
La chimio sorption.....	30
Les adsorbants.....	30
Principaux types d'adsorbants.....	31
Bentonite.....	31
Origine de la bentonite.....	31
La cinétique d'adsorption .....	31
Isotherme d'adsorption .....	31
Classification des isothermes d'adsorption .....	32
Modèle de Langmuir .....	33
Modèle de Freundlich.....	34
Aluminium, L'élément à adsorber .....	35
Généralités sur l'Aluminium .....	35
Les voies d'exposition de l'Aluminium .....	35
Impact sur la santé humaine .....	36
Effet sur le système nerveux .....	36

## Chapitre 4 : Electrocoagulation

Historique de l'électrochimie.....	38
Quelques notions sur l'électrochimie.....	39
L'électrocoagulation.....	40
Principe de l'électrocoagulation.....	40
Réactions aux électrodes.....	41



# TABLE DE MATIERE

## Chapitre 5: MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la région d'étude .....	44
Situation géographique du barrage Taksebt.....	44
Présentation de la station de potabilisation.....	45
Capacité de la station.....	45
Méthode d'échantillonnage .....	46
Matériels et produits .....	47
Le matériel utilisé.....	47
Produites utilisés .....	48
Principaux caractéristiques de la bentonite utilisée .....	49
Méthode d'analyse physico-chimique .....	50
Analyses physico-chimiques de L'eau traitée.....	50
Mesure de la turbidité.....	50
Mesure du pH .....	<b>5Error! Bookmark not defined.</b>
Mesure de la conductivité.....	<b>5Error! Bookmark not defined.</b>
Mesure de la température .....	52
Dosage d'Aluminium par méthode kit LCK301 .....	52
Essai de jar-test .....	54
Partie adsorption.....	55
Optimisation des paramètres.....	55
La centrifugation .....	56
Isothermes d'adsorption .....	57
Partie électrochimique .....	59
Matériel utilisé.....	59
Produits utilisés.....	61
Etude paramétrique .....	<b>6Error! Bookmark not defined.</b>
Influence du pH .....	<b>6Error! Bookmark not defined.</b>
Cinétique de traitement électrochimique .....	63
Détermination du temps nécessaire.....	63
Influence du courant.....	63

# TABLE DE MATIERE

## Chapitre 6: Résultats et Discussion

Résultat des études physicochimiques .....	66
Résultats d'optimisation de bentonite en poudre .....	68
Isothermes d'adsorption .....	73
Résultats et discussion partie électrochimie .....	76
Etude paramétrique .....	76
Cinétique de traitement électrochimique .....	78
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>100</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Classification des eaux d'après leur Ph (Apfelbaum ,1995).....	19
Tableau 5.1: Caractéristiques de la station de traitement.....	46
Tableau 5.2 : Equipements utilisés pour les analyses physico-chimiques.....	47
Tableau 5.3 : liste des réactifs et produits.....	48
Tableau 5.4 : caractéristiques de cette bentonite.....	49
Tableau 5.5: différentes analyses effectués.....	50
Tableau 5 .6: Jar-test variation de concentration de bentonite.....	56
Tableau 5 .7: Jar test variation de temps de décantation eau traitée taksebt.....	57
Tableau 5.8: Variation de la vitesse d'agitation.....	57
Tableau 5.9: Cinétique d'adsorption.....	58
Tableau 6.1 : Résultats obtenus sur la Variation de la concentration de bentonite.....	68
Tableau 6.2 : Résultats obtenues sur la centrifugation.....	69
Tableau 6.3 : Résultats de variation de temps de décantation eau traitée taksebt.....	70
Tableau 6.4: Résultats de variation de la vitesse d'agitation.....	71
Tableau 6.5: Résultats après optimisation de tous les paramètres.....	72
Tableau 6.6 : Paramètres représentatifs du model de Freundlich.....	74
Tableau 6.7 : Paramètres représentatifs du model de Langmuir.....	75
Tableau 6.8 : Variation du temps.....	78
Tableau 6.9 : Pesée de la masse du filtrat.....	79
Tableau 6.10: Influence du courant.....	80

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Ouvrage d'entrée et d'aération.....	26
Figure 1.2: Les bassins de filtration à sable.....	27
Figure 2.1: Représentation des différentes isothermes d'adsorption.....	33
Figure 3.2: Abondance des éléments chimiques sur terre (ROSIN et al. 1990).....	35
Figure 4.1 : Principe d'électrocoagulation.....	40
Figure 5.1: Localisation du barrage de Taksebt (Google Earth).....	44
Figure 5.2: Localisation de la station de traitement des eaux potables Taksebt.....	45
Figure 5.3 : Laboratoire de la station.....	46
Figure 5.4 : entrée d'eau brute.....	46
Figure 5.5 : place d'échantillonnage .....	46
Figure 5.6 : pH mètre WTW avec terminal 730 et électrode en verre.....	47
Figure 5.7 : Conductimètre, WTW avec terminal 740.....	47
Figure 5.8 : Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000.....	48
Figure 5.9 : Turbidimètre .....	48
Figure 5.10 : Bentonite en poudre.....	48
Figure 5.11: Réactif A (Ammonium acétate ; méthanol ; sodium acétate).....	49
Figure 5.12 : Réactif B (Acide ascorbique ; sodium thiosulfate).....	49
Figure 5.13 : Turbidimètre .....	51
Figure 5.14 : Conductimètre.....	52
Figure 5.15 : réactif A et B.....	53
Figure 5.16 : Les tubes à LCK301, le réactif A et le réactif B.....	54
Figure 5.17: Jar-test de la station SEAAL.....	55
Figure 5.18 : centrifugeuse C3i multifonction.....	57
Figure 5.19 : Tube de la centrifugeuse.....	57
Figure 5.20 : dispositif d'électrocoagulation.....	59
Figure 5.21 : Générateur de tension.....	60
Figure 5.22: Becher 1L.....	60

## LISTE DES FIGURES

Figure 5.23 : Filtres.....	60
Figure 5.24 : Micropipettes.....	61
Figure 5.25 : Agitateur.....	61
Figure 5.26 : Rompe de filtration.....	61
Figure 5.27 : Polymère flocculant.....	61
Figure 5.28: Acide chlorhydrique et hydroxyde de sodium.....	62
Figure 5.29: échantillons a différents pH .....	63
Figure 5.30 : variation du courant.....	64
Figure 6.1 : Variation de température dans les eaux traitées et brutes.....	66
Figure 6.2 : Variation de turbidité des l'eau traitée et brutes.....	66
Figure 6.3 : Variation de pH des eaux brutes et traitées.....	67
Figure 6.4 : Variation de conductivité ET et EB.....	67
Figure 6.5 : Variation de l'aluminium dans les eaux traitées.....	68
Figure 6.6 : Taux d'aluminium dans les eaux après variation de la concentration.....	69
Figure 6.7 : Turbidité avant et après centrifugation .....	70
Figure 6.8 : Taux d'aluminium dans les eaux selon le temps de décantation.....	71
Figure 6.9 : Taux d'aluminium dans les eaux selon la vitesse d'agitation.....	71
Figure 6.10 : Taux d'aluminium après optimisation.....	72
Figure 6.11 : Isotherme d'adsorption de l'aluminium sur la bentonite.....	73
Figure 6.12 : Isotherme d'adsorption de Freundlich de l'aluminium sur la bentonite.....	74
Figure 6.13: Isotherme d'adsorption de Langmuir des Aluminium sur la bentonite.....	75
Figure 6.14 : Le pH après traitement électrochimique en fonction du pH initial.....	76
Figure 6.15 : La conductivité avant et après traitement électrochimique en fonction du pH initial.....	77
Figure 6.16 : L'Absorbance UV avant et après traitement électrochimique en fonction du pH initial.....	77
Figure 6.17: Le rendement de décoloration après traitement en fonction du pH initial.....	78

## LISTE DES FIGURES

Figure 6.18 : Le % de décoloration et élimination UV après traitement électrochimique en fonction du temps.....	79
Figure 6.19 : La masse du filtrat après traitement en fonction du temps.....	80
Figure 6.20 : UV en fonction du courant.....	81
Figure 6.21 : Couleur en fonction du courant.....	81
Figure 6.22 : Le rendement de décoloration et élimination UV après traitement électrochimique en fonction du courant.....	81

## LISTS DES ABREVIATIONS

**tr/min** : Tour par minute

**DBO** demande biochimique en oxygène

**DCO** : demande chimique en oxygène

**Pt-Co** : Platino-Cobalt

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**pH** : Potentiel Hydrogène

**MES** : Matière en suspension

**HCl** : Acide chlorhydrique

**NaOH** : L'Hydroxyde de sodium

**SEAAL** : Société des Eaux et d'assainissement d'Alger

**EC** : électrocoagulation

**t** : durée (s)

---

*INTRODUCTION GENERALE*

---



# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction général

L'eau est un élément essentiel à la vie, elle représente un pourcentage très important dans la constitution des êtres vivants (Hamed et al, 2012) mais, l'eau prélevée dans le milieu naturel n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine car des éléments liés à l'activité de l'homme peuvent être directement ou indirectement introduits. La qualité des eaux de surface souvent polluées, et donc très variable et ne peut être traitée qu'au cas par cas par des traitements appropriés à sa nature et à son degré de pollution (Lounnas, 2009). Pour pallier les problèmes de pollution qui menacent la potabilité de l'eau, la technologie moderne nous a permis la conception de stations de traitement des eaux permettant l'élimination des matières en suspension par le procédé de clarification et la destruction des microorganismes par le procédé de désinfection.

Dans le traitement de clarification d'une eau de surface on utilise les sels d'aluminium ou de fer comme coagulant, la présence de ces produits dans l'eau peut poser un problème sanitaire majeur (Bourrié, 2018). Parfois d'autres adjuvants de floculation sont utilisés comme les colloïdes de même charge que les particules à flocculer, ajoutés pour augmenter la concentration et le nombre de chocs entre les particules (Lounnas, 2009). Les sels d'alumine peuvent porter préjudice à long terme pour la santé du consommateur et pour l'environnement. Ils peuvent limiter la fertilité des sols acides et le développement des plantes (Bourrié, 2018) et favoriser la maladie d'Alzheimer. C'est pour cela les nouvelles recherches ne cessent de remettre en cause la norme actuelle établie par l'OMS qui est de 0,2 mg/l et ce suite à plusieurs griefs portés contre les sels d'alumine d'où leurs retraits dans le cosmétique et l'alimentaire.

L'adsorption s'avère efficace dans la rétention et l'élimination des composés organiques et minéraux solubles d'une eau sans être modifiés. Le charbon actif est considéré comme l'un des adsorbants les plus polyvalents et de nombreux travaux font ressortir son efficacité. Une solution alternative consisterait à utiliser d'autres matériaux adsorbants l'alumine activée, la goethite, le kaolin et les argiles comme les bentonites qui furent les premiers adsorbants utilisés pour le dégraissage de la laine, puis pour la floculation d'eaux turbides (Lahryss, 2013). C'est sur cette optique d'adsorption que notre travail est orienté afin d'optimiser la clarification et les concentrations d'aluminium résiduel dans les eaux traitées du barrage de Taksebt.

Le procédé d'électrocoagulation est bien connu aussi et très utilisé dans les traitements des eaux usées car le développement des nouveaux matériaux adsorbants sont plus sélectif, régénérer facilement à moindre coût,

Notre problématique se résume en ces deux questions suivantes :

Pouvons-nous réduire la concentration de l'aluminium résiduel présent dans l'eau traitée de la station SEAAAL par des adsorbants naturels tel que la bentonite?

## INTRODUCTION GENERALE

Pouvons-nous remplacer le système de coagulation chimique par un système électrochimique tel que l'électrocoagulation ?

**Afin de bien structurer notre mémoire nous l'avons divisé en deux parties ; la partie théorique qui inclut 4 chapitres :**

- Le premier chapitre consiste à déterminer les généralités sur les eaux naturelles.
- Le deuxième chapitre présente le traitement de l'eau destinée à la consommation humaine.
- Le troisième chapitre donne une vue générale sur le phénomène d'adsorption et une présentation globale des caractéristiques de l'élément étudié « l'aluminium ».
- Le quatrième chapitre est réservé pour le système électrochimique

En fin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

**La partie pratique est de même divisée en 2 parties :**

- La première est une description de la méthodologie utilisée pour la réduction de la concentration de l'aluminium résiduel par le procédé d'adsorption et d'électrocoagulation.
- La deuxième est réservée à la discussion des résultats obtenus.
- Conclusion générale.

---

# *CHAPITRE 1*

---

Généralités sur les eaux

# CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux

## 1-1- Introduction

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau. (ARAB, 2015)

L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution des cours d'eau et d'apprécier leur capacité à s'auto épurer.

## 1-2-Définition des eaux potables

Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. Elle doit répondre à des normes établis soit au niveau national ou international (Bourrié, 2018).

Une eau potable est une eau dont la composition et les qualités sont telles qu'elles ne puissent porter atteinte à la santé des consommateurs (Bourrié, 2018).

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricts, fixés par le Ministère de la santé, les critères d'une eau "propre à la consommation, Ils portent sur :

- **La qualité microbiologique** : L'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni Bactérie pathogène.
- **La qualité chimique** : Les substances chimiques autres que les sels minéraux font l'objet des normes très sévères. Ces substances sont dites "indésirables " ou " toxiques", leur présence est tolérée tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil (le fluor et les nitrates par exemple, tandis que les substances aux effets toxiques comme le plomb et le chrome sont tolérées a des teneurs extrêmement faibles.
- **La qualité physique et gustative** : l'eau doit être limpide, claire, aérée et ne doit Présenter ni saveur ni odeur désagréable.

## A- Paramètres

### 1-3- Principaux paramètres physico-chimiques et chimiques mesurables

#### 1-3-1- Température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologique. Certes, toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique (Apfelbaum ,1995)

La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaire chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3° C s'avèrent souvent néfastes.

# CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux

## 1-3-2- pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>).

L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

On admet généralement qu'un pH naturel situé entre 6,5 et 8,5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale (DE VILLERS.J et *al*, 2005).

**Tableau 1.1** : Classification des eaux d'après leur pH (Apfelbaum ,1995).

<b>Ph &lt; 5</b>	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
<b>Ph = 7</b>	pH neutre
<b>7 &lt; pH &lt; 8</b>	Neutralité approche => majorité des eaux de surface.
<b>5.5 &lt; pH &lt; 8</b>	Majorité des eaux souterraines.
<b>pH = 8</b>	Alcalinité forte, évaporation intense.

## 1-3-3- Conductivité électrique (EC)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm, elle est l'inverse de la résistivité électrique. Les sels minéraux en solution résultent d'un mélange de cations et d'anions ; ils conduisent un courant électrique quand une tension est appliquée entre deux électrodes placées dans l'eau. Plus il y a d'ions et plus la conductivité augmente (alors que la résistivité diminue) (Rodier, 1984).

La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm.

## 1-3-4- Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiqués suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire (Rodier, 1984).

# CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux

## 1-3-5- Matières en suspension (MES)

Ce sont toutes particules organiques ou minérales véhiculées par les eaux. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachés par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'être vivants planctoniques notamment les algues. (GIRGENTI, 2011).

Des teneurs élevées de matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissout et limiter, de ce fait, le développement de la vie aquatique. Les normes en vigueur préconisent que les matières en suspension doivent être absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine (Rodier, 1996).

## 1-3-6- Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène

La teneur en oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en 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 que quelques milligrammes par litre.

L'eau saturée d'air à 20°C et sous pression normale contient 9.1 mg/l d'oxygène, il est mesuré avec un oxymètre (Rodier, 2005).

## 1-3-7- Dureté de l'eau (ou titre hydrométrique)

Produite par les sels de calcium et de magnésium contenus dans l'eau. On distingue: une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque du CO<sub>2</sub> dissout par les roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés. (BELGHITI *et al*, 2013).

## 1-3-8- Alcalinité TA et TAC

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydroxyle (OH<sup>-</sup>), de carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et de bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et dans une moindre mesure les ions phosphates (PO<sub>3</sub><sup>4-</sup>) et silicates (HSiO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité, exprimée en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, varie de 10 à 350 mg/l. Elle est augmentée par des apports d'origine urbaine (phosphate-ammoniacque-matière organique) ou industrielles (produits basiques ou acides).

La connaissance de ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau (Potelon, 1998).

## 1-3-9- Charge en matières organiques : demande biochimique en oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue

# CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux

dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O<sub>2</sub> /l (METAHRI, 2012).

La DBO<sub>5</sub> comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO<sub>5</sub> (METAHRI, 2012).

## 1-3-10- Paramètres organoleptiques

- **Couleur**

La coloration de l'eau est due à la présence de matières organiques colloïdales en solution ou en suspension. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité. Les eaux profondes sont rarement colorées, mais les eaux de surface ont souvent une turbidité élevée. (BOUZIANI, 2000).

Les eaux chargées prennent souvent une coloration jaune verdâtre.

L'échelle de couleur Platine-Cobalt ou échelle d'Hazen est une échelle de comparaison visuelle de la couleur des liquides clairs et transparents. L'échelle va de 0 (eau distillé) à 500 (jaune clair) unités Hazen équivalents à partie par million de platine-cobalt dans l'eau. Cette échelle permet de déterminer l'altération d'un liquide car le changement de sa couleur (généralement un jaunissement) peut être le signe d'une contamination de ce liquide. On assiste à travers ce traitement à un changement de couleur invisible car de base la brute est incolore mais à l'aide d'un programme enregistré sur le spectrophotomètre, on réalise qu'il y a une décoloration allant de 14 à 0.45 Pt-Co (Platino-Cobalt) (ABDERRAHMANI, 2019)

- **Odeur et goût**

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler. (Rodier, 2009).

## 1-3-11- Paramètres indésirables

L'eau présente certains éléments dits indésirable, qui devraient être prises en considération.

# CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux

## - Fer

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux  $Fe^{2+}$ , le fer ferrique  $Fe^{3+}$  et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques,.....) et minérales (silicates, phosphates, ...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde,  $Fe(OH)_3$ . Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait augmenter la concentration du  $Fe(II)$  soluble en solution (Hem, 1972). La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, de la corrosion des canalisations métalliques, de l'utilisation de sels ferriques comme coagulants et des rejets des secteurs industriels qui traitent le fer (Santé Canada, 1978). Pour des raisons de qualité esthétique ou organoleptique, la concentration du fer dans l'eau potable est fixée de  $\leq 0,3$  mg/L (OMS, 2002) (BEHLOUL, 2009).

## - Manganèse

Cet élément se trouve dans l'eau à l'état soluble, en suspension ou alors sous forme de complexe. Il ne présente aucun caractère de toxicité prouvée. Cependant et pour des raisons d'ordre organoleptique, la concentration de manganèse dans l'eau potable a été fixée à une valeur  $\leq 0,05$  mg/L (OMS, 1998). La présence de cet élément en fortes concentrations, il donne un mauvais goût aux boissons. Comme le fer, il peut causer des problèmes dans les réseaux de distribution en y favorisant la croissance de microorganismes. Même à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L, le manganèse peut former dans la tuyauterie des dépôts qui peuvent se présenter sous la forme de précipités noirs (santé Canada, 1987) (BEHLOUL, 2009).

## - Cuivre

L'objectif de qualité esthétique pour le cuivre présent dans l'eau potable est de  $\leq 1,0$  mg/L; cet objectif a été fixé pour assurer la palatabilité de l'eau et pour réduire au minimum les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie. Le cuivre est un élément essentiel pour le métabolisme humain et il est bien connu que sa carence entraîne divers troubles cliniques, notamment l'anémie nutritionnelle chez les nourrissons (Santé Canada, 1992) (BEHLOUL, 2009).

## - L'aluminium

Effet écologique : peu d'effets toxiques pour des doses de plusieurs dizaines de mg/l et jusqu'à 1 g/l sur la plupart des organismes vivant ; la toxicité varie suivant la forme chimique (spéciation), elle est nettement plus forte en eaux douces et acides.

A.E.P : limité en distribution à 0,2 mg/l Al (cas général) (GAUJOUS, 1995).

## B- Les normes de potabilité

Les critères de potabilité sont établis sur la base de données scientifique établissant des doses maximal es admissibles (DMA). Une DMA est la quantité d'une substance qu'une



## CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux

personne peut absorber tous apports confondus (alimentaires, hydriques), sans danger, chaque jour, sa vie durant. Cela permet de calculer quelle quantité maximale peut être apportée par l'eau à laquelle on vient ajouter une confortable marge de sécurité. Sachez que la quantité maximale est toujours calculée pour les personnes les plus fragiles (bébés, femmes enceintes, personnes immunodéprimées...) ce qui signifie que toute personne adulte bien portante est d'autant mieux protégée. D'autant que pour plusieurs substances chimiques que l'on peut trouver dans l'eau de façon naturelle ou à cause d'une activité humaine (antimoine arsenic, cadmium, chrome cyanure, certains hydrocarbures mercure, nickel, nitrates, plomb, sélénium, certains pesticides), les normes de potabilité retenues sont calculées en tenant compte de la « marge d'incertitude » qu'on rencontre en toxicologie, c'est-à-dire qu'elles fixent des limites inférieures aux seuils considérés comme acceptables (Voir Annexe I).

---

# CHAPITRE 2

---

*Traitement de l'eau*

## CHAPITRE 2 : Traitement de l'eau

### 2-1- Définition de traitement

La production d'eau potable peut être définie comme la manipulation d'une source d'eau pour obtenir une qualité de l'eau qui satisfait à des buts spécifiés ou des normes érigées par la communauté au travers de ses agences régulatrices (HERNANDAISE, 2006).

### 2-2-Importance du traitement

Ceux-ci peuvent être répartis en trois groupes:

\*La santé publique, qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physico-chimiques et bactériologiques ;

\*L'agrément du consommateur, qui est différent du premier point car une eau peut être agréable à boire tout en étant dangereuse (source polluée...) il s'agit des qualités organoleptiques. Autre ce qui est perçu par les sens olfactifs de l'homme à savoir couleur, odeur et goût, ainsi l'objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit de qualité à un prix raisonnable pour le consommateur (HERNANDAISE, 2006).

\*La protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usagers(robinetteries, chauffe-eau,...) contre l'entartage et/ou la corrosion.

### 2-4- Fonctionnement de la station

#### 2-4-1- Pré-chloration

C'est la première phase de traitement qui consiste à injecter le chlore dans l'eau brute pour : Dégrader la matière organique et Détruire les bactéries, les virus et tous micro-organismesprésentent dans l'eau, et éliminer leurs développements.

La réaction du chlore dans l'eau est la suivante :



#### Aération

Il s'agit d'un système simple de transfert de gaz liquide qui permet la ré-oxygénation de l'eau par son ruissellement par deux entrée à l'ouvrage d'arrive (figure 2.1). L'aération a pour but :

- D'Eliminer et oxyder quelque traces du Fer et du Manganèse.
- D'augmenter la concentration en oxygène dissout dans l'eau.

## CHAPITRE 2 : Traitement de l'eau



Figure 2.1: Ouvrage d'entrée et d'aération

### Coagulation –Floculation

L'ajout du sel métallique (généralement le fer ou l'aluminium), permet de supprimer les répulsions inter colloïdales : les cations métalliques ( $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ ) se lient aux colloïdes et les neutralisent. La station utilise le sulfate d'alumine  $Al_2(SO_4)_3$  comme coagulant avec une vitesse d'agitation élevée. Après la diminution du gradient de vitesse, l'ajout du Poly-électrolyte permet d'agglomérer les particules et les aide à coller les unes aux autres pour former des flocs plus volumineux qui vont se décantent.

#### 2-4-2- Décantation

C'est une technique physique qui vise à retenir l'eau le plus longtemps possible et permet ainsi le dépôt de la plus grande quantité des flocs sous l'effet de leurs poids et de la pente des décanteurs. L'eau claire reste en haut et passe par des petites ouvertures dans des chicanes qui ralentissent la vitesse d'eau et la guide vers la prochaine étape, les flocs obtenus sont éliminés par un système de raclage des sédiments et de purge.

#### 2-4-3- Filtration

Dans le but d'éliminer les petites particules qui n'ont pas été décantées la station utilise un filtre à sable d'un millimètre de diamètre (Figure 2.2). Au-dessous de la couche de sable se trouve une couche de gravier qui permet le passage de l'eau traitée directement aux réservoirs.

## CHAPITRE 2 : Traitement de l'eau



**Figure 1.2: Les bassins de filtration à sable**

### **Désinfection**

La station utilise le chlore gazeux pour désinfecter l'eau filtrée. Le chlore est très utilisé car sa durée de vie est grande et qu'il est moins coûteux ce qui assure une bonne qualité de l'eau dans les conduites ( Medjdoul, F., & Kadjite, K, 2018)

---

# CHAPITRE 3

---

*Adsorption*

## CHAPITRE 3 : Adsorption

### 3-1- Définition de l'adsorption

L'adsorption est une technique de séparation qui consiste à réaliser un transfert fluide-solide (Le catalyseur hétérogène). Elle est due à des phénomènes de diffusion et à des interactions entre la surface de l'adsorbant et la molécule. Elle est donc favorisée par les matériaux ayant d'importantes surfaces spécifiques. Les réactions d'adsorption sont exothermiques. (Atheba, G. P, 2009)

### 3-2- Domaine d'application de l'adsorption

Les procédés d'adsorption sont largement employés en raison de leur simple design et de leur facilité d'utilisation. Ils peuvent éliminer considérablement voire totalement, toutes sortes de polluants présents dans toutes sortes d'effluents liquides; de plus, ils peuvent, contrairement aux procédés biologiques, être appliqués à des polluants (y compris colorants) dont la concentration est faible. (Zoubida, 2017).

En pratique, elle est utilisée dans les cas suivants : Séchage, Traitement des huiles, traitement des gaz, industrie textile, décoloration et traitement des eaux.

-La purification de divers produits pétroliers et de matières grasses animales ou végétales. (Babakhouya, 2010)

Dans le domaine du traitement des eaux, l'adsorption constitue une techniques de choix pour l'élimination d'éléments dissous, le plus souvent organiques et à l'état de trace. (Bougdah N, 2007).

### 3-3- Mode d'action

La rétention des polluants par la surface des solides correspond en général à trois phénomènes possibles :

L'absorption qui correspond à l'incorporation de contaminant à l'intérieur de la matrice solide.

La précipitation qui correspond à la formation d'une nouvelle phase solide grâce aux interactions entre les deux phases solide et liquide.

L'adsorption qui correspond à la fixation des molécules du contaminant sur la surface du solide (Bentahar.Y, 2016).

#### 3-3-1- les forces d'adsorption

Le processus d'adsorption est généralement dû à plusieurs forces physico-chimiques qui se produisent à l'interface solide-liquide tels que :

**3-3-1-1- Les forces de van der Waals** : une attraction dipôle-dipôle qui se produit entre les atomes ou les molécules grâce à des perturbations électriques de faible intensité. Ce type d'attraction a une grande importance pour l'adsorption des espèces organiques.

## CHAPITRE 3 : Adsorption

- **Les forces coulombiennes** : force électrostatique qui se produit entre une surface chargée et une espèce de charge opposée. La charge de surface peut être le résultat d'une substitution iso morphique ou d'une protonation ou déprotonation des groupes fonctionnels de surface sous l'effet du pH. Ce genre de forces se manifeste essentiellement dans le cas de l'adsorption des ions inorganiques et des molécules organique ionisées.
- **Les liaisons hydrogène** : il s'agit de liaison intermoléculaire qui se produit entre un atome d'hydrogène et un atome électronégatif (O, F, S, Cl).
- **Les interactions hydrophobes** : ce type d'effet concerne les molécules non polaires ; la nature exacte de l'adsorption par ce type d'interaction reste incertaine (Bentahar.Y, 2016).

### 3-4- Les types d'adsorption

- L'adsorption physique ou physisorption : est une adsorption de type physique, où la fixation des molécules d'adsorbat sur la surface d'adsorbant se fait essentiellement par les forces de Van der Waals et les forces dues aux interactions électrostatiques. (Trifi.I, 2012 ; 2013).

Les énergies mises en jeu sont de l'ordre de 5 à 40 kilojoules par moles (NOLL et al, 1992 ; 2018).

L'adsorption physique se produit sans modification de la structure moléculaire et elle est parfaitement réversible. (HARRAT, 2013)

- La chimio sorption : Résulte d'une réaction chimique avec partage d'électrons entre les molécules d'adsorbat et la surface de l'adsorbant ; conduisant à la rupture et à la création de liaisons chimiques. L'énergie de liaison est plus forte qu'en physisorption. (Sun, 2003 ; Estelle, 2012).

Les matériaux adsorbants disposent de larges surfaces spécifiques, généralement développées sur des matériaux poreux. Au cours de l'adsorption d'une espèce chimique, le transfert de la phase liquide vers la phase solide se déroule en plusieurs étapes

- Le transfert externe: correspond à la migration du polluant présent dans la solution vers la surface externe des particules.
- Le transfert interne : concerne le fluide contenu dans les pores.
- La diffusion de surface: correspond au transport des polluants le long des surfaces des pores. Cette dernière dépend essentiellement des fonctions chimiques de surface présentes sur l'adsorbant. (TELEGANG, 2017).

### 3-5- Les adsorbants

Généralement, les adsorbants permettent de réaliser la séparation des composants d'un mélange en retenant plus ou moins, ceux-ci, par le biais de liaisons dont l'intensité varie selon la nature des molécules présentes dans le mélange. Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques. Les adsorbants industriels ont généralement des surfacesspécifiques au-delà de  $100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Ces adsorbants sont



## CHAPITRE 3 : Adsorption

nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou Méso poreux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm (selon la classification de l'IUPAC) (Lakhache, 2017).

### ➤ Principaux types d'adsorbant

Les adsorbants industriels les plus courants sont les suivants : les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice, les argiles activées (ou terres décolorantes) et les alumines activées (Trifi, I. 2012). Il s'agit d'adsorbants physiques. Des adsorbants chimiques suscitent de plus en plus d'intérêt (Trifi, I. 2012) .

### ➤ La bentonite

La bentonite est une argile naturelle constituée essentiellement de la montmorillonite. Elle est soit sodique soit calcique. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement (Mimanne et al, 2014).

### ➤ Origine de la bentonite

La bentonite est une roche tendre, friable au toucher et sa teinte est blanchâtre, grisâtre ou légèrement jaune. En Algérie les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouve dans l'Oranie (Ouest Algérien). On révèle en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes (ABDELWAHAB et al, 1988).

Elles ont de ce fait de larges application, toujours plus nombreuses et dans différents domaines tels que l'épuration des eaux, décoloration des huiles et des graisses, elles sont aussi utilisées comme charge dans l'industrie du papier, des savons, des détergents et dans l'industrie pétrolière. (Mimanne et al, 2014).

### 3-6- La cinétique d'adsorption

La connaissance des paramètres de l'équilibre d'adsorption permet de déduire les capacités d'adsorption d'un support (Bouziane, 2007).

La cinétique d'adsorption est définie comme étant la vitesse de fixation d'un adsorbat sur un adsorbant. Ce phénomène se fait en plusieurs étapes :

- Diffusion de l'adsorbat dans la phase liquide jusqu'à la surface externe de l'adsorbant.
- Diffusion de l'adsorbat à travers les pores de l'adsorbant.
- Adsorption sur la surface

#### 3-6-1- Isothermes d'adsorption

Dans le cadre de la théorie de l'adsorption, l'étude de l'équilibre d'adsorption et sa modélisation mathématique sont d'une importance exceptionnelle. La connaissance des données d'adsorption d'équilibre fournit la base pour l'évaluation des processus d'adsorption et, en particulier, pour la conception des adsorbants.

## CHAPITRE 3 : Adsorption

Chaque équilibre d'adsorption est défini de manière unique par les variables suivantes :

- **La concentration de l'adsorbat**
- **La quantité adsorbée (également désigné comme la charge de l'adsorbant)**
- **La température**

En pratique, la température est toujours maintenue constante et la relation d'équilibre s'exprime sous la forme d'une isotherme d'adsorption :

$$Q_{eq} = f(C_{eq}, T) = \text{Constante}$$

Avec :

$C_{eq}$  : la concentration de l'adsorbat à l'équilibre.

$Q_{eq}$  : la quantité adsorbée (charge de l'adsorbant) à l'équilibre.

T : la température.

Les isothermes les plus connues sont ceux proposés par Langmuir et Freundlich. Elles font partie des équations typiques du groupe des isothermes à deux paramètres. Elles sont également les équations des isothermes les plus utilisés (Didouh, 2019).

### 3-6-2- Classification des isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption représente les quantités adsorbées de soluté en fonction de la concentration de ce dernier en solution à une température donnée. L'allure de la courbe d'isotherme varie selon le couple adsorbat-adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption des solutés ont été classées par (Giles C, et al, 1974) en quatre principales classes :

- Les isothermes de type S (sigmoïde) : Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut.
- Les isothermes de type L (Langmuir) : sont les plus fréquentes. Ce comportement se rencontre dans le cas où l'adsorption est faible et lorsque les molécules de l'adsorbat sont orientées à plat.
- Les isothermes de type H (haute affinité) : La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes.

## CHAPITRE 3 : Adsorption

- Les isothermes de type C (partition constante) : sont sous forme de ligne droite, ce type de courbe est obtenu lorsqu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant.

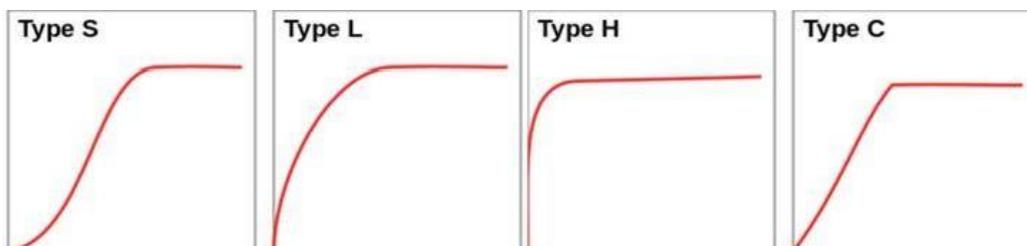


Figure 3.1: Représentation des différentes isothermes d'adsorption (Giles et al, 1974)

### ➤ Modèle de Langmiur

La théorie de Langmuir (1918) a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz ou de liquide sur des surfaces complètement homogènes (Weber W, 1991).

Elle repose sur les hypothèses suivantes (Freundlich H, 1906) :

- L'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie.
- L'adsorption se produit en monocouche.
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface.
- La réaction est réversible (c'est-à-dire qu'il y a équilibre entre l'adsorption et l'adsorption).

A une température constante, la quantité adsorbée  $Q$  est liée à la capacité maximale d'adsorption  $Q_m$ , à la concentration à l'équilibre  $C_e$  du soluté et à la constante d'affinité  $K$  par l'équation :

$$\frac{Q}{Q_m} = \frac{K C_e}{1 + K C_e}$$

Avec :

$Q$  : La quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).  $Q_m$  : La capacité d'adsorption ultime (mg/g).

$C_e$  : La concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/L).

## CHAPITRE 3 : Adsorption

$K$  : constante d'adsorption de Langmuir (L/mg)

La linéarisation de l'équation de Langmuir permet de déduire la capacité ultime ( $Q_m$ ) et la constante de Langmuir  $K_d = 1/b$  ( $K_d$  indique aussi la constante de dissociation de l'adsorbat),

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{K_d}{Q_m} * \frac{1}{C_e}$$

En portant  $1/Q$  en fonction de  $1/C_e$ , on obtient une droite de pente  $K_d/Q_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/Q_m$ . Cela nous permet d'avoir les paramètres à l'origine  $Q_m$  et  $K_d$

### ➤ Modèle de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Ce modèle est basé sur une distribution exponentielle des énergies au sein des sites d'adsorption et se caractérise par une adsorption en sites localisés. Il convient de mentionner aussi, que celui-ci s'applique dans le cas des solutions diluées. Il peut être décrit par l'équation suivante:  $Q_e = K_f \cdot C_e^{1/n}$  (I.10) Où :  $Q_e$  : Capacité d'adsorption en (mg/g).  $K_f$ : Constante de Freundlich.  $1/n$ : Constante se rapportant à l'intensité de l'adsorption en coordonnées logarithmiques. La forme linéaire de cette équation est la suivante :

$$\ln Q_e = \ln K_f + \frac{1}{nf} * \ln C_e$$

$Q_e$  : Capacité d'adsorption en (mg/g).  $K_f$ : Constante de Freundlich.

$1/nf$ : Constante se rapportant à l'intensité de l'adsorption en coordonnées logarithmiques.

On distingue :

$1/n = 1$ , l'isotherme est linéaire de type C.

$1/n < 1$ , l'isotherme est concave de type L.

$1/n \ll 1$ , l'isotherme est concave de type H.

$1/n > 1$ , l'isotherme est concave de type S.

## CHAPITRE 3 : Adsorption

### 3-7- Aluminium, L'élément à adsorber

#### 3-7-1- Généralité sur l'aluminium

L'Al est le métal le plus présent dans notre environnement et le troisième élément le plus abondant de la croûte terrestre (voir figure 06). L'Al est très réactif et n'est jamais rencontré sous forme libre dans l'environnement. Il est couplé à d'autres éléments tels que l'oxygène, le silicium ou le fluor. Ces composés chimiques sont retrouvés dans le sol, les minéraux, les roches, et les terrains argileux. L'Al, stocké dans les milieux naturels, peut être mobilisé par les pluies acides et être rejeté dans l'air par les procédés industriels (Krewski et al, 2007).

#### 3-7-2- Les voies d'expositions à l'aluminium

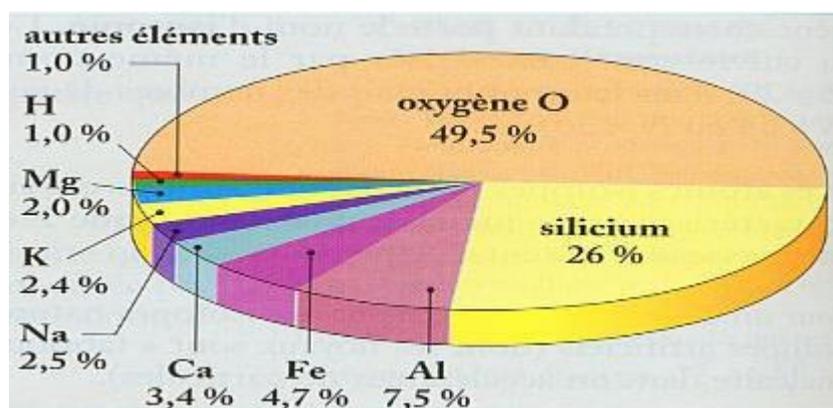


Figure 3.2: Abondance des éléments chimiques sur la croûte terrestre (ROSIN et al. 1990)

Bien qu'une prise de conscience des populations vis-à-vis des effets néfastes de l'Al sur la santé commence à avoir lieu, la majorité des personnes ne connaissent pas les multiples voies par lesquelles elles sont exposées quotidiennement à ce polluant. On retrouve l'Al dans :

#### ➤ L'air ambiant

Est une voie majeure d'exposition à l'Al inhalables sous diverses formes nano particulières dans les poussières en suspension (Childs et al, 1990 ; Karube et al, 1996 ; Floody et al, 2009). Krewski et ses collaborateurs ont compilé les données et ont observé que la concentration en particules d'Al dans l'air ambiant était comprise entre 0,6 et 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Krewski et al, 2007) en particulier dans les pays industrialisés qui ont des fortes croissances et qui sont éventuellement des producteurs importants d'Al.

#### ➤ La nourriture ingérée

Comme le thé (Cao et al, 2010). Le lait infantile (Burrell et al, 2010 ; Dabeka et al, 2011). Le fromage fondu (Al-Ashmawy, 2011), le chocolat (Fekete et al, 2012). le tabac (Exley et al, 2006, 2013). Aussi certains produits métalliques ou céramiques, les bouteilles en verre, ou encore les ustensiles de cuisine en acier inoxydable ont la capacité de contaminer les produits alimentaires (Bohrer et al, 2003, 2001 ; Bolle et al, 2011 ; Demont et al, 2012 ; Koo et al, 1988) et d'augmenter la concentration d'Al déjà présente dans la nourriture.

## CHAPITRE 3 : Adsorption

### ➤ L'eau de boisson

Est également contaminée par des concentrations variables d'Al en fonction du pH et de la zone géographique étudiée. Cependant, l'utilisation de sels d'Al comme coagulant dans l'étape de Coagulation-Floculation dans les installations de traitement des eaux conduit généralement à des concentrations élevées d'Al dans les eaux traitées ( Letterman et al, 1988; Miller et al., 1984; Metahri, 2012).

### 3-7-3- Impact sur la santé humaine :

L'aluminium s'accumule le plus facilement au niveau du tissu osseux. Il peut alors créer une interférence avec le phénomène de minéralisation osseuse, c'est-à-dire qu'il va former des cristaux aux endroits habituels où se dépose le calcium nécessaire à la minéralisation. L'aluminium stimule également plusieurs types de cellules osseuses, ce qui provoque une rupture de l'homéostasie du tissu. (ASEF, 2017).

#### **Effet sur le système nerveux**

Cette pathologie, incurable et mortelle, commence par un déficit de la mémoire d'apprentissage et, en progressant, atteint toutes les fonctions intellectuelles notamment celles du jugement, du calcul mental et du langage. Elle se caractérise par la présence en grand nombre de deux types de lésions dans le cerveau : les plaques séniles et les dégénérescences neurofibrillaires. Or certaines études ont établi que dans ces zones, le taux d'aluminium était plus élevé que dans des tissus cérébraux sains. Il est néanmoins impossible de dire si ces dépôts d'aluminium sont la cause ou la conséquence de ces zones de tissu lésé (ASEF, 2017).

Il faut noter que l'aluminium n'est pas le seul métal accusé de jouer un rôle dans le déclenchement de la maladie d'Alzheimer. Le manganèse, le mercure et le plomb sont aussi suspectés (ASEF, 2017).

Outre cette implication dans la maladie d'Alzheimer, l'aluminium pourrait également être impliqué dans d'autres pathologies neurologiques, notamment d'autres formes de démence, la sclérose latérale amyotrophique (SLA), la maladie de Parkinson (ASEF, 2017) .

---

# CHAPITRE 4

---

*Electrochimie*

## CHAPITRE 4: Electrochimie

### 4-1- Historique de l'électrochimie

La naissance de l'électrochimie se situe en 1800 lorsque Volta inventa la pile électrique en empilant des disques métalliques. Cette pile s'est rapidement imposée comme un générateur de courant continu, indispensable à la réalisation d'une multitude d'expériences dans les domaines de l'électricité, du magnétisme et de l'électrochimie. (DARCHEN, A, 2010)

Bien avant l'expérience de Volta, Galvani avait montré en 1791, avec la collaboration involontaire de grenouilles, que des contractions musculaires étaient provoquées par le contact de deux métaux et que ces contractions étaient d'intensité variable selon la nature des métaux utilisés. En particulier, les contractions étaient plus intenses lorsque les métaux étaient du cuivre et du zinc. Galvani et Volta n'étaient pas d'accord sur les interprétations de leurs expériences. Depuis, nous savons que les deux différents métaux constituent une pile galvanique qui engendre un courant et que le muscle de la grenouille est un détecteur de ce courant. Cette expérience n'est pas seulement anecdotique car elle trouve des applications médicales dans les stimulateurs cardiaques. (DARCHEN, A, 2010)

L'électrochimie s'est développée autant sur les aspects fondamentaux qu'appliqués. Il est difficile d'évoquer tous les faits marquants du XIX<sup>e</sup> siècle. Les principaux scientifiques qui ont contribué à établir les bases de l'électrochimie sont toujours présents dans les présentations théoriques : Faraday, Kohlrausch, Joule, Gibbs, Helmholtz, Nernst et bien d'autres. (DARCHEN, A, 2010)

Les premières applications industrielles ont permis, avec les piles et accumulateurs, de fournir des générateurs électrochimiques de courant continu nécessaires au développement de l'électrometallurgie. Mais les grandes applications industrielles ont seulement pu se développer grâce à la disponibilité de l'énergie électrique lorsque la dynamo électrique s'est elle-même imposée dans la transformation d'une énergie mécanique en électricité. (DARCHEN, A, 2010)

L'énergie et, en particulier, sa transformation en électricité sont un élément déterminant pour la vitalité industrielle de l'électrochimie. Actuellement, en France, la production d'électricité repose en grande partie sur une exploitation de l'énergie de fission de l'uranium et, dans une moindre mesure sur la combustion de carburants d'origine fossile (pétrole, charbon, gaz naturel). De l'électricité peut aussi être produite de manière marginale par photovoltaïsme et effet piézoélectrique, ainsi qu'en exploitant l'énergie éolienne, l'énergie marémotrice, voire encore l'énergie géothermique. Ces énergies, intermittentes pour la plupart, sont très probablement appelées à se développer en bénéficiant de procédés électrochimiques de stockage (DARCHEN, A, 2010)



## CHAPITRE 4: Electrochimie

### 4-2-Quelques notions sur l'électrochimie

**Courant capacitif** : courant électrique associé à la charge ou la décharge de la double couche électrochimique. Le courant capacitif apparaît dès que le potentiel de l'électrode est modifié. Il en est de même lorsqu'il y a modification de la surface d'une électrode maintenue à potentiel constant. Le courant capacitif n'entraîne pas de changement dans la composition chimique, **mais seulement dans la répartition des charges électriques.**

**Courant faradique** : courant associé au transfert de charge à une interface métal/solution. Ce transfert accompagne les réactions d'oxydation ou de réduction qui conduisent à une modification de la composition chimique. Cette dernière obéit à la loi de Faraday.

**Cathode** : dans une cellule d'électrolyse, la cathode est l'électrode connectée à la borne négative du générateur de courant continu. La réaction de réduction sur cette électrode consomme des électrons. Dans une pile, l'électrode qui est le siège de la réduction est aussi une cathode et constitue l'électrode positive du générateur.

**Anode** : dans une cellule d'électrolyse, l'anode est l'électrode connectée à la borne positive du générateur de courant continu. La réaction d'oxydation sur cette électrode libère des électrons. Dans une pile, l'électrode qui est le siège d'une oxydation est aussi une anode et constitue l'électrode négative du générateur.

**Pôles négatif et positif** : bornes négative et positive d'un générateur de courant continu. Ces polarités servent à définir le sens conventionnel de circulation du courant à l'extérieur de ce générateur.

**Réduction électrochimique** : réaction localisée sur la cathode d'une cellule d'électrolyse ou sur l'électrode positive d'un générateur électrochimique. La réduction implique la diminution d'un nombre d'oxydation dans l'oxydant consommé.

**Oxydation électrochimique** : réaction localisée sur l'anode d'une cellule d'électrolyse ou sur l'électrode négative d'un générateur électrochimique. L'oxydation implique une augmentation d'un nombre d'oxydation dans le réducteur consommé.

**Réaction de pile** : dans un générateur électrochimique, la réaction de pile est le bilan chimique des deux réactions sur les électrodes. Ce bilan correspond à une réaction spontanée dont l'énergie chimique peut être libérée sous forme électrique.

**Bilan chimique d'une électrolyse** : dans une cellule d'électrolyse, l'écriture du bilan des deux réactions aux électrodes ne fait pas apparaître d'électrons. Selon la nature des réactions électrochimiques, l'électrolyse peut être une méthode de stockage de l'énergie. Ces stockages sont fréquemment exploités lors de la recharge des batteries électriques. (DARCHEN, A, 2010)

## CHAPITRE 4: Electrochimie

### 4-3-Electrocoagulation

L'EC est une technique de traitement développée avant le 20<sup>ème</sup> siècle, elle a été utilisée pendant tout ce temps sans véritablement reconnaître un succès, cependant ces dernières années on constate un regain d'intérêts, et son utilisation est accrue et bon nombres d'industriels y font appel pour le traitement de leurs effluents.

La technologie à été optimisée pour minimiser la consommation énergétique et pour augmenter l'efficacité de traitement, son efficacité est démontrée sur divers polluants. Elle est efficace dans le traitement des métaux lourds, tels que : Pb, Cd et Cr et As, les métaux tels que :Mn, Cu ,Zn, Ni, Al Fe, Sn, Mg ,Pt ,Se ,Mo et Ca ; également les anions tels que  $\text{CN}^-$  ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ,  $\text{NO}_3^-$  , $\text{F}^-$  et  $\text{Cl}^-$  ; les non métaux comme le phosphore et les composés organiques, hydrocarbures, huiles et graisses des effluents industriels variés (Zongo ,2009).

#### 4-3-1-Principe de l'électrocoagulation

L'électrocoagulation est une méthode de traitement des eaux basée sur la dissolution électrochimique d'un métal sacrificiel qui , une fois dans l'effluent et moyennant les autres réactions connexes telles que l'électrolyse de l'eau, donne des complexes d'hydroxydes métalliques qui vont assurer l'adsorption puis la floculation des particules et des composés polluants dissous ( Holt, Bartonet et Mitchell 2001)

Elle est considérée comme un procédé complexe avec une multitude de mécanismes synergiques concourant au traitement de la pollution.

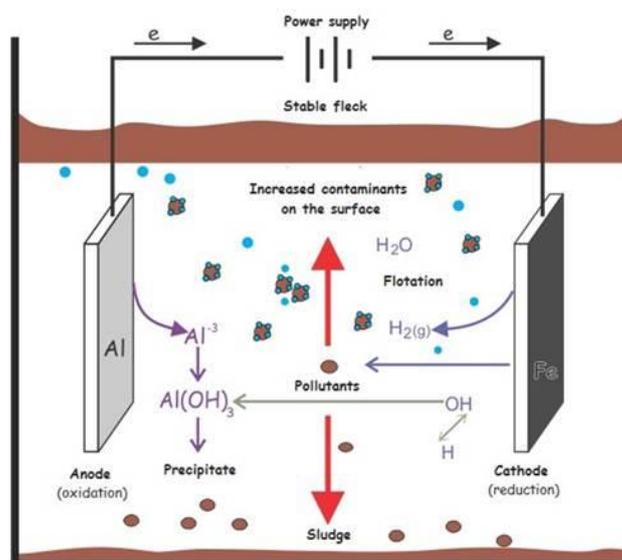


Figure 4.1 : Principe d'électrocoagulation

## CHAPITRE 4: Electrochimie

Au cours du traitement, plusieurs processus électrochimiques, physicochimiques et chimiques peuvent être observés :

- L'électrophorèse (déplacement de particules chargées sous l'effet du champ électrique);
- La réduction cathodique et chimique des composés organiques et inorganiques ainsi que la formation de dépôts métalliques à la cathode ;
- Les interactions chimiques entre les ions  $Fe^{+2}$  (ou  $Al^{+3}$ ) générés par dissolution anodique, et les anions présents dans les eaux usées (sulfures, phosphates, etc.), lesquelles entraînent la formation de composés insolubles;
- La flottation de particules solides et d'impuretés dissoutes dues à la présence de bulles de gaz d'hydrogène ( $H_2$ ) générées à la cathode;
- L'adsorption des polluants à la surface des hydroxydes ferreux (ou des hydroxydes d'aluminium), lesquels possèdent une forte capacité d'adsorption.

Actuellement, l'électrocoagulation est considérée comme un procédé complexe avec une multitude de mécanismes synergiques concourant au traitement de la pollution. Divers auteurs ont pu identifier trois catégories de mécanismes en électrocoagulation :

-les phénomènes électrochimiques, -la coagulation et la floculation, - l'hydrodynamique

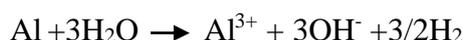
### 4-3-2- Réaction aux électrodes

Les électrodes les plus couramment utilisées en électrocoagulation, sont en aluminium ou en fer car ils possèdent des formes ioniques trivalentes. Il est nécessaire de bien connaître le comportement et les caractéristiques chimiques et électrochimiques de ces deux métaux que nous avons utilisés dans nos travaux. Les principales réactions qui se produisent aux électrodes sont les suivantes: (Zodi, 2012)

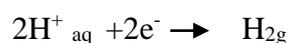
A l'anode se produit l'oxydation et le passage du métal de l'état solide à l'état ionique selon la réaction :

Anode en Aluminium :  $Al_s \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$

Du fait du potentiel standard très négatif du couple  $Al/Al^{3+}$ , l'aluminium réagit avec l'eau en présence d'anions catalyseurs tels que les chlorures (Zongo 2009).



A la cathode, l'électrolyse de l'eau se produit. Dans le cas d'un milieu acide, on a les réactions suivantes :



## CHAPITRE 4: Electrochimie

Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH (Voir Annexe V). Dans le cas de l'aluminium, on trouve une multitude de complexes anioniques et cationiques (Yilmaz et al. 2005). On peut distinguer:

Les mono complexes tel que  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$

Les polycomplexes tel que  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_5^+$ ,  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$ .

Les espèces amorphes et très peu solubles telles que  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Les polymères :  $n\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$  (Can et al. 2006).

### *Loi de Faraday*

Si l'on considère que les seules réactions chimiques qui se déroulent dans le réacteur d'électrocoagulation sont l'oxydation du métal à l'anode, et la réduction de l'eau à la cathode, il est possible de déterminer la quantité de matière produite et consommée lors d'une réaction électrochimique qui se calcule par la loi de Faraday, et qui est fonction de la durée de l'opération  $t$  et de l'intensité du courant  $I$ . (Zodi, 2012)

$$m = \frac{I * T * M}{Ve * F}$$

Où  $M$  est la masse molaire de l'espèce considérée,  $V_e$  est le nombre d'électrons et  $F$  est nombre de faraday. La loi de Faraday est utilisée pour relier l'intensité du courant  $I$  à la masse  $m$  de matériaux générés à l'intérieur du réacteur, ce qui donne une estimation théorique de la quantité du métal dissous dans la solution. (Zodi, 2012)

---

# CHAPITRE 5

---

*Matériels et Méthodes*

# CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

## 5-1- Présentation de la région d'étude

La géologie du bassin versant de l'Oued Aissi est essentiellement constituée par des roches métamorphiques (schistes, micaschistes et gneiss). Dans la partie amont, on trouve des formations sédimentaires constituées par la chaîne calcaire du Djurdjura. Le long des talwegs, on trouve des terrasses alluviales formées par des graviers et des sables. Et dehors des terrasses alluviales et des formations calcaires, la majeure partie du bassin est peu perméable. Ceci favorise donc l'écoulement de surface.

### 5-1-1- Situation géographique du barrage Taksebt

Le barrage de TAKSEBT est situé sur l'oued Aissi, affluent du Sebaou, à environ 7 km au sud-est de la ville de Tizi-Ouzou et à 100 km à l'est de la ville d'Alger. .( KADJITE, 2017)



Figure 5.1: Localisation du barrage Taksebt (Google Earth)

La retenue créée par le barrage a une capacité de 175 millions de  $m^3$  permettant une régularisation de 180 millions  $m^3$ , destinée à l'alimentation en eau potable et répartie comme suite :

- 173 000  $m^3$ /jour pour Tizi- Ouzou
- 60 000  $m^3$ /jour pour Boumerdes
- 235 000  $m^3$ /jour pour Alger

# CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

## 5-1-2- Présentation de la station de potabilisation

La station de traitement des eaux de surface se situe à environ 8 Km du barrage de Taksebt. (Voire figure 5.2) Elle a été mise en service en Mai 2007. Elle occupe une superficie de 34 Hectares, et a été dimensionnée pour traiter un débit maximal d'eau de 616 000 m<sup>3</sup>/j.



**Figure 5.2: Localisation de la station de traitement des eaux potables Taksebt (station Taksebt 2016)**

L'eau qui alimente la station de traitement arrive de façon gravitaire du barrage TAKSEBT qui est alimenté à son tour par l'oued AISSI et l'oued BOUGDOURA.

La station est conçue pour l'alimentation en eau potable des communes suivantes : FREHA, AZAZGA, DRAA BEN KHEDDA, centre wilaya de TIZI OUZOU et ALGER. Le transport se fait de façon gravitaire de la station de traitement jusqu'au réservoir d'eau traitée de DRAA BEN KHEDDA, puis l'eau continue à être transférée à travers les conduites de fonte et les tunnels jusqu'au réservoir de BOUDOUAOU. Tout au long du transfert, des piquages sont opérés pour alimenter les villes de TIZI OUZOU et DRAA BEN KHEDDA. (KADJITE, 2017)

## 5-1-3- Capacité de la station

La capacité hydraulique nominale de la station est de 647 000 m<sup>3</sup>/j, prenant en compte un débit recyclé de 5% du débit d'eau brute. La production nominale de la station de traitement de TAKSEBT est de 605 000 m<sup>3</sup>/j (7 000 l/s) basée sur un approvisionnement en brute de 616 000 m<sup>3</sup>. (Voire Tableau 5.1)

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

**Tableau 5.1** : Caractéristiques de la station de traitement

Caractéristiques	Capacités
Débit d'eau brute	616 000 m <sup>3</sup> /j
Volume des boues extraites des clarificateurs	7 400 m <sup>3</sup> /j
Volume des boues extraites des filtres	3 600 m <sup>3</sup> /j
Production d'eau traitée	605 000 m <sup>3</sup> /j

Les variations de débits d'eau traitée prévues sont de :

- Débit minimum : 202 000 m<sup>3</sup>/j
- Débit moyen : 474 000 m<sup>3</sup>/j
- Débit maximum (nominale) : 605 000 m<sup>3</sup>/j



**Figure 5.3:** Laboratoire de la station

### 5-2- Méthode d'échantillonnage :

L'eau brute est pompée directement du barrage vers la station d'épuration



**Figure 5.4:** Entrée d'eau brute



**Figure 5.5:** Place d'échantillonnage



## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

### 5-3- Matériels et produits

#### 5-3-1- Le matériel utilisé

Tableau 5.2 : Equipements utilisés pour les analyses physico-chimiques

N°	Désignation
01	pH mètre WTW avec terminal 730 et électrode en verre
02	Conductimètre, WTW avec terminal 740 magnétique (VWR)
03	Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000
04	Turbidimètre



Figure 5.6: pH mètre WTW avec terminal 730 et électrode en verre



Figure 5.7: Conductimètre, WTW avec terminal 740 magnétique (VWR)

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes



Figure 5.8: Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000



Figure 5.9 : Turbidimètre

### 5-3-2- Produits utilisés

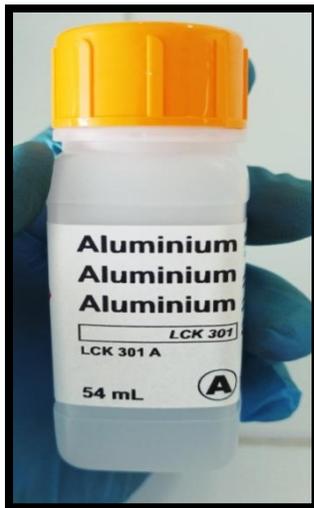
Tableau 5.3 : liste des réactifs et produits

N°	Désignation
01	Bentonite en poudre
02	Réactif A (Ammonium acétate ;méthanol; sodium acétate);
03	Réactif B (Acide ascorbique; sodium thiosulfate)



Figure 5.10: Bentonite en poudre

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes



**Figure 5.11** : Réactif A (Ammonium acétate ; Méthanol; sodium acétate)



**Figure 5.12** : Réactif B (Acide ascorbique; sodium thiosulfate)

### 5-3-3- Les principales caractéristiques de cette bentonite sont regroupées dans le Tableau

**Tableau 5.4** : caractéristiques de cette bentonite

Provenance	Bentonite Powder Laboratory Reagent	
Composition Chimique	SiO <sub>2</sub>	61.03
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.59
	CaO	0.77
	K <sub>2</sub> O	0.76
	MgO	2.22
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.09
	PAF	0.11
	TiO <sub>2</sub>	0.22
	Na <sub>2</sub> O	2.04
	Arsenic	Max 0.0008%
	Cl <sup>-</sup>	0.46
	SO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.37
	Composition physique	Viscosité
Humidité		5 à 12%
pH		9-10
Couleur		Marron
Odeur		Sans odeur
Densité		2.5
Granulométrie	74 µm granulométrie	98% min
	Résidu sur tamis 74 µm	2% sur poids total

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

### 5-4- Méthode d'analyse physico-chimique

Dans un premier temps, on a mesuré les paramètres physicochimiques qui permettent d'estimer le degré de pollution de l'eau de barrage étudié

#### 5-4-1- Analyses physico-chimiques de L'eau traitée

Dans le but d'évaluer et caractériser l'eau brute venant du barrage Taksebt ainsi que l'eau traitée sortant de la station d'épuration SEAAL, nous avons effectué des analyses présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5.5** : différentes analyses effectués

Paramètres	Appareils	Unités
Conductivité	Conductimètre, WTW avec terminal 740	$\mu\text{S/cm}$ .
Température	Conductimètre ou pH mètre	$^{\circ}\text{C}$
pH	pH mètre	/
Turbidité	Turbidimètre HACH 2100N avec une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre	NTU
Aluminium	Méthode LCK 301 Mesuré par un Spectrophotomètre type DR6000 (HACH-LANGE).	mg/l

##### 5-4-1-1-Mesure de la turbidité

La turbidité d'une eau est la dégradation de la transparence d'un liquide qui est due à la Présence des particules en suspension, notamment colloïdales: argiles, limons, grains de

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

Silice, matières organiques...etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son Degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace.

### Mode opératoire

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyée avec du papier hygiénique avec L'échantillon à analyser après homogénéisation et effectuer rapidement la mesure avec un Turbidimètre. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en NTU (Néphélobimétrie Turbidité Unités). La norme suivie est de 5NTU.



Figure 5.13 : Turbidimètre

### 5-4-1-2- Mesure du pH

#### Principe :

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène [H<sup>+</sup>] présents dans l'eau ou les solutions. Il représente la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel KCl saturé).

**Mode opératoire:** méthode électrique avec électrode en plastique:

- Etalonner le pH avec une solution tampon à pH=7.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre environ 60ml d'eau à analyser dans un bécher,
- Immerger l'électrode dans l'échantillon.
- Procéder à une agitation.
- Ajouté quelques gouttes d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) uniquement pour les échantillons de L'aluminium.
- Faire la lecture après stabilisation du pH.
- Les mesures sont exprimées en unité de pH.

### 5-4-1-3-Mesure de la conductivité

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

**Conductivité : unité :  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à une température de  $25^\circ\text{C}$**

### **Principe :**

La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau. La mesure de conductivité est réalisée en mesurant la conductance d'une eau entre 2 électrodes métalliques, elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'appareil utilisé pour la mesure est le conductimètre, l'appareil est étalonné une fois par jour à l'aide d'une solution tampon. Le procédé consiste à faire passer successivement les quarts échantillons à analyser en plaçant la soude dans le bécher en s'assurant qu'elle soit complètement immergée dans l'échantillon. La lecture se fait après stabilisation

### **Mode opératoire :**

Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; et effectuer la mesure.

La valeur limite de la conductivité est de  $2800 \mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figure 5.14 :** Conductimètre

### **5-4-1-4- Mesure de la température**

L'évolution de la température dépend du mode d'utilisation de l'eau avant son rejet et surtout le parcours de l'eau avant l'exutoire ou la station d'épuration. En général l'eau doit être évacuée vers l'environnement à des températures inférieures à  $30^\circ\text{C}$ , une eau plus chaude constitue une pollution.

La température est mesurée à partir de l'oxymètre ou bien du pH mètre.

### **5-4-1-5- Dosage d'Aluminium par(méthode kit LCK301)**

#### **Principe :**

Le dosage de l'aluminium a été réalisé à l'aide des kits LCK 301. Le dosage fait intervenir la réaction colorée spécifique de l'élément recherché selon la réaction suivant :



## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

Le Chromazurol S forme avec l'aluminium en milieu tampon acétate légèrement acide une laque de coloration Verte.

### ➤ **Avantage de la méthode LCK 301**

- Mesures précises et fiables par rapport à la méthode classique (voir Annexe II)
- Sécurité maximale pour les utilisateurs grâce à son système hermétique et aux faibles quantités de réactifs utilisées
- Dosage aisé et précis des réactifs
- Code-barres pour une lecture automatique du photomètre et calibration Truecal
- Différentiation des tests et des plages de mesure par code couleur

### ➤ **Préparation des échantillons**

Le pH de l'échantillon doit être entre 2,5 et 3,5. Une valeur de pH plus haute provoque des précipitations sous forme de complexes avec l'Aluminium et de ce fait les résultats mesurés seront trop faibles. Pour cela on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) à 65% à l'échantillon, afin d'ajuster le PH à la valeur limite autorisée.

### ➤ **Analyse des échantillons et le contrôle qualité**

- 1- Pipeter 2 ml de la solution A (LCK 301 A), les introduire dans le tube à LCK 301.
- 2- Pipeter 3 ml de l'échantillon, les introduire dans le tube à LCK 301.
- 3- Introduire dans le tube à LCK 301, une cuillère rase du réactif B (LCK 301 B).
- 4- Fermer la cuve et mélanger le contenu jusqu'à dissolution du lyophilisat.
- 5- Attendre 25 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



**Figure 5.15** : réactif A et B

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

Pour le contrôle qualité (contrôle de qualité). On doit refaire les mêmes procédures mais à la place de l'échantillon on pipète 3 ml de la solution commercialisée du contrôle qualité (solution standard) LCK 702 et les introduire dans les tubes à LCK 301. La lecture après 25 min.

### ▪ Mode opératoire :

La lecture de résultats se fera avec un spectromètre DR 600 on suivant les étapes suivantes :

- Afficher la fenêtre menu principale du spectromètre DR 600
- Cliquez sur la fenêtre code barre affiché sur le menu principale.
- Introduire le tube du blanc (ZERO LCK 301) dans la porte cuvette adéquate au tube de LCK301.
- Attendre quelques secondes (le spectromètre affiche L1).
- Introduire le tube de l'échantillon, lire directement la concentration en mg/l.
- Suivre les mêmes étapes pour mesurer le contrôle qualité.



Figure 5.16 : Les tubes à LCK301, le réactif A et le réactif B

### 5-4-1-6- Essai de jar-test

#### Principe

La détermination de ces grandeurs en laboratoire est réalisée par ce qu'on appelle le *jar test*. Il consiste en une rangée de béchers alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béchers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floccs les plus gros et les mieux décantés. Concernant les vitesses d'agitation, la seule certitude est que la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide (afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent) et que la floculation- quant à elle -



## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

nécessite une vitesse relativement lente (afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés).

### 5-5- Partie adsorption

#### Mode opératoire :

Des essais d'adsorption sur la bentonite ont été réalisés sur un jar-test à six agitateurs (Voir figure 5.16).



**Figure 5.17 :** Jar-test de la station SEAAL.

Cet appareil permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de béchers remplis chacun de 1000 ml d'eau.

Au cours de notre étude, l'eau traitée et la bentonite sont soumis pendant 15min à une agitation rapide de 200 tr/min.

Après une décantation de 30min on prélève l'eau à l'aide d'un siphon de chaque bécher et filtrer par la suite pour déterminer les paramètres physico-chimiques (pH, turbidité, conductivité, température, Aluminium).

#### 5-5-1- Optimisation des paramètres

##### Adsorption sur bentonite

Dans le but d'optimiser les conditions en faveur d'une meilleure adsorption de l'aluminium sur la bentonite naturel précédemment caractérisée, nous avons étudié, l'effet de paramètres sur le processus d'adsorption à savoir : la masse de bentonite, temps de décantation et la vitesse d'agitation.

**Les conditions opératoires sont résumées dans les tableaux suivants :**

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

**Tableau 5.6 : Jar-test variation concentration de bentonite**

Béchers	1	2	3	4
Concentration bentonite (mg/l)	50	100	200	300

La vitesse d'agitation est fixée à 200 tr/min et le temps de décantation à 45min

On fait passer l'échantillon pour lequel on a eu la meilleure adsorption par la centrifugeuse à 3500 tr/min

### ▪ La centrifugation

#### Définition

La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, de deux à trois phases entraînées dans un mouvement de rotation. On peut séparer deux phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide, voire deux phases liquides contenant une phase solide.

Dans le cadre du traitement de déchets, elle est utilisée afin de séparer les diverses phases en vue d'un traitement spécifique. Par exemple, des boues humides ainsi traitées donneront une phase liquide et des boues sèches qui iront chacune sur une chaîne de traitement particulière (épuration pour la phase aqueuses et valorisation pour les boues).

#### Principe

Si on laisse reposer une suspension solide dans une phase liquide, on observe que les particules, sous l'action de la pesanteur et de la poussée d'Archimède, tendent à tomber vers le fond ou à remonter vers la surface selon leur densité et leur taille. Ce procédé, la décantation, est cependant relativement lent pour les très fines particules (sensibles à l'agitation thermique) et les liquides particulièrement visqueux.

On a donc eu l'idée de décupler le pouvoir séparateur du champ de pesanteur vertical en lui substituant un champ centrifuge radial. Il s'agit donc d'entraîner un appareil (le "bol") à grande vitesse, en rotation autour d'un axe. Son accélération, proportionnelle à la distance à l'axe de rotation, varie comme le carré de la vitesse.

À 10 000 tr/mn, on obtient, à 10 cm de l'axe, une accélération mille fois plus grande que celle de la pesanteur. Dans le cadre du traitement des effluents, le coefficient de centrifugation se situe en général autour de 10 000 g. On peut agir sur plusieurs paramètres pour augmenter l'efficacité de la centrifugation :

- le diamètre des particules, en utilisant des flocculants.

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

- la différence de densité.
- la viscosité du fluide, qui diminue avec l'élévation de la température.
- la surface de base du bol.
- la vitesse de rotation, qui laisse la plus grande latitude de réglage.



**Figure 5.18** : centrifugeuse C3i multifonction      **Figure 5.19** : Tube de la centrifugeuse

**Tableau 5.7** : Jar test variation de temps de décantation eau traitée taksebt

Béchers	1	2	3	4
Temps décantation	20 min	40 min	1h	2h

**Tableau 5.8** : Variation de la vitesse d'agitation

Béchers	B 01	B 02	B 03	B 04	B 05	B 06
Vitesse (tr/min)	50	100	150	200	250	300

### Isotherme d'adsorption:

Pour étudier les cinétiques d'adsorption de l'aluminium à 25<sup>0</sup>C, nous avons mis en contact une masse de 0,25 g de bentonite avec des concentrations croissantes en aluminium allant de 50g jusqu'à 500g, la vitesse d'agitation est de 200tr/min pendant 5h. Nous avons laissé les béchers se décanter pendant 45min puis on a mesuré le taux d'aluminium restant.

Les modèles classiques de Langmuir et de Freundlich caractérisant la formation d'une monocouche seront utilisés pour leur simplicité de mise en œuvre.

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

**Tableau 5.9: Cinétique d'adsorption**

Béchers	B 01	B 02	B 03	B 04	B 05	B 06
Injection de sulfate d'alumine	2,5 ml = 50mg	5 ml = 100 mg	10 ml = 200 mg	15 ml = 300 mg	20 ml = 400 mg	25ml= 500 mg

### **Jar-test eaux traitées Taksebt**

Analyse des eaux traitées Taksebt avec fixation de tous les paramètres optimisés précédemment (CB=250mg/l, Temps de décantation= 40 min, V=200tr/min)

# CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

## 5-6-Partie électrochimique



**Figure 5.20** : dispositif d'électrocoagulation

Le dispositif expérimental d'électrocoagulation est composé de deux électrodes, une en aluminium et l'autre en inox de même forme cylindrique et mêmes dimensions ( $D=1\text{Cm} \times H=5\text{ Cm}$ ) plongées dans un bécher de 1 litre qui jouait le rôle du réacteur. Le volume des émulsions traitées est de 1000 ml. La surface immergée de chaque électrode est de 12,56  $\text{cm}^2$  et la distance les séparant est de 3 cm. Ces deux paramètres seront maintenus constants durant toutes les expérimentations. Ces électrodes sont branchées aux bornes d'une alimentation en courant continu (générateur) dont la tension maximale est de 30V et l'intensité de courant maximale de 10 A. Les appareils électriques utilisés sont de marque HQ-POWER. Les expériences sont réalisées sous agitation magnétique de marque VELP dont la vitesse est 150 tr/min

Avant chaque essai les électrodes sont nettoyées (dégraissage à la soude puis décapage à l'acide sulfurique).

L'échantillonnage est réalisé en cours de manipulation à l'aide d'une seringue dans la zone clarifiée de l'émulsion. Le volume des échantillons est de 100ml. Avant d'effectuer les analyses, ces échantillons sont filtrés sur un équipement de filtration sous vide afin d'éliminer les floccs non décantés. Les filtres utilisés ont un diamètre de 150mm (grade 12).

Des mesures de pH, conductivité, température et de turbidité ont été réalisées après chaque traitement électrochimique à l'aide d'un pH- mètre, conductimètre et un turbidimètre. La mesure de la couleur, absorbance UV et l'aluminium est ainsi effectuée à l'aide d'un spectromètre.

### 5-6-1- Matériel utilisé

- Electrode en aluminium
- Electrode en acier

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

### - Générateur de tension

Le générateur idéal de tension est un modèle théorique. C'est un dipôle capable d'imposer une tension constante quelle que soit la charge reliée à ses bornes. Il est également appelé source de tension. En circuit ouvert, la tension qui existe à ses bornes lorsqu'il ne débite aucun courant est la tension à vide



Figure 5.21: Générateur de tension

Ainsi que :

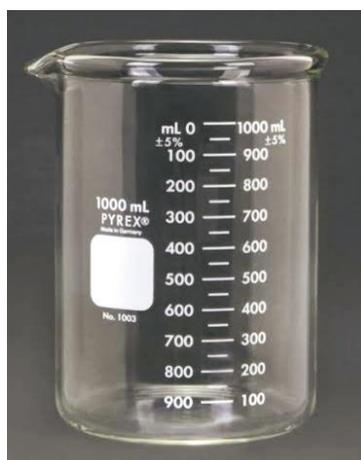


Figure 5.22: Becher 1L



Figure 5.23 : Filtres

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes



Figure 5.24 : Micropipettes



Figure 5.25 : Agitateur



Figure 5.26 : Rompe de filtration

### 5-6-2- Produits utilisés

#### - Le floculant

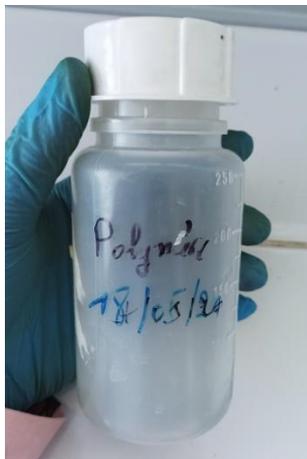


Figure 5.27 : Polymère floculant utilisé

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

Le floc qui se forme par l'agglomération de plusieurs colloïdes peut ne pas être suffisamment large pour décanter ou pour se déshydrater à la vitesse souhaitée. L'utilisation d'un flocculant est alors nécessaire. Il rassemble toutes les particules de floc dans un filet, construisant un pont d'une surface à l'autre et liant chaque particule pour former de vastes agglomérats.

Le temps à respecter entre les ajouts de coagulant et de flocculant est primordial. En effet, un flocculant n'est en général efficace que lorsque la phase de coagulation est achevée. Pour choisir les flocculants, il faut considérer la taille, la cohésion et la vitesse de décantation du floc. Comme pour les coagulants, le taux de traitement à mettre en œuvre est donné par un essai de floculation.

On utilise :

- des **polymères minéraux** tels que la silice activée ( $\text{SiO}_2$ ), généralement associée au sulfate d'aluminium en eau froide,
  - des **polymères naturels** extraits de substances animales ou végétales : amidons, alginates (obtenus à partir d'algues marines),
  - des **polymères de synthèse** apparus plus récemment qui ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation. Ils conduisent souvent à un volume de boue très inférieur.
- **Hypochlorite de sodium** : pour la désinfection avant l'électrocoagulation et vers la fin
- **Acide chlorhydrique**: Pour l'acidification du milieu (1 mol /L)
- **Hydroxyde de sodium** : pour rendre le pH de l'eau basique (1 mol /L)

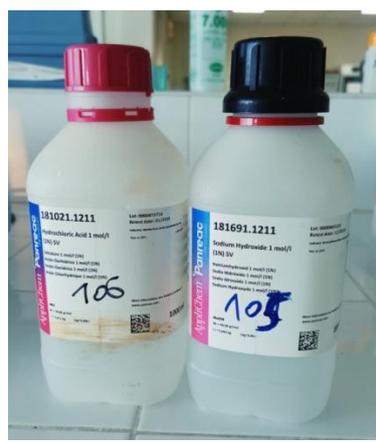


Figure 5.28 : Acide chlorhydrique et hydroxyde de sodium

### 5-6-3- Etude paramétrique

#### 5-6-3-1. Influence du pH :



## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

Une étude paramétrique a été faite pour avoir une idée sur l'influence du pH de brute sur l'électrolyse donc on avait varié le pH du brute de 1 à 10. Le temps de traitement électrochimique est fixé à 10 minutes avec un courant imposé de 0.06A et une tension de 13V puis nous avons étudié tous les paramètres avant et après l'électrolyse.



**Figure 5.29** : échantillons a différents pH

Après l'ajustement du pH, nous avons mesurées les paramètres des effluents tels que la conductivité, UV et couleur avant et après le traitement électrochimique

### 5-6-4- Cinétique de traitement électrochimique

#### 5-6-4-1- Détermination du temps nécessaire

La détermination du temps de traitement électrochimique est nécessaire afin de savoir les conditions expérimentales optimales pour la décoloration de l'eau brute. L'étude cinétique de l'électrocoagulation a été faite sur des échantillons de 1L à pH neutres (pH de prélèvement) avec un courant imposé de 0.08A.

Nous avons varié le temps d'électrocoagulation entre 1 minute et 10 minutes pour avoir une idée sur le temps optimal. A la fin de l'expérience, on a laissé les échantillons se décanter pendant 45 minutes puis on filtre les échantillons et on fait les analyses physicochimiques ainsi que le rendement de décoloration et d'élimination UV.

#### Pesée de la masse de filtrat :

On a fait passer les échantillons dans la rompe de filtration ainsi que l'eau distillée puis on les a mis dans l'étuve a 100 °C pendant quelques minutes. On pèse les filtres séchés des échantillons et de l'eau distillée puis on calcule la masse du filtrat.

$$\text{Masse filtrat} = \text{Masse filtre d'échantillon} - \text{masse filtre à blanc}$$

#### 5-6-4-2- Influence du courant :

## CHAPITRE 5 : Matériels et Méthodes

Nous avons varié l'intensité du courant entre [0.02, 0.03, 0.04, 0.06, 0.08, 0.09A], le temps de traitement était fixé à 7min, vitesse d'agitation est de 200tr/min. la même procédure a été appliquée telles que la désinfection au début et vers la fin, la décantation, la filtration et la mesures des paramètres nécessaires ainsi que le rendement d'élimination UV et rendement de décoloration.



**Figure 5.30** : variation du courant

Après chaque expérience, nous avons laissé les échantillons se décanter pendant 45 minutes puis on les filtre sans oublier de mesurer tous les paramètres nécessaires avant et après filtration.

---

# CHAPITRE 6

---

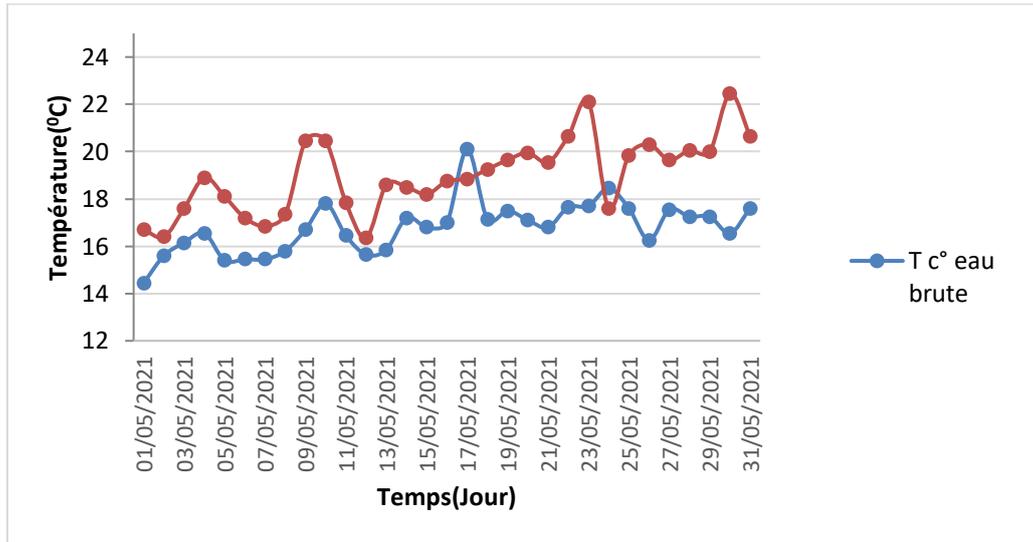
*Résultats et discussion*

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

### 6-1- Résultat des études physicochimiques

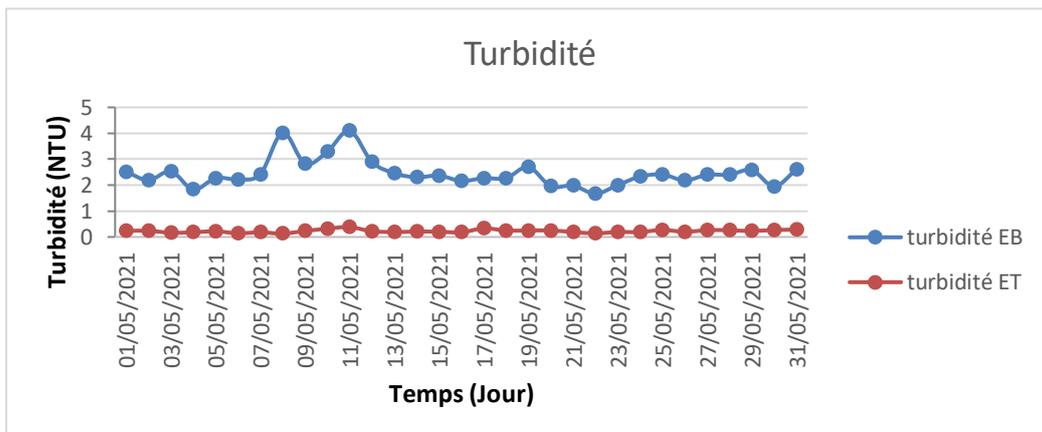
Dans le but de caractériser nos échantillons (eau traitée (ET) pour la partie adsorption et l'eau brute (EB) pour la partie électrochimique), nous avons analysé l'ensemble des paramètres nécessaires tels que la température, turbidité, pH, conductivité et la concentration de l'aluminium en fonction du temps. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures 6.1 à 6.5.

La figure 6.1 présente l'évolution de la température dans les ET et EB.



**Figure 6.1 :** Variation de température dans les eaux traitées et brutes

Les résultats obtenus montrent que les profils de température pour les ET et EB sont presque similaires. Il a été remarqué que les températures journalières mesurées pour les eaux traitées sont plus élevées par rapport aux eaux brutes. Ces variations dépendent généralement du parcours de l'eau avant son arrivée à la station d'épuration et sont mode et condition de stockage avant son traitement.



**Figure 6.2 :** Variation de turbidité des l'eau traitée et brutes

La figure 6.2 illustre les variations journalières de la turbidité des ET et EB.

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

D'après la figure, on remarque que la turbidité des eaux brutes était plus élevée que l'eau traitée. Selon la qualité des eaux brutes on constate que la turbidité de l'eau brute variait de 1.5 à 4.2 NTU. Cette variation dépend aussi de la qualité des eaux et du parcours des eaux avant leurs arrivées à la station.

Pour les eaux traitées on remarque que la turbidité journalière mesurée était largement inférieure à celle mesurée pour les EB. Cette dernière variait entre 0.1 à 0.4 NUT et le profil obtenu était presque stable sur toute la période de mesure d'où l'efficacité de traitement.

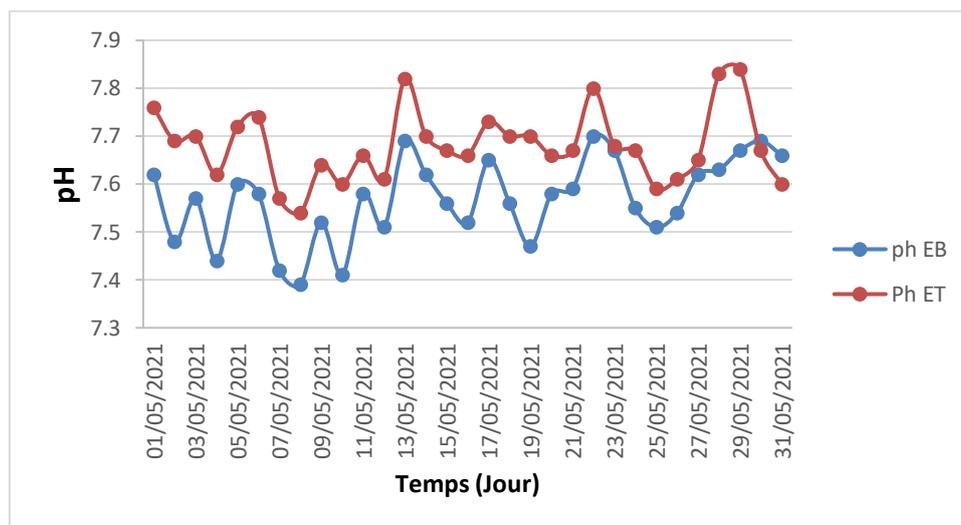


Figure 6.3 : Variation de pH des eaux brutes et traitées

La figure 6.3 montre l'évolution journalière de pH dans les eaux traitées et brutes.

Selon les résultats de suivi de pH on remarque que les profils obtenus sont presque identiques sur toute la période de mesure avec une variation significativement moindre pour les eaux brutes (< 2%). Ces variations sont dues au procédé de traitement utilisé pour une eau traitée de bonne qualité.

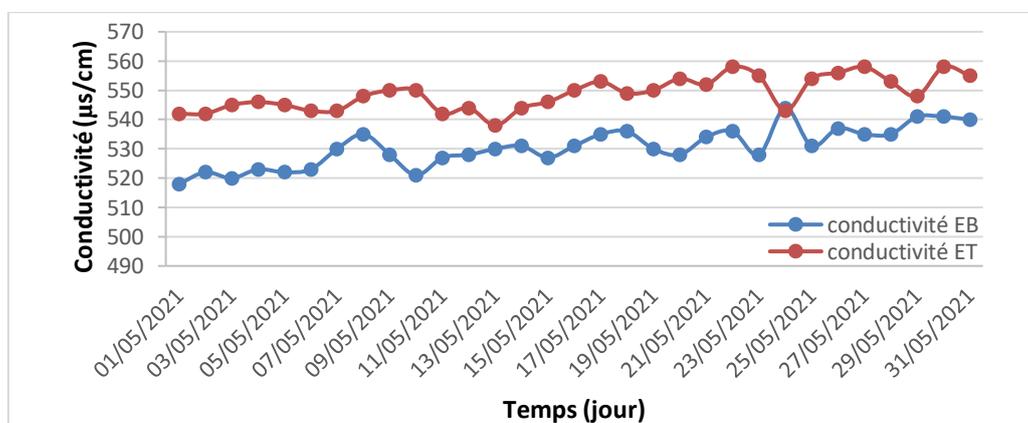
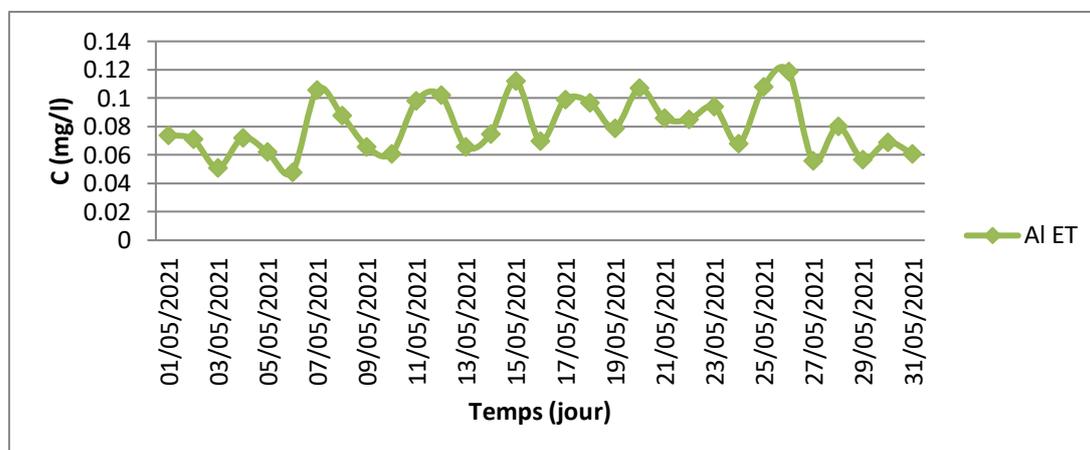


Figure 6.4 : Variation de conductivité ET et EB

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

La figure 6.4 présente les variations journalières de la conductivité des ET et EB.

Les résultats obtenus montrent aussi que les profils de variations sont similaires pour les EB et ET. On remarque que la conductivité des eaux traitées est légèrement supérieure à celle des eaux brutes ce qui dû principalement au mode de traitement utilisé afin de réduire les matières en suspension.



**Figure 6.5 :** Variation de l'aluminium dans les eaux traitées

La figure 6.5 illustre les variations journalières de la concentration de l'aluminium résiduel dans les eaux traitées.

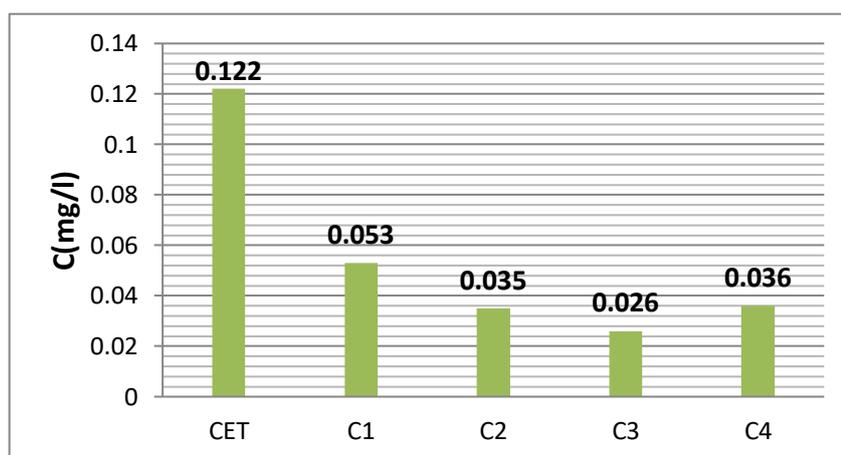
Les valeurs obtenues montrent bien la présence de fluctuations importantes entre les différentes concentrations mesurées dans les eaux traitées. Ces variations sont dues principalement aux quantités de coagulants injectées lors de l'étape de coagulation d'où la nécessité de réduire ces concentrations en Al résiduel.

### 6-2- Résultats d'optimisation de bentonite en poudre

**Tableau 6.1:** Résultats obtenus sur la Variation de la concentration de bentonite

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

Paramètres	ET	C1=50mg/l	C2= 100 mg/l	C3=250mg/l	C4=300mg/l
pH	7,64	7,95	8,13	<b>8,1</b>	8,12
Conductivité (μS/cm)	543	556	563	<b>562</b>	554
T (°C)	16,4	22,3	22,5	<b>22,5</b>	22,7
Turbidité (NTU)	0,27	2,82	2,98	<b>3,51</b>	4,16
[Al] (mg/l)	0,122	0.053	0,035	<b>0,026</b>	0,036



**Figure 6.6 :** Taux d'aluminium dans les eaux après variation de la concentration  
(Temps de décantation= 1h, V=200 tr/min)

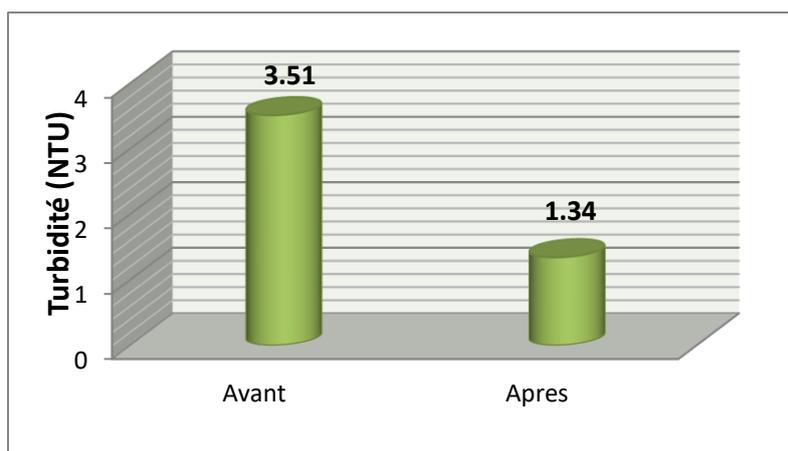
Selon les valeurs obtenues on remarque que les meilleures valeurs de turbidité et de température pour une bonne élimination d'Aluminium correspondent à la concentration de bentonite de 250mg/L. Pour cette concentration le taux d'élimination de l'aluminium résiduel a atteint environ de 78,68% avec une légère augmentation de pH atteignant ainsi la valeur de 8,1.

Le tableau 6.2 et la figure 6.7 donnent les résultats de traitement de la turbidité par le procédé de centrifugation

**Tableau 6.2 :** Résultats obtenues sur la centrifugation (3500 tr/min)

Bentonite	ET	250 mg/l
Turbidité (NTU)	0,2	<b>1,34</b>
Conductivité (μS/cm)	554	<b>557</b>
T (°C)	18,7	<b>22,9</b>
pH	7,6	<b>8,12</b>
Al (mg/l)	0,069	<b>0,028</b>

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



**Figure 6.7 :** Turbidité avant et après centrifugation

(Temps de décantation= 1h, V=200 tr/min)

Le principe de l'utilisation de la centrifugation se résume dans ces trois points : Une bonne siccité des boues, une clarification poussée du centrât et une consommation minimale de polymère. Par application de la force centrifuge, les particules lourdes vont être déposées sur la paroi inférieure du bol.

Selon la figure 6.7, on remarque que l'application de ce procédé de séparation par centrifugation a permis de diminuer la turbidité mesurée avant centrifugation à environ 62% ce qui montre l'efficacité de la séparation et l'amélioration de la qualité de l'eau.

L'application de ce procédé à grande échelle et en particulier les stations d'épuration des eaux usées est pratiquement difficile. A cet effet on propose pour l'amélioration de la qualité de traitement après adsorption sur bentonite, l'utilisation du procédé de filtration membranaire.

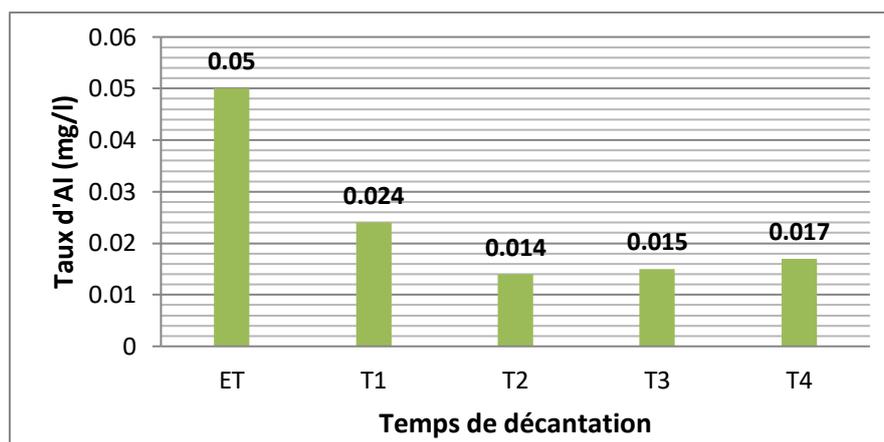
Le tableau 6.3 résume les résultats concernant le meilleur temps d'élimination de l'aluminium.

**Tableau 6.3 :** Résultats de variation de temps de décantation eau traitée Taksebt

Temps	ET	20 min	<b>40 min</b>	1h	2h
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	554	563	<b>562</b>	566	562
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	17.5	22.9	<b>22.9</b>	22	23.2
pH	7.56	7.87	<b>7.91</b>	7.89	7.90
Turbidité (NTU)	0.34	5.99	<b>6.00</b>	7.27	6.26
Al (mg/l)	0.05	0.018	<b>0.014</b>	0.014	0.020



## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



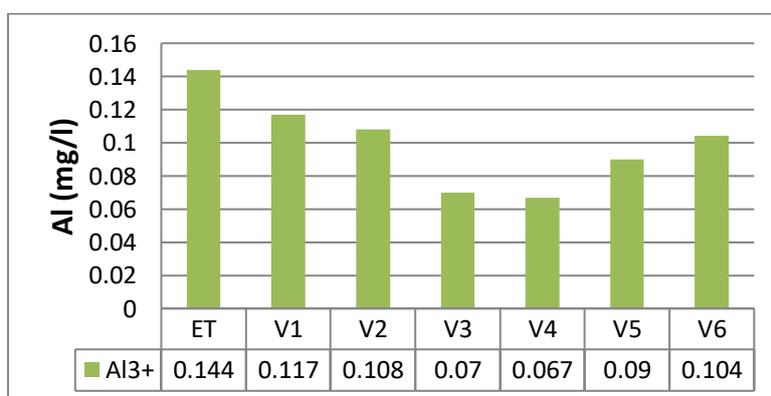
**Figure 6.8 :** Taux d'aluminium dans les eaux selon le temps de décantation ( $C_B=250\text{mg/l}$ ,  $V=200\text{ tr/min}$ )

La bonne décantation est un paramètre qui est aussi important pendant le processus d'adsorption, selon la figure 6.8, un temps de décantation de 40 minutes, nous a permis d'avoir un rendement de 72,54% d'élimination des traces d'aluminium.

Le tableau 6.4 résume les résultats de l'influence de la vitesse d'agitation sur l'efficacité d'élimination des concentrations résiduelles en aluminium.

**Tableau 6.4:** Résultats de variation de la vitesse d'agitation

Béchers	ET	B 01	B 02	B 03	B04	B 05	B 06
Vitesse (tr/min)	/	50	100	150	<b>200</b>	250	300
pH	7,56	7,96	8,00	7,97	<b>8,01</b>	8,15	8,21
Turbidité(NTU)	0,3	0,26	0,16	0,17	<b>0,16</b>	0,14	0,13
$\text{Al}^{3+}$ (mg/l)	0,144	0,117	0,108	0,070	<b>0,067</b>	0,090	0,104



**Figure 6.9 :** Taux d'aluminium dans les eaux selon la vitesse d'agitation ( $C_B=250\text{mg/l}$ , temps de décantation=40min)

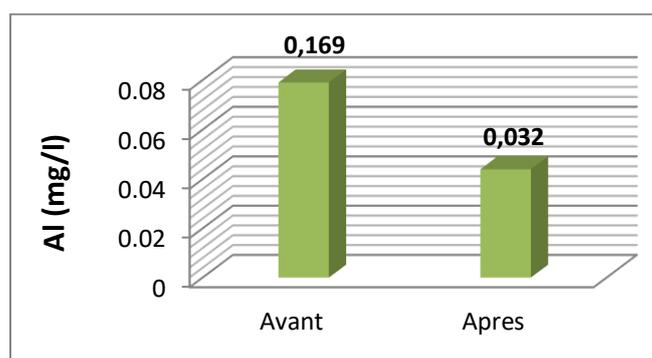
## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

On remarque que l'augmentation de la vitesse d'agitation a influencé positivement sur le taux d'élimination d'aluminium résiduel dans les eaux traitées.

Le tableau 6.5 donne les résultats obtenus après optimisation des paramètres pour une meilleure élimination des concentrations résiduelles de l'aluminium.

**Tableau 6.5 :** Résultats après optimisation de tous les paramètres

Béchers	Avant	Après
Turbidité (NTU)	0,55	0.95
Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	562	568
T ( $^{\circ}\text{C}$ )	19.9	24.3
pH	7.58	8.05
Couleur (Pt-Co)	02	6
UV	2.8	3.1
Al (mg/l)	0.169	0.032



**Figure 6.10 :** Taux d'aluminium après optimisation ( $C_B=250\text{mg/l}$ , Temps de décantation=40 min,  $V=200\text{ tr/min}$ )

L'ensemble de ces expériences nous ont permis de déduire les paramètres optimums de la bentonite (Concentration=250mg/l, temps de décantation= 40min,  $V=200\text{ tr/min}$ ) servant pour une meilleure efficacité d'élimination des traces d'aluminium dans les eaux traitées.

Le rendement d'élimination après toutes les optimisations a atteint 81%. Il est constaté que pour ce taux d'élimination il a eu une hausse dans certains paramètres tels que le pH, UV, couleur et la température.

Ces paramètres vont faire l'objet d'une autre étude pour les réduire.

### - Influence de la température :

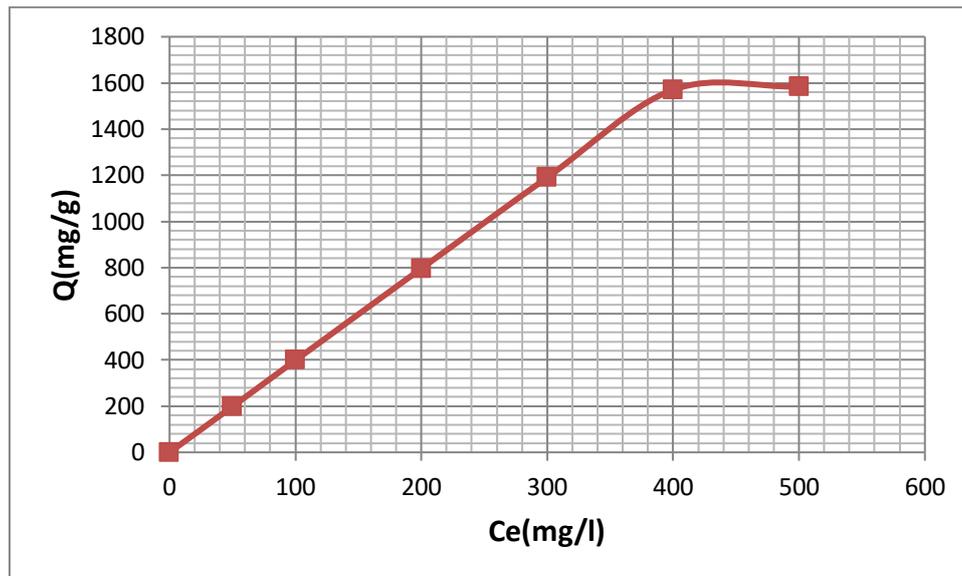
La température du milieu est un paramètre très important dans ce procédé, car elle exerce une influence considérable sur le taux de sorption (Chouchane, 2013) Les températures

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

utilisées dans cette phase expérimentale varient de 20 à 50°C avec un intervalle de 10°C entre chaque milieu.

D'après plusieurs recherches telles que l'étude de Mr T.Chouchane sur l'élimination du Manganèse sur un support solide, les résultats des essais effectués sont montrés que la température agit directement sur ce procédé et la fixation est maximale à 20°C.

### - Isotherme d'adsorption

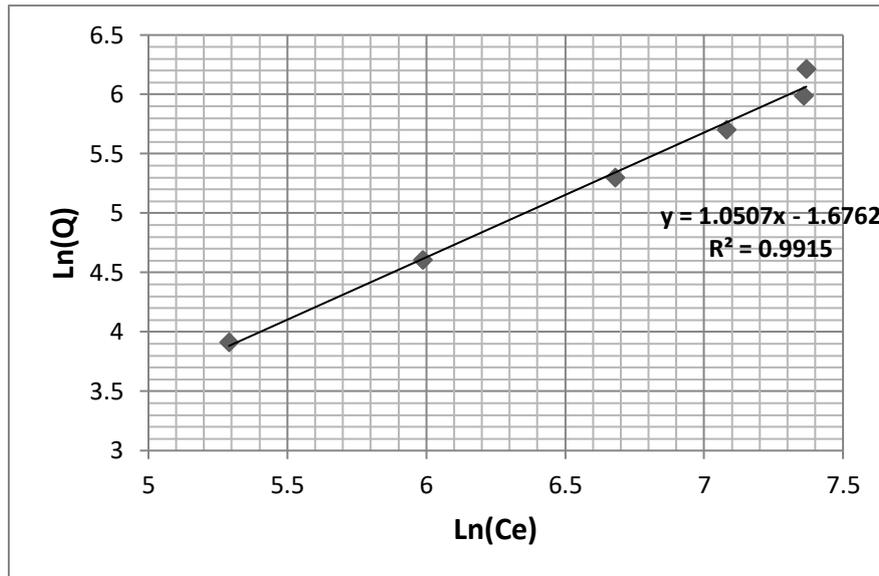


**Figure 6.11** : Isotherme d'adsorption de l'aluminium sur la bentonite

L'étude de cette isotherme montre clairement qu'elle rapproche de l'isotherme de classe L selon la classification de Giles. La courbe montre également que la quantité adsorbée augmente proportionnellement avec la concentration initiale de l'aluminium.

La valeur de la concentration adsorbée mesurée au niveau du palier est de 1570mg/g. Ce résultat nous permet de conclure que cette quantité adsorbée représente la quantité maximale qui peut être fixée par un gramme de bentonite.

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



**Figure 6.12** : Isotherme d'adsorption de Freundlich de l'aluminium sur la bentonite

Le modèle de Freundlich, est basé sur une équation empirique qui traduit une variation des énergies avec la quantité adsorbée. Cette distribution des énergies d'interaction s'explique par une hétérogénéité des sites d'adsorption.

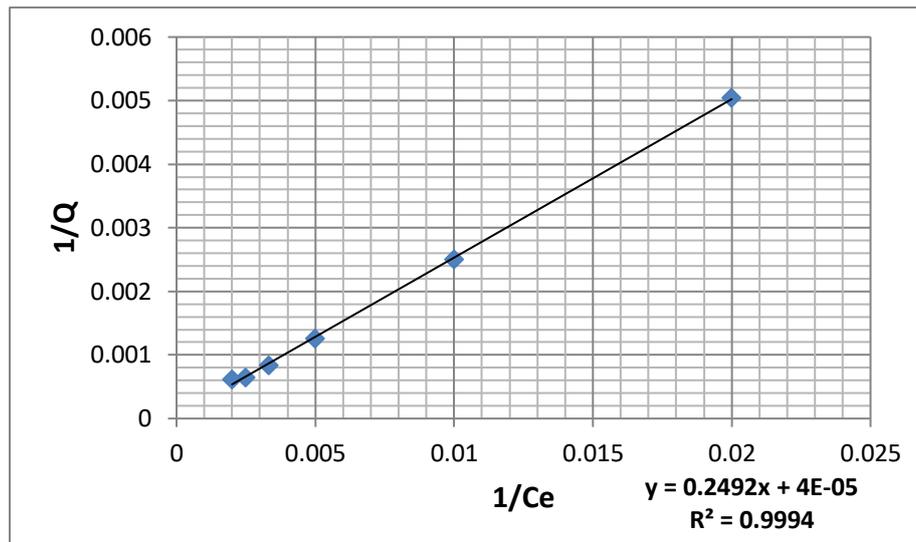
La constante d'adsorption  $K_F$  et le paramètre  $n$ , tirés de la linéarisation (voir figure 6.12) de cette isotherme, sont respectivement 2,85 L•g<sup>-1</sup> et 0,6.

$1/n < 0$  donc l'isotherme est de type L, la saturation se fait sur une couche mono moléculaire.

**Tableau 6.6** : Paramètres représentatifs du model de Freundlich

	$1/n$	$K_f$ (l/g)	$R^2$
<b>Bentonite</b>	1,05	2,85	0.99

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



**Figure 6.13:** Isotherme d'adsorption de Langmuir des Aluminium sur la bentonite

Le modèle de Langmuir est basé sur les hypothèses suivantes :

La formation d'une seule couche d'adsorbat sur la surface de l'adsorbant, l'existence de sites définis d'adsorption, la surface est uniforme avec absence d'interaction entre les molécules adsorbées.

**Tableau 6.7 :** Paramètres représentatifs du model de Langmuir

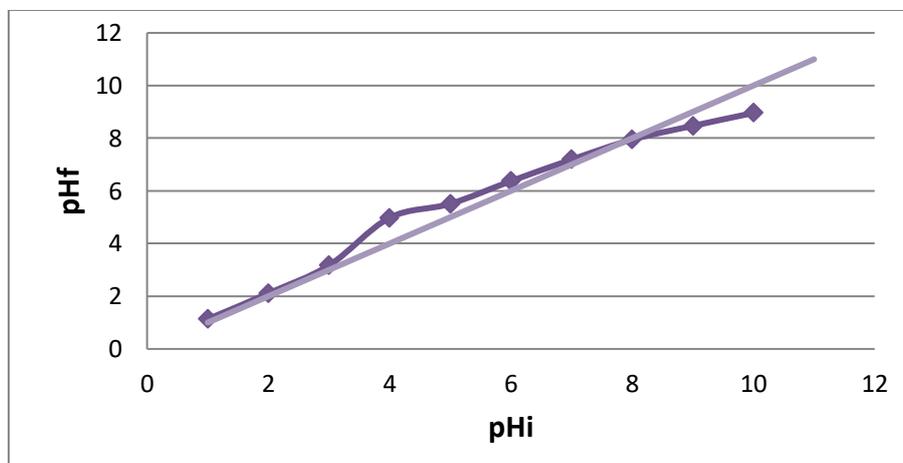
	<b>Qm (mg/g)</b>	<b>Kd (g/l)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Bentonite</b>	4,016	0.16	0.99

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

### 6-5- Résultats et discussion partie électrochimie

#### 6-5-1- Etude paramétrique

##### - Influence du pH

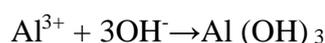


**Figure 6.14** : Le pH après traitement électrochimique en fonction du pH initial

Pour des pH initiaux (pH=3 à pH= 7), le pH final devient plus grand, donc il y a un abaissement d'acidité, ceci est dû essentiellement à la réduction des ions  $H^+$  au niveau de la cathode avec une observation claire de dégagement de l'hydrogène suivant la réaction :



Pour des pH basiques (pH>8), il y'a une faible diminution de pH ce qui revient à la consommation des ions  $OH^-$  suivant la réaction suivante:

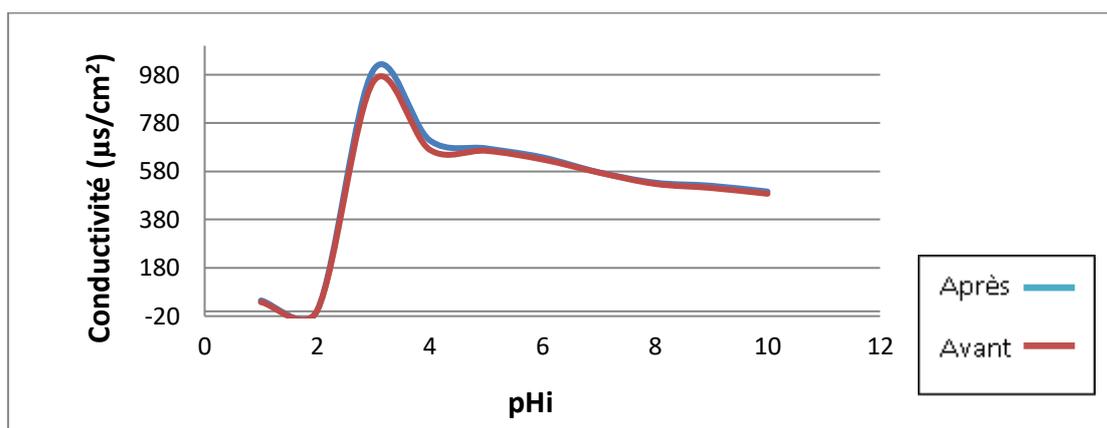


$Al^{3+}$  libéré lors de la dissolution de l'adsorbant est lié par coordination aux colloïdes contribuant ainsi à sa déstabilisation électrostatique. Le pH maximal augmente, Ceci peut s'expliquer par le fait que celle-ci entraîne l'augmentation de la concentration de l'ion métallique  $Al^{3+}$ , laissant ainsi des ions  $OH^-$  libres ; ce phénomène contribue à l'augmentation du pH.

Le pH de la solution passe de 7 à un pH optimum qui semble correspondre au début de la précipitation de  $Al(OH)_3$  sur lequel a lieu une adsorption quasi-totale des colloïdes.

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

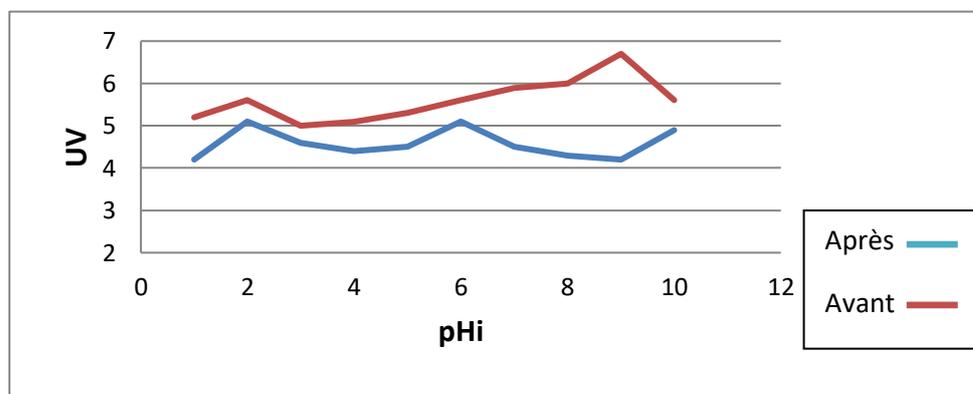
### - Variation de la conductivité en fonction du pH



**Figure 6.15 :** La conductivité avant et après traitement électrochimique en fonction du pH initial (Temps de traitement= 10min, I=0,06A, V=13V)

D'après la figure 6.15, on remarque qu'il y a un pic de conductivité pour les pH acides ( $\text{pH} < 4$ ) l'hydroxyde d'aluminium se dissout et donne lieu aux ions hydrolysés d'aluminium :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$  (voir Annexe V), qui ont fait augmenter la conductivité par contre elle est stable pour  $\text{pH} > 6$  donc on doit toujours travailler dans des pH neutres et basique donnant de bons rendement d'élimination pour éviter ce déséquilibre de conductivité.

### - Variation de l'UV en fonction du pH

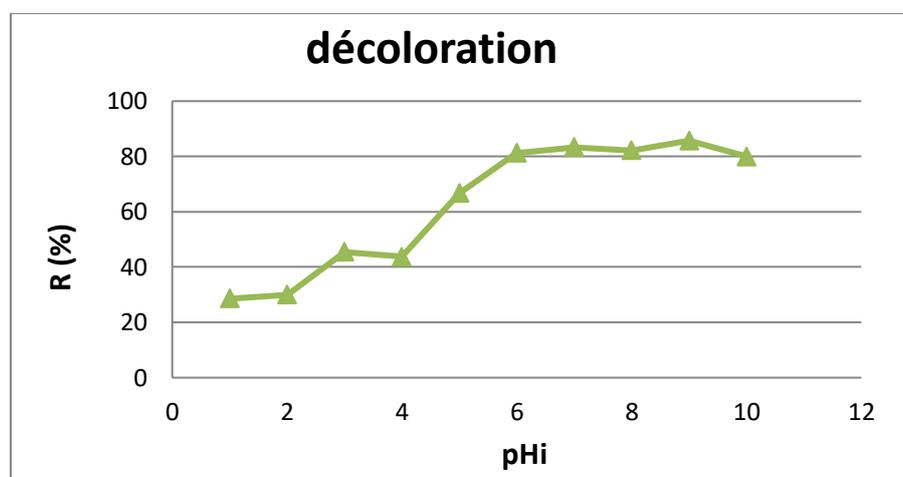


**Figure 6. 16 :** L'Absorbance UV avant et après traitement électrochimique en fonction du pH initial (Temps de traitement= 10min, I=0,06A, V=13V)

Les spectres sont très souvent sensibles au pH qui modifie l'ionisation de certaines fonctions chimiques. Cela, est bien vu dans la figure 6.16, dont laquelle on remarque qu'on a 2 zones, la première à  $\text{pH} < 6$  ou le changement de l'UV n'est pas vraiment considérable par contre dans la zone à  $\text{pH} > 6$ , il y'a une grande élimination de la matière organique.

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

### Variation de la couleur en fonction du pH



**Figure 6.17 :** Le % de décoloration après traitement électrochimique en fonction du pH initial (Temps de traitement= 10min, I=0,06A, V=13V)

### 6-5-2- Cinétique de traitement électrochimique

La détermination du temps de traitement électrochimique est nécessaire afin de savoir les conditions expérimentales optimales pour la décoloration de l'eau brute. L'étude cinétique de l'électrocoagulation a été faite sur des échantillons de 1L à pH neutres (pH de prélèvement) avec un courant imposé de 0.08A.

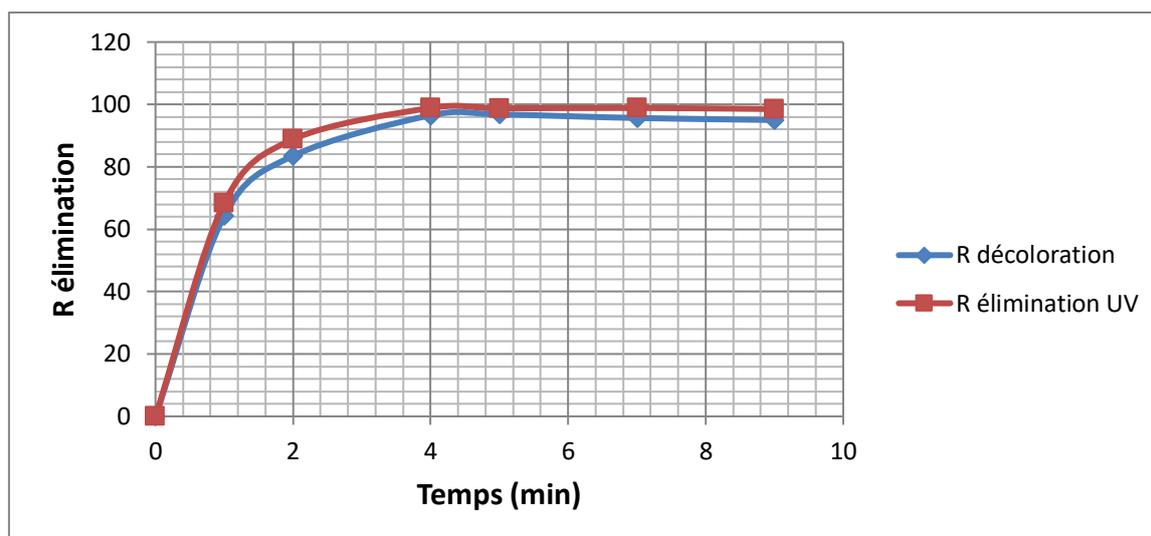
#### - Détermination du temps nécessaire

**Tableau 6.8 :** Variation du temps

Temps (min)	0	1	2	4	5	7	9	10
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	555	554	564	554	554	549	551	567
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,7	23	23,2	23,2	24,1	24	24,2	24,3
pH	7,57	7,76	7,71	7,68	7,8	7,71	7,85	7,81
Turbidité (NTU)	2,84	0,5	0,63	0,28	0,43	0,21	0,52	0,29
UV	4,5	1,42	0,5	0,051	0,056	0,051	0,067	0,7
Couleur (Pt-Co)	14	5	2,3	0,49	0,45	0,61	0,7	2
Aluminium (mg/l)	0,051	0,022	0,019	0,019	0,027	0,022	0,023	0,027
R (%) de décoloration	0	64,28	83,5	96,5	96,78	95,64	95	85,71
R (%) élimination UV	0	68,4	88,8	98,86	98,75	98,86	98,51	84,44



## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



**Figure 6.18 :** Le % de décoloration et élimination UV après traitement électrochimique en fonction du temps (pH=7,57, I=0,08A)

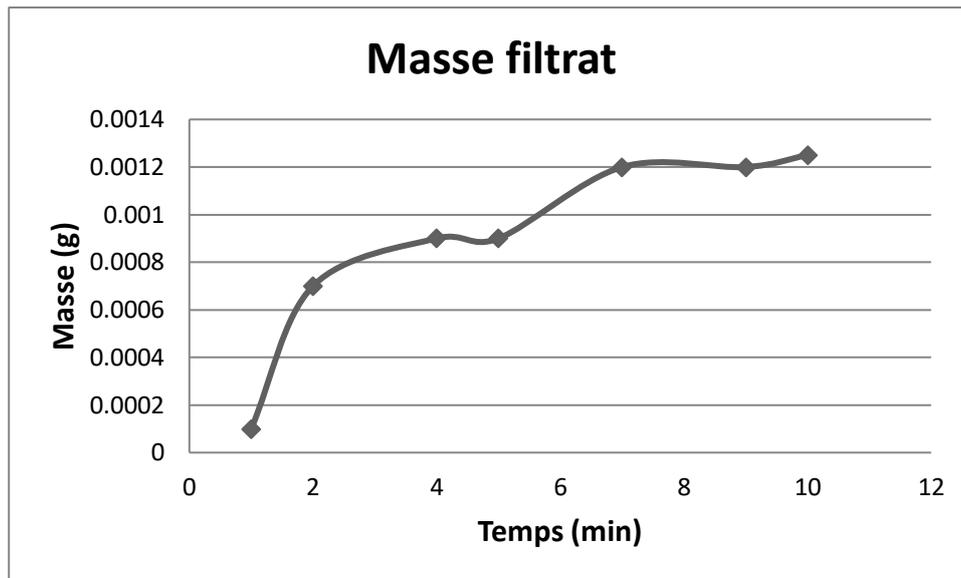
La figure **6.18** débute par une diminution rapide de l'absorbance et la couleur pendant les 2 premières minutes. Elle est due à une coagulation des polluants, grâce à la déstabilisation par les ions  $Al^{3+}$  présents en quantité importante. En effet, les ions métalliques proviennent d'une part, de la dissolution anodique et d'autre part, d'une dissolution chimique à l'anode, suite à l'acidification du milieu.

Le traitement d'électrocoagulation a donné une meilleure efficacité d'élimination à partir de 4 minutes de traitement, pour la turbidité (90,14%), par rapport aux autres temps d'électrolyse. On remarque également une hausse non considérable du pH qui est due aux réactions sur les électrodes.

**Tableau 6.9 :** Pesée de la masse du filtrat

Temps	1	2	4	5	7	9	10
pesée à blanc	0,0709	0,0702	0,0701	0,0705	0,0702	0,0698	0,0701
pesée de la brute	0,071	0,0709	0,071	0,0714	0,0714	0,071	0,07135
Masse filtrat (g)	1E-04 =0,1mg	0,0007 =0,9mg	0,0009 =0,9mg	0,0009 =0,9 mg	0,0012 =1,2mg	0,0012 =1,2mg	0,00125 =1,25mg

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



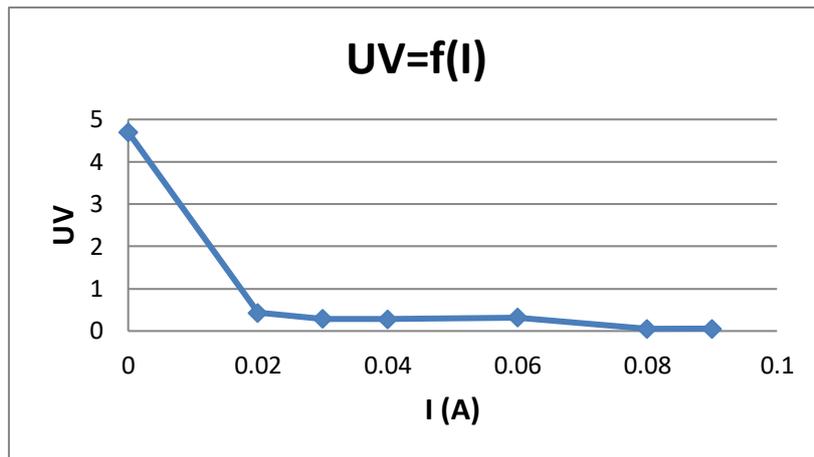
**Figure 6.19 :** La masse du filtrat après traitement électrochimique en fonction du temps (Temps décantation= 45min, I=0,08A, pH=7,57)

La figure **6.19** nous montre que la masse des boues atteint son maximum (1,2mg) à 7min ce qui induit à la fixation de ce temps de traitement.

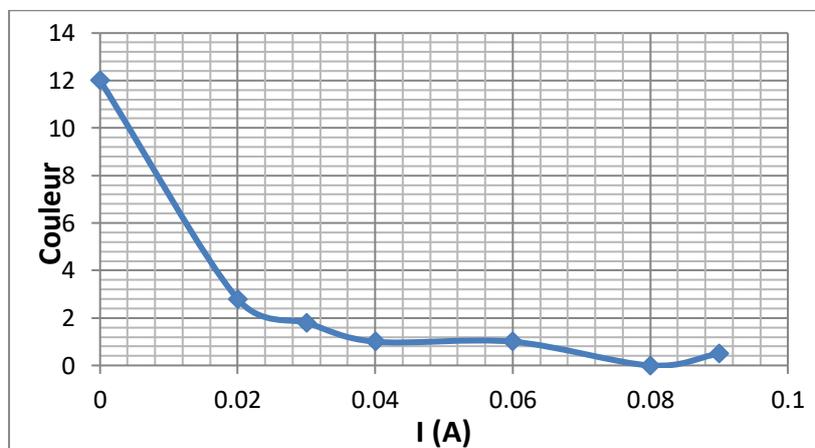
**Tableau 6.10 :** Influence du courant

I (A)	0	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.09
Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	544	553	557	550	551	553	540
T ( $^{\circ}\text{C}$ )	21,7	22,3	22,7	24	22,6	22,9	23,2
pHf	7,8	7,87	7,9	8,17	7,85	7,69	8,1
Turbidité (NTU)	2,82	0,25	0,2	0,18	0,22	0,1	0,26
Couleur (Pt-Co)	12	2,8	1,8	1	1	0	0,5
UV	4,7	0,43	0,29	0,28	0,32	0,053	0,056
Al (mg/l)	0,031	0,03	0,033	0,010	0,027	0,025	0,016
R(%) élimination UV	0	90,85	93,82	94,04	93,19	98,87	98,80
R(%) décoloration	0	76,66	85	91,66	91,66	100	95,83

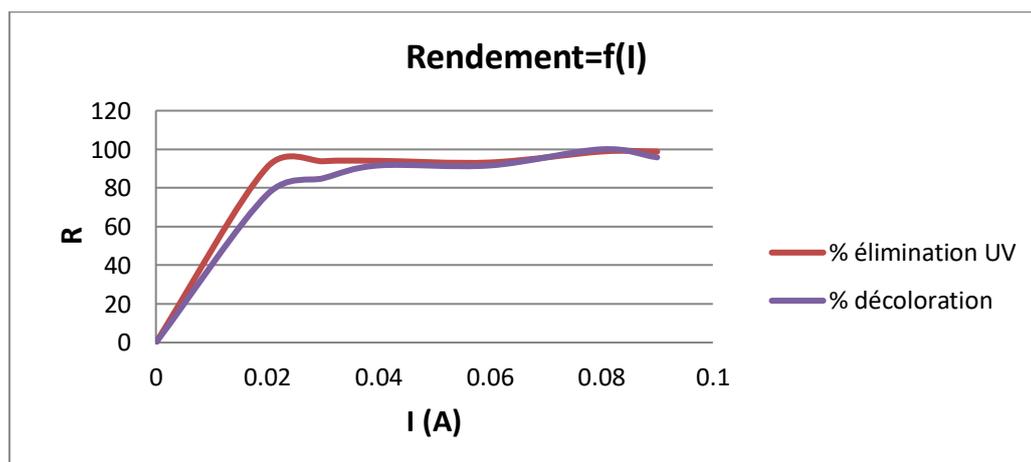
## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions



**Figure 6.20 :** UV en fonction du courant (Temps traitement=7min, Temps décantation=45min, V=200tr/min)



**Figure 6.21 :** Couleur en fonction du courant (Temps traitement=7min, Temps décantation=45min, V=200tr/min)



**Figure 6.22 :** Le % de décoloration et élimination UV et couleur après traitement électrochimique en fonction du courant (Temps traitement=7min, Temps décantation=45min, V=200tr/min)

## CHAPITRE 6 : Résultats et Discussions

Pour étudier l'effet de ce paramètre important une série d'expérience a été menée avec une concentration en Al constante et des intensités variant de 0,02 à 0,09A.

Selon la Figure 6.22, plus l'intensité du courant est élevée plus la vitesse d'élimination des colloïdes est rapide. D'après les résultats obtenus avec  $I=0,02A$ , le rendement atteint 76% d'élimination de l'UV et 90% de décoloration, par contre avec  $I=0,08A$  on a atteint les 100%. Cela s'explique par le fait que des intensités élevées du courant entraînent un dégagement intense de bulles, permettant un meilleur mélangeage et une meilleure élimination si le système n'est pas préalablement sous effet d'agitation.

On pourra dire qu'on a atteint un bon rendement avec un courant de 0,02A mais puisque l'eau est destinée à la consommation humaine on doit étudier les autres paramètres de l'eau et vérifier s'ils sont conformes aux normes, La meilleure conformité a été trouvée pour un courant de 0,08A (Décoloration 100%, élimination UV 98,87%, taux d'aluminium après traitement conforme aux normes)

:

---

*CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES*

---

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## Adsorption

### En conclusion :

Le matériau argileux que nous avons utilisé dans ce travail a montré l'efficacité pour diminuer la Pollution d'aluminium dans les eaux traitées de la station SEAAL

Nous avons optimisés la concentration massique de bentonite en poudre (250 mg/l) qui nous a donné une élimination de 78,68% d'Aluminium, le temps de décantation (40 min) pour lequel, on a eu 72,54% d'élimination ainsi que la vitesse d'agitation (200tr/min)

La bentonite en poudre a donné de bons résultats d'élimination d'aluminium mais en revanche, elle a créé un problème de turbidité et une hausse considérable de pH.

La concentration massique de la bentonite et la vitesse d'agitation sont très importantes pour une bonne adsorption.

L'essai de centrifugation était efficace pour réduire la turbidité de l'eau de 61,8%.

### En perspective :

- L'utilisation de bentonite en poudre nécessite une technique de filtration avancée pour éviter la hausse de turbidité et du pH.
- La méthode d'adsorption sur bentonite mérite d'être plus approfondie en déterminant l'influence d'autres paramètres tels que la température, pH optimal.
- Il serait aussi intéressant d'envisager à tester cette méthode sur les polluants dominants des rejets des industries pour adopter cette méthode dans le traitement de rejets.
- De plus, une étude de désorption est à considérer afin d'étudier la réversibilité du phénomène et la régénération de bentonite.
- On doit étudier les paramètres thermodynamiques d'adsorption (Chaleur d'adsorption  $DH$  et L'entropie  $DS$ ) car le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un processus thermique qui peut être soit exothermique ou bien endothermique.
- La méthode des billes d'alginate-bentonite est une méthode permettant une bonne adsorption des polluants tout en gardant les autres paramètres tels que le pH et la turbidité stable, elle est également facile à préparer (voir Annexe III). Ainsi que les billes mixtes de matériaux composites (biomatériaux) alginate/bentonite organo-activée (A-OAB),

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

alginate/charbon actif (A-CA), ou alginate/bentonite organo-activée/charbon actif (A-OAB-CA).

- Il serait nécessaire de faire une étude sur le système d'ajout de bentonite, son impact et la possibilité de sa mise en marche dans les stations d'épuration ainsi qu'une étude technico-économique.

### Electrocoagulation

#### En conclusion

L'électrocoagulation est une technique dérivée de la coagulation classique. Elle permet d'éliminer les particules colloïdales et la pollution dissoute grâce à la production *in situ* de floccs d'hydroxydes obtenus par dissolution anodique d'électrodes solubles (Fe, Al). Les floccs d'hydroxydes générés par voie électrochimique sont plus compacts que ceux obtenus par la méthode chimique. En outre, l'électrocoagulation requiert moins de réactifs et permet de réduire le volume de boues générées comparativement à la coagulation chimique qui nécessite des concentrations élevées de réactifs, entraînant ainsi une augmentation du volume de boues

L'utilisation d'électrodes solubles d'aluminium permet de produire à l'anode des ions  $Al^{3+}$  qui réagiront par la suite en solution avec les ions  $OH^-$  pour former des hydroxyde d'aluminium  $Al(OH)_3$

L'étude paramétrique nous a permis de tester l'influence de certains paramètres tels que le pH, le temps de traitement et le courant imposé sur l'électrocoagulation.

Le pH, influence le traitement électrochimique de façon considérable et d'après l'étude de pH, nous avons trouvé en conclusion que la coagulation de l'eau traitée est favorisée à des  $pH > 6$ , le  $pH$  favorise la formation du complexe  $Al(OH)_3$  ce qui va permettre une bonne électrocoagulation ainsi qu'on a eu le meilleur rendement de décoloration 85,71 % à  $pH=9$ .

On note également qu'on a une masse qui continue à augmenter au delà de 6 minutes. Ceci peut être dû à l'élimination des ions  $Al^{3+}$  solubles provenant de l'oxydation de l'aluminium et qui permettent d'assurer le phénomène de coagulation et par conséquent la formation des boues. Cette formation de boue atteint son maximum (1,2mg) pour 7 minutes de traitement et le rendement de décoloration et d'élimination UV sont respectivement 96,5% et 98,86%.

Le courant appliqué est également optimisé et nous avons trouvé de meilleurs résultats en appliquant 0,08A pour lequel nous avons atteint 100% d'élimination d'UV et de couleur ainsi que le taux d'aluminium final était 0,055 mg/l (%)

plus l'intensité du courant est élevée plus la vitesse d'élimination des colloïdes est rapide (*Bhattacharya, Naiya, Mandal, Das 2008*).

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## En perspective

- Pour une meilleure étude d'efficacité et du coût, on doit mesurer la quantité d'aluminium dissous théoriquement et expérimentalement par la loi de Faraday ainsi pour avoir une idée sur l'erreur commise expérimentalement. L'efficacité de courant (current efficiency (CE)), ou le rendement faradique pour la dissolution du métal (aluminium dans notre cas) est égale au rapport entre les quantités d'aluminium dissous réellement et celles prévues par la loi de Faraday, Cette efficacité de courant (CE) est le rapport de la masse expérimentale de l'électrode consommée ( $m_{exp}$ ) et la masse théorique ( $m_{thé}$ ), donnée par la loi de Faraday (XEMING CHEN *et al.*, 2000)
- Les autres paramètres influençant l'électrocoagulation doivent être étudiés afin de mieux optimiser le processus.
- Une étude technico-économique du système d'électrocoagulation sera nécessaire.
- Ce système électrochimique et la possibilité de son adoption dans les stations d'épuration est également à étudier.



---

*REFERENCES*  
*BIBLIOGRAPHIQUES*

---

## Références bibliographiques

A

1. **Atheba, G. P. (2009).** *Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif: conception et réalisation du procédé* (Doctoral dissertation, Université Paul Verlaine-Metz).
2. **Acharya, S., & Sharma, S. K. (2016).** Groundwater Assessment and its Electrochemical Treatment. *Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci*, 4, 21-30.
3. **AICHOOR, A., & ZAGHOUANE-BOUDIAF, H.** L'ALGINATE DE SODIUM: ENCAPSULATION ET CHARACTERISATION.
4. **Al-Qawati, M., Idrissi, Y. A., Alemad, A., Belhaili, I., Marc, I., Baichouti, F., ... & Belghyti, D. (2015).** Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines De la région SIDI ALLAL TAZI-Gharb-MAROC [Physico-chemical analysis and quality control of groundwater from the region SIDI Allal Tazi-Gharb-MOROCCO]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 13(2), 420
5. **ABSI, A.** *Optimisation d'adsorption du Zn II (sur bentonite)* (Master's thesis).
6. **Avom, J., et al.** "Adsorption isotherme de l'acide acétique par des charbons d'origine végétale." *African Journal of Science and Technology* 2.2 (2001).
7. **Amrhar, Otheman, HakimaNassali, and Mohammed S. Elyoubi.** "Application of nonlinear regression analysis to select the optimum absorption isotherm for Methylene Blue adsorption onto Natural Illitic Clay." *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège* (2015).
8. A partir des données expérimentales." *Journal de Chimie Physique* 70 (1973): 559-573.
9. **ABDO MSE, AI – AMEERI RS** (1987) Anodic oxidation of a direct dye in an electrochemical reactor. *J Environ. Sci. Mealth. A* 22, 27 – 45
10. **Aoudjehane, M., Rezzouk, M., Kellil, A., Aurelle, Y., & Guigui, C. (2010).** Étude comparative de l'électrocoagulation et de la coagulation floculation vis-à-vis de la déstabilisation d'une émulsion d'huile de coupe. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 23(1), 17-30.
11. **Apfelbaum, 1995.** Diététique et nutrition 3eme. Edition. Masson.
12. **AI-Ashmawy, M. A. (2011).** Prevalence and public health significance of aluminum residues in milk and some dairy products. *Journal of food science*, 76(3), T73-T76.
13. **Abdelouahab, C., Ait-Amar, H., Obretenov, T. Z., & Gaid, A. (1987).** Fixation sur des argiles bentonitiques d'ions métalliques présents dans les eaux résiduaires industrielles (Cd II et Zn II). *Rev. Int. Sci. eau*, 3(2), 33-40.
14. **Arab, L., & Oudafal, N. (2015).** *Evaluation de la qualité*

## Références bibliographiques

*Physico-chimie et bactériologique des eaux brutes et traitées du barrage de Taksebt de la ville de Tizi-Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

15. **ASEF (2017)**. Aluminium, ce métal qui nous empoisonne : La synthèse de l'ASEF.
16. **Abdelouahab, C., Ait-Amar, H., Obretenov, T. Z., & Gaid, A. (1987)**. Fixation sur des argiles bentonitiques d'ions métalliques présents dans les eaux résiduaires industrielles (Cd II et Zn II). *Rev. Int. Sci. eau*, 3(2), 33-40.

### B

17. **Bensaid, J. (2009)**. Contribution à la dépollution des eaux usées par électrocoagulation et par adsorption sur les hydroxydes d'aluminium.
18. **Bourrié, G. (2018)**. *Les sols au coeur de la zone critique 4: Qualité de l'eau* (Vol. 4). ISTE Group.
19. **Benguella, B., & Yacouta-Nour, A. (2009)**. Elimination des colorants acides en solution aqueuse par la bentonite et le kaolin. *Comptes Rendus Chimie*, 12(6-7), 762-771.
20. **Belaid, Kumar, and Smail Kacha**. "Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois." *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science* 24.2 (2011): 131-144.
21. **BOULKRAH, Hafida**. "Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants." (2008).
22. **Belhouchat, N. H. (2018)**. *Synthèse et caractérisation de billes composites biopolymère-argile: application à l'élimination de polluants du milieu aqueux* (Doctoral dissertation).
23. **BOULKRAH, H. (2008)**. Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants.
24. **Baudu, M., Le Cloirec, P., & Martin, G. (1989)**. Modélisations des isothermes d'adsorption sur charbon actif de composés aromatiques en solution aqueuse. *The Chemical Engineering Journal*, 41(2), 81-89.
25. **Bagane, M., & Guiza, S. (2000, December)**. Elimination d'un colorant des effluents de l'industrie textile par adsorption. In *Annales de Chimie Science des Matériaux* (Vol. 25, No. 8, pp. 615-625).
26. **Bourbas, F., & Houamdi, S. (2016)**. *Suivie de l'évolution de la concentration de l'aluminium par la méthode LCK 301 des eaux du barrage de Taksebt* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

## Références bibliographiques

27. **Benguella, B., & Yacouta-Nour, A.** (2009). Elimination des colorants acides en solution aqueuse par la bentonite et le kaolin. *Comptes Rendus Chimie*, 12(6-7), 762-771.
28. **Banat, F. A., Al-Bashir, B., Al-Asheh, S., & Hayajneh, O.** (2000). Adsorption of phenol by bentonite. *Environmental pollution*, 107(3), 391-398.
29. **BODARD, M., DALLE, P., BOIS, P., & de Lyon, M.** OPTIMISATION DE LA FILIERE BOUE DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX DE PIERRE BENITE.
30. **Bhattacharya, A. K., Naiya, T. K., Mandal, S. N., & Das, S. K.** (2008). Adsorption, kinetics and equilibrium studies on removal of Cr (VI) from aqueous solutions using different low-cost adsorbents. *Chemical engineering journal*, 137(3), 529-541.
31. **Bouziyani, M.** (2000). L'eau de la pénurie aux maladies.
32. **Behloul, S.** (2009). *Evaluation de la matiere organique dans l'eau de barrage de timgad* (Doctoral dissertation, Batna.).
33. **Belghiti, M. L., CHAHLAOUI, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R.** (2013). Etude de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (14).
34. **Babakhouya, N.** (2010). *Récupération des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels* (Doctoral dissertation, Boumerdès).
35. **Bentahar, Y.** (2016). *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse* (Doctoral dissertation, Université Côte d'Azur (ComUE)).
36. **Bouziiane, N.** (2007). Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre.
37. **BOUGDAHAN, 2007**, mémoire de magister. Etude de l'adsorption des micropolluants organiques sur la bentonite.
38. **Burrell, S. A. M., & Exley, C.** (2010). There is (still) too much aluminium in infant formulas. *BMC pediatrics*, 10(1), 1-4.
39. **BOHRER, D., DO NASCIMENTO, P.C., BINOTTO, R., CARLESSO, R.** 2001: Influence of the glass packing on the contamination of pharmaceutical products by aluminium. Part ii: amino acids for parenteral nutrition. *J. Trace elem. Med. Biol.* 15.
40. **BOHRER. D; DO NASCIMENTO, P.C; BINOTTO, R., BECKER. E; 2003.** Influence of the glass packing on the contamination of pharmaceutical products by aluminium. Part:interaction container chemicals during the heating for sterilisation. *J.*
41. **Bolle, F., Brian, W., Petit, D., Boutakhrit, K., Feraille, G., & Van Loco, J.** (2011). Tea

## Références bibliographiques

brewed in traditional metallic teapots as a significant source of lead, nickel and other chemical elements. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(9), 1287-1293.

### C

42. **CLAUDE CARDOT et al ; 2001.** Technique appliquées au traitement de l'eau.
43. **Cases, Jean-Maurice, Frédéric Villieras, and Laurent Michot.** "Les phénomènes d'adsorption, d'échange ou de rétention à l'interface solide-solution aqueuse. 1. Connaissance des propriétés structurales, texturales et superficielles des solides." *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science* 331.12 (2000): 763-773.
44. **COSTAZ P., MIQUEL J., REINBOLD M.,** Electro flottation et désinfection simultanée d'eaux résiduaires urbaines. *Water Res.* 17 (3), 255-262 (1983)
45. **CHOUKCHOU-BRAHAM, N. (2018).** SAIDAL, SONELGAZ, SINAL, EVLAB, PROCHIMA-SIGMA, MANSOURAH and ICB. *Chemistry (LCSCO)*, 1.
46. **CHAHDI, A. O., MOUDEN, N., EL KAISSOUMI, H., SELMAOUI, K., DAHMANI, J., TOUHAMI, A. O., ... & DOUIRA, A. (2019).** VIABILITY AND ANTAGONISTIC ABILITY OF THE MOROCCAN STRAIN OF *Trichoderma asperellum* IN THE PRESENCE OF DIFFERENT HEAVY METALS. *PLANT CELL BIOTECHNOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY*, 869-889.
47. **Chouchane, T., Chouchane, S., & Boukari, A. (2013).** Elimination du manganèse en solution par le kaolin Etude cinétique et thermodynamique. *Journal of Renewable Energies*, 16(2), 313-335.
48. **Childs, C. W., Parfitt, R. L., & Newman, R. H. (1990).** Structural studies of Silica Springs allophane. *Clay Minerals*, 25(3), 329-341.
49. **Cao, H., Qiao, L., Zhang, H., & Chen, J. (2010).** Exposure and risk assessment for aluminium and heavy metals in Puerh tea. *Science of the Total Environment*, 408(14), 2777-2784.
50. **Can, O. T., Kobya, M., Demirbas, E., & Bayramoglu, M. (2006).** Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. *Chemosphere*, 62(2), 181-187.

### D

51. **DES PARAMÈTRES, I. E. O., & D'UTILISATION, D. C. D. P. EN TRAITEMENT DES EAUX POTABLES.**
52. **Desjardins, R. (1997).** *Le traitement des eaux.* Presses inter Polytechnique.
53. **Domange, Jean-Louis, and J. Oudar.** "Structure et conditions de formation de la couche d'adsorption du soufre sur le cuivre." *Surface Science* 11.1 (1968): 124-142.

## Références bibliographiques

54. **DARCHEN, A. (2010).** *Électrochimie appliquée-Caractérisations des systèmes électrochimiques.*
55. **De León, H. R. H. (2006).** *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable* (Doctoral dissertation, INSA de Toulouse). Mehtari et hernandez
56. **Didouh M.** *Etude, modélisation et optimisation de l'écoulement à travers une membrane de biosorbant nanofibreux pour la séquestration de métaux lourds dans l'eau.* Mémoire. Université du Québec, Trois - Rivières. 2019.
57. **Dabeka, R. W., & McKenzie, A. D. (1990).** Aluminium levels in Canadian infant formulae and estimation of aluminium intakes from formulae by infants 0–3 months old. *Food Additives & Contaminants*, 7(2), 275-282.
58. **Demont, M., Boutakhrit, K., Fekete, V., Bolle, F., & Van Loco, J. (2012).** Migration of 18 trace elements from ceramic food contact material: Influence of pigment, pH, nature of acid and temperature. *Food and Chemical Toxicology*, 50(3-4), 734-743.

### E

59. **Elmaleh, S. (1973).** *Étude de l'adsorption en lit fluidisé de traces d'anhydride sulfureux contenues dans un effluent gazeux* (Doctoral dissertation, Université de Nancy 1).
60. **EDELIN F.** *Epuration physico chimique des eaux.*
61. **El-Ezaby, K. H., El-Gammal, M. I., & Shaaban, Y. A. (2021).** Using electro-and alum coagulation technologies for treatment of wastewater from fruit juice industry in New Damietta City, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(6), 1-16.
62. **Exley, C. (2013).** Human exposure to aluminium. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1807-1816.
63. **Exley, C., Begum, A., Woolley, M. P., & Bloor, R. N. (2006).** Aluminum in tobacco and cannabis and smoking-related disease. *The American journal of medicine*, 119(3), 276-e9.
64. **Emamjomeh, M. M., & Sivakumar, M. (2009).** Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of environmental management*, 90(5), 1663-1679.

### F

65. **Freundlich, H. (1906).** *Über die Adsorption in Lösungen* (pp. 385–470). *Leipzig, Germany: Engelmann.*
66. **Fekete, V., Deconinck, E., Bolle, F., & Van Loco, J. (2012).** Modelling aluminium leaching into food from different foodware materials with multi-level factorial design of experiments. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(8), 1322-1333.
67. **Floody, M. C., Theng, B. K. G., Reyes, P., & Mora, M. L. (2009).** Natural nanoclays:

## Références bibliographiques

applications and future trends—a Chilean perspective. *Clay Minerals*, 44(2), 161-176.

### G

68. **Garcia, S. N., Navarro, M., Camara, M. A., & Barba, A. (1990).** Cinétique d'adsorption du chlorfenvinphos et du méthidathion sur bentonite et kaolinite. *Agronomie*, 10(6), 473-477.
69. **Guergazi, S., Amimeur, D., & Achour, S. (2013).** Elimination des substances humiques de deux eaux de surface algériennes par adsorption sur charbon actif et sur bentonite. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (13).
70. **Giles C, Smith D, Colloid J.** *Interf Sci.* 47,755-765. 1974.
71. **Garrido-Herrera, F. J., Gonzalez-Pradas, E., & Fernández-Pérez, M. (2006).** Controlled release of isoproturon, imidacloprid, and cyromazine from alginate– bentonite-activated carbon formulations. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(26), 10053-10060.
72. **Gueye, Mbaye.** "Développement de charbon actif a partir de biomasses lignocellulosiques pour des applications dans le traitement de l'eau." (2015).
73. **Gbamele, Kouassi Serge, et al.** "Contribution à l'étude de quatre charbons activés à partir des coques de noix de coco." *Afrique Science* 12.5 (2016): 229-245.
74. **Gu, Baohua, and L. E. Lowe.** "Studies on the adsorption of boron on humicacids." *Canadian Journal of Soil Science* 70.3 (1990): 305-311.
75. **Garcia, S. N., Navarro, M., Camara, M. A., & Barba, A. (1990).** Cinétique d'adsorption du chlorfenvinphos et du méthidathion sur bentonite et kaolinite. *Agronomie*, 10(6), 473-477.
76. **Golder, A. K., Samanta, A. N., & Ray, S. (2007).** Removal of Cr<sup>3+</sup> by electrocoagulation with multiple electrodes: bipolar and monopolar configurations. *Journal of hazardous materials*, 141(3), 653-661.
77. **Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire. Technique et documentation Lavoisier. Paris. France.

### H

78. **Houas, A., M. KsibiBakir, and E. Elaloui.** "Étude de l'élimination de bleu de méthylène." *J. Chim. Phys* 96 (1999): 486.
79. **HASSLER J.W (1951)** Active carbon, chemical publishing Co, Inc, Brooklyn N.Y, pp59 – 61 105, 304.
80. **Hasan, M. A., Hashem, M. A., Arman, M. N., & Momen, M. A. (2021).** Batch Electrocoagulation Process for Removal of Chromium from Tannery Wastewater. *Journal of Engineering Science*, 12(1), 29-34.
81. **Hamed, M., Guettache, A., & Bouamer, L. (2012).** Etude des propriétés

## Références bibliographiques

physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF-TORBA  
Bechar. *Mémoire de Master. Université de Bechar.*

82. **HARRAT, N. (2013).** *Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider–Biskra).
83. **Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2001).** The role of current in determining pollutant removal in a batch electrocoagulation reactor. In *6th World Congress of Chemical Engineering Conference Media CD, Melbourne, Australia.*

### K

84. **Kifuani, K. M., et al.** "Adsorption de bleu de méthylène en solution aqueuse sur charbon actif obtenu à partir des sciures végétales, préparation et caractérisation du charbon actif." *Rev. Sci* 20.1 (2004): 2.
85. **Kaouah F.** *Adsorption de quelques composés organiques sur charbon actif local.* Thèse de Doctorat. Génie de procédés : USTHB, Alger, 2001.
86. **Kamyab, H., Yuzir, M. A., Al-Qaim, F. F., Purba, L. D. A., & Riyadi, F. A. (2021).** Application of Box-Behnken design to mineralization and color removal of palm oil mill effluent by electrocoagulation process. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
87. **Koumad, Z., & Benbelkacem, F. (2017).** *La cinétique de l'aluminium dans le processus de traitement des eaux de consommation Cas de la station du barrage de Taksebt*(Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
88. **Koo, W. W., Kaplan, L. A., & Krug-Wispe, S. K. (1988).** Aluminum contamination of infant formulas. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 12(2), 170-173.
89. **Karube, J., Nakaishi, K., Sugimoto, H., & Fujihira, M. (1996).** Size and shape of allophane particles in dispersed aqueous systems. *Clays and clay minerals*, 44(4), 485-491.
90. **Krewski, D., Yokel, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., ... & Rondeau, V. (2007).** Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 10(S1), 1-269.

### L

91. **leau-et-votre-sante/qualite-de-leau/quelles-normes-de-qualite-pour-leau-potable**
92. **Létoquart, Claire, Françoise Rouquerol, and Jean Rouquerol.** "Les chaleurs d'adsorption: expression des chaleurs d'adsorption physique, en termes d'énergie interne,
93. **Losno, R. (1989).** *Chimie d'éléments minéraux en traces dans les pluies méditerranéennes* (Doctoral dissertation, Université Paris-Diderot-Paris VII).
94. **Larue, O., Vorobiev, E., Vu, C., & Durand, B. (2003).** Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Separation and Purification*



## Références bibliographiques

*Technology*, 31(2), 177-192.

95. **Lounnas, A. (1955)**. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi kroma de Skikda. *Mémoire de Magister Option: pollution chimique et environnementale à la Faculté des sciences*.
96. **LARHYSS JOURNAL**, ISSN 1112-3680, n°13, mars 2013, pp.125-137/p4.
97. **LAKHACHE SOFIANE ,2017** : adsorption de blue méthylène sur des argiles brute et sodée ;université dr moulay tahar – saida.
98. **Letterman, R. D., & Driscoll, C. T. (1988)**. Survey of residual aluminum in filtered water. *Journal-American Water Works Association*, 80(4), 154-158.

### N

99. **Nassima, D. J. E. B. R. I., Nadia, B. O. U. K. H. A. L. F. A., & Mokhtar, B. O. U. T. A. H. A. L. A. (2018)**. ALGINATES AND THEIR APPLICATIONS IN ENGINEERING: APPLICATION TO THE CONSTRUCTION OF A BIOMATERIAL. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 8(1).
100. **Noll, K. E., Gounaris, V., & Hou, W. S. (1992)**. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control Lewis. *Chelsea, MI*, 21-22.

### M

101. **Mayeko, A. Kifuani Kia, et al.** "Adsorption de la quinine bichlorhydrate sur un charbon actif peu coûteux à base de la Bagasse de canne à sucre imprégnée de l'acide phosphorique." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6.3 (2012):
102. **Mouchet, P., & Roustan, M. (2011)**. Caractéristiques et propriétés des eaux-Eau pure, eaux naturelles.
103. **Meghzili, B. Suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hamadi-Krouma (Skikda). Essai d'optimisation de la clarification** (Doctoral dissertation, Université de Biskra-Mohamed Khider).
104. **Meçabih, Z., Kacimi, S., & Bouchikhi, B. (2006)**. Adsorption des matières organiques des eaux usées urbaines sur la bentonite modifiée par Fe (III), Al (III) et Cu (II). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 19(1), 23-31.
105. **Mohammad, A. F., Al-Marzouqi, A. H., El-Naas, M. H., Van der Bruggen, B., & Al-Marzouqi, M. H. (2021)**. A New Process for the Recovery of Ammonia from Ammoniated High-Salinity Brine. *Sustainability*, 13(18), 10014.
106. **Metahri, M. S. (2012)**. *Elimination siultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes: cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

## Références bibliographiques

107. **Medjdoul, F., & Kadjite, K. (2018).** *Abattement des concentrations en sels d'alumine dans les eaux traitées de la station SEAAL du barrage de TAKSEBT par des procédés d'adsorption* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
108. **Mimanne, G., Benhabib, K., Benghalem, A., & Taleb, S. (2014).** Etude de l'Adsorption des Métaux Lourds (Pb et Cd) en Solution Aqueuse sur Charbon Actif et Montmorillonite Sodée de l'Ouest Algérien (Study of the Adsorption of Heavy Metals (Pb and Cd) in Aqueous Solution on Activated Carbon and Sodium Montmorillonite from Western Algeria). *J. Mater. Environ. Sci*, 5(4), 1298-1307.
109. **Miller, R. G., Kopfler, F. C., Kelty, K. C., Stober, J. A., & Ulmer, N. S. (1984).** The occurrence of aluminum in drinking water. *Journal-American Water Works Association*, 76(1), 84-91.

### O

110. **Ouattara, Paul Honoré Kalédia, et al.** "Preparation and characterization of activated carbons based on peanut shell (Arachis hypogaea), green soya shell (Vignaradiate)." *International Journal of Science and Research (IJSR)* 3.7 (2014): 20014.
111. **PICARD T, CATHALIFAUD – FEUILLADE G, MAZET M and VANDENSTEEDAM C** (2000) Cathodic dissolution in the electrocoagulation process, using aluminium electrodes. *J Environ. Monit*, 2, 77 -800

### P

112. **Prasetyaningrum, A., Ariyanti, D., Widayat, W., & Jos, B. (2021).** Copper and Lead Ions Removal by Electrocoagulation: Process Performance and Implications for Energy Consumption. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(3).
113. **Potelon J.L., 1998.** Le guide des analyses de l'eau potable ; Edition, la lettre du cadre territorial 253 p.

### R

114. **Rodier, J., Geoffray, C., & Rodi, L. (1984).** *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer: chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie* (p. 1365). Paris: Dunod.
115. **Rakotoarison, S., & Rakotondrazafy, F. H.** CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE CELLULE DE FLOTTATION POUR L'ENRICHISSEMENT DES DÉCHETS DE CHROMITE D'ANDRIAMENA-MADAGASCAR.
116. **Rakotoarison, S., & Rakotondrazafy, F. H.** CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE CELLULE DE FLOTTATION POUR L'ENRICHISSEMENT DES DÉCHETS

## Références bibliographiques

DE CHROMITE D'ANDRIAMENA-MADAGASCAR.

117. **Rosin, C., Morlot, M., Lukaszka, R., Trepagne, P., & Hartemann, P. (1990).** Impact des ultra-sons dans le dosage de l'aluminium en Absorption Atomique Sans Flamme. *TSM. Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural*, (2), 81-84.

S

118. **Sjögren, B., Iregren, A., Montelius, J., & Yokel, R. A. (2015).** Aluminum. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 549-564). Academic Press.

T

119. **Tchakala, Ibrahim, et al.** "Optimisation du procédé de préparation des Charbons Actifs par voie chimique (H 3 PO 4) à partir des tourteaux de Karité et des tourteaux de Coton." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6.1 (2012): 461-478.
120. **Tanyol, M., Yildirim, N. C., & Alparslan, D. (2021).** Electrocoagulation induced treatment of indigo carmine textile dye in an aqueous medium: the effect of process variables on efficiency evaluated using biochemical response of *Gammarus pulex*. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
121. **Trifi, I. M. (2012).** *Étude de l'élimination du chrome VI par adsorption sur l'alumine activée par dialyse ionique croisée* (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).
122. **Telegang, C. C. (2017).** *Elaboration de matériaux composites bifonctionnels charbon actif-TiO<sub>2</sub> à partir des ressources végétales tropicales pour des applications de traitement de l'eau par voie solaire* (Doctoral dissertation, Thèse, Université de Perpignan Via Domitia).

Y

123. **Yves, L. E. V. I. (2007).** Nouveaux risques sanitaires et nouveaux enjeux pour le contrôle de la qualité des eaux potables. *Les technologies de laboratoire*, 2(3).
124. **Yilmaz, A. E., Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M. M., & Keskinler, B. (2005).** The investigation of parameters affecting boron removal by electrocoagulation method. *Journal of hazardous materials*, 125(1-3), 160-165.

Z

125. **Zhao, L. (2016).** *Développement et mise en oeuvre de nouveaux matériaux adsorbants d'anions à base de ferrihydrite ou d'Hydroxydes Doubles Lamellaires intégrés dans un gel d'alginate* (Doctoral dissertation, Limoges).
126. **ZOUBIDA SMAHI NEE SENOUCI-BEREKSI ,2017 :** essais de valorisation d'un déchet cellulosique : tiges de charbon dans l'élimination d'un colorant basique à partir de

## Références bibliographiques

solutions aqueuses synthétiques, thèse doctorat ; université abou-bekrbe lkaid-tlemcen,.

127. **Zongo, I. (2009).** *Étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation: application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).
128. **Zodi, S. (2012).** *Étude de l'épuration d'effluents de composition complexe par électrocoagulation et des couplages intervenants entre le traitement électrochimique et l'étape de séparation: application à l'industrie textile et papetière* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

---

# *ANNEXES*

---

## ANNEXES

### Annexe I : Les normes de potabilités de l'eau

GROUPE DE PARAMETRE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	pH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
	Conductivité		pas de norme
	Température		Acceptable
	Turbidité		Non mentionnée
Paramètres organoleptiques	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		Acceptables
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr <sup>+3</sup> , Cr <sup>+6</sup>	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN <sup>-</sup> )	mg/l	0,07
	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu <sup>2+</sup> )	mg/l	2
	Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l	0.5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N <sub>1</sub> O <sub>5</sub> P <sub>1</sub> 3	µg/l	0.1
	Pesticides	mg/l	0.0001

## ANNEXES

### Annexe II : Méthode classique de dosage d'aluminium

#### Principe :

La réaction de l'aluminium avec l'eriochrome cyanine à pH de 5.9 en présence d'acétate d'ammonium fait apparaître une coloration rouge-orange

#### Réactifs utilisés :

- **Thiosulfate de sodium 0,028 N**

Introduire, dans un bécher de 1L, 28 ,2 ml de thiosulfate de sodium commercial (1N).

Ce réactif se conserve dans un flacon en verre brun, à 4<sup>0</sup>C, pendant un mois.

- **Acide sulfurique, 0,04N**

Introduire dans un bécher de 1L, 40 ml d'acide sulfurique commercial (1N), et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. On le conserve ensuite dans un flacon en verre, à 4<sup>0</sup>C.

- **Acide ascorbique, 10g/l**

On dissous 1g d'acide ascorbique (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>) dans 100 ml d'eau distillée. On le conserve dans une bouteille en verre foncé au réfrigérateur (4<sup>0</sup>C) pour un e durée de 2 semaines.

- **Solution Tampon à pH=6,2**

Dissoudre 37,2 g d'acétate d'ammonium dans un bécher d'un litre. Compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Ajouter de l'acide acétique cristallisable commercial sous agitation, jusqu'à l'obtention du pH de 6,2 mesuré avec une électrode de mesure. On le conserve dans un flacon en polyéthylène, à 4<sup>0</sup>C. On doit vérifier le pH dans le cas de conservation prolongée.

- **Solution mère d'eriochrome cyanine (indicateur coloré) 10 g/l**

Dissoudre 10 g d'eriochrome cyanine commercial dans un bécher de 1L, compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. On le conserve dans un flacon en verre brun, à 4<sup>0</sup>C pendant 2 mois.

- **Solution fille d'eriochrome cyanine (indicateur coloré), 0,1 g/l**

Verser 1ml de la solution mère et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est préparée et utilisée le jour même de l'analyse (pas de conservation).

- **Solution mère d'aluminium de concentration 1g/l** : c'est une solution commercial (Titrisol).

- **Solution fille d'aluminium 0,001 g/l**

Verser 1 ml de la solution mère et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée (utilisé le jour même sans conservation).

## ANNEXES

### Mode opératoire

Verser 25 ml d'échantillons à analyser dans une fiole de 50 ml puis on ajoute :

- **0,5 ml de thiosulfate de sodium 0,028 N et agiter**
- **1 ml d'acide ascorbique concentration 10g/l**
- **1 ml d'acide sulfurique 0,04 N**
- **10 ml de la solution tampon pH=6,2**
- **5 ml de la solution fille d'eriochrome cyanine.**

Compléter chaque fiole à 50 ml avec de l'eau distillée, et homogénéiser.

Laisser reposer 10 minutes avant mesure au spectrophotomètre à la longueur de 535 nm



## ANNEXES

### ANNEXE III : Billes d'alginate-Bentonite

Les adsorbants sous formes de petit grains ou poudre fines comme la bentonite sont indésirables car il est très difficile de les récupérer ou de les séparer de la suspension après le processus d'adsorption. Afin de résoudre ce problème, il a été judicieux d'encapsuler la poudre adsorbante dans des copolymères comme l'alginate.

#### Préparation des billes d'alginate :

La solution de précurseur (alginate) est préparée en versant progressivement 2g d'alginate de sodium dans 100mL d'eau désionisée sous agitation. Une agitation de 2 heures est ensuite appliquée afin d'obtenir un gel bien homogène. L'agitation est arrêtée quelques instants afin de permettre aux éventuelles bulles d'air de s'éliminer de la solution visqueuse obtenue.



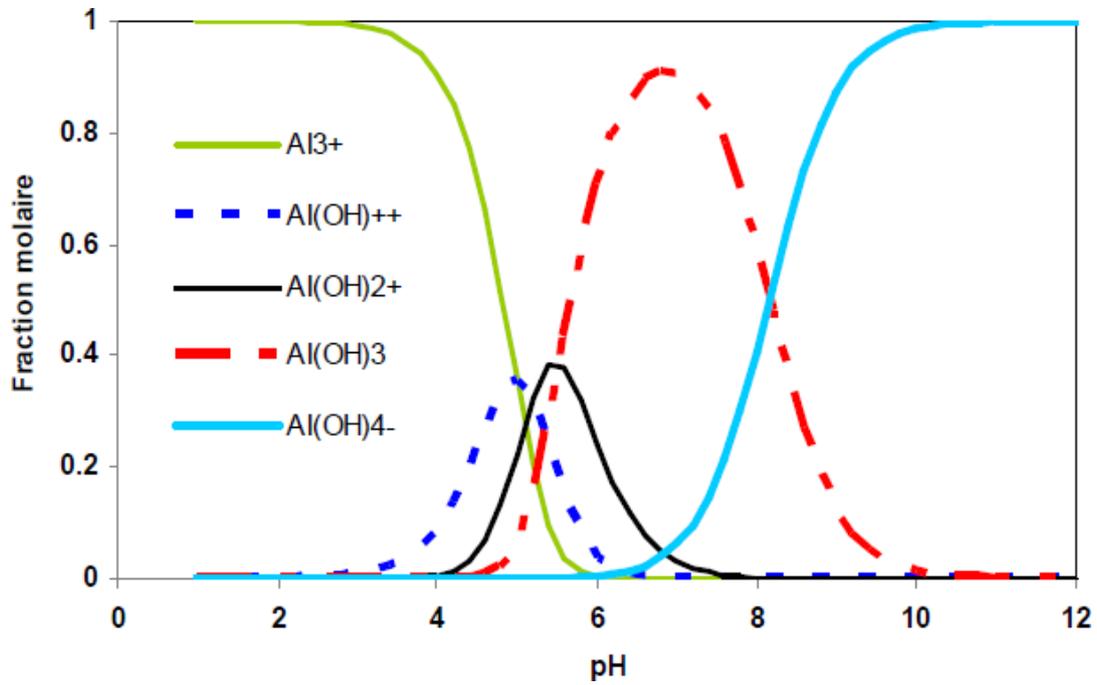
**Figure A.III.1 :** Billes de bentonite-Alginate

Pour la formation des billes, une synthèse par extrusion a été mise en œuvre. Une burette a été utilisée pour préparer les billes de façon continue et sans l'intervention d'un opérateur. Les gouttes tombent dans 200 ml d'une solution de chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$  à 4% sous agitation mécanique. La réaction rapide entre l'alginate et le réticulant à la surface permet de figer la forme sphérique de la goutte au sein de la solution. Le volume interne de la goutte gélifie par la suite au fur et à mesure de la diffusion du réticulant à travers la surface de la bille en formation. Cette méthode conduit à la formation des billes de taille millimétrique ce qui permettra d'encapsuler facilement les différents matériaux envisagés.

Le mélange (billes d'alginate et solution de chlorure de calcium) est laissé au repos pour un temps de maturation de 24h, durée largement suffisante pour une gélification complète. Après maturation, les billes sont filtrées.

## ANNEXES

### Annexe V : Diagramme de prédominance des différents hydroxydes d'aluminium



**Figure A.V.1** : Diagramme de prédominance des différents hydroxydes d'aluminium (sans tenir compte des formes polymères de ces hydroxydes) (Zongo 2009)