

N° Ordre /F.S.S.A/UAMOB/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées Département de Chimie

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Mahfoud tounes

Guealia Samiha

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : Chimie

Option : Chimie de l'environnement

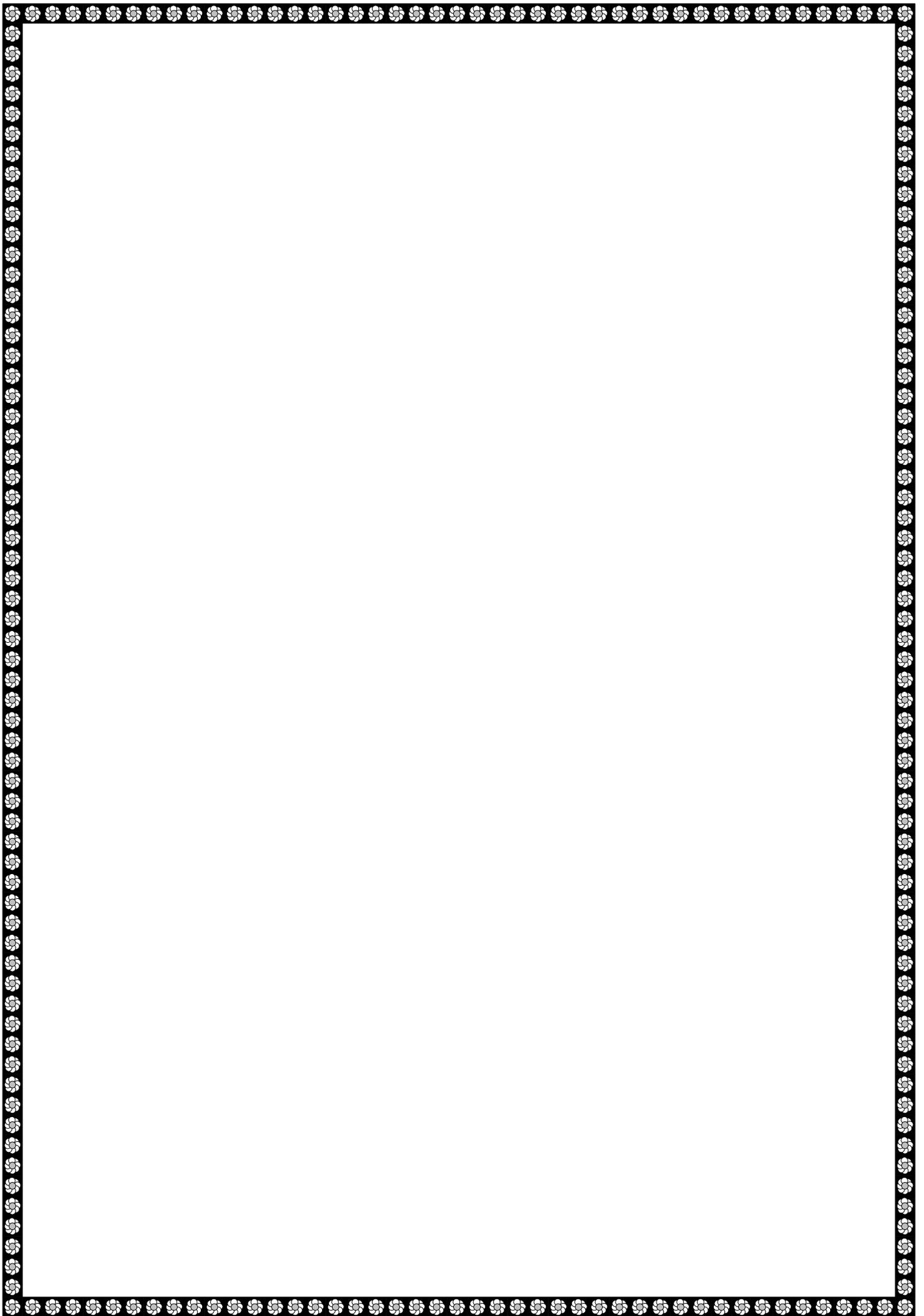
Thème :

Déchloration des eaux par colonne à charbon actif : pilote GPB T71

Devant le jury composé de :

ASSAMEUR	Hayat	MAA	UAMOB	Présidente
IGGUI	Kahina	MCA	UAMOB	Encadrante
SIFOUN	Naima	MCB	UAMOB	Co-promotrice
HAMRI	Nadia	MAA	UAMOB	Examinatrice

Année Universitaire 2021/2022



Remerciements

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, on tient à remercier Dr **IGGUI kahina** et Dr **SIFOUN Naima**, d'avoir accepté de nous encadrer et diriger le travail.*

On les remercie pour la qualité de leur encadrement exceptionnel, pour leur patience, leur rigueur et leur disponibilité

*Nos vifs remerciements s'adresse au membre de jury **Mme ASSAMEUR Hayat** et **Mme HAMRI Nadia**, d'avoir accepté d'examiner et juger notre travail*

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs et personnels de laboratoire de chimie, pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve.

:

Dédicaces

Grace à Dieu le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce modeste travail que je tiens très chaleureusement à le dédier à :

*Mes **très chers parents**, pour tous leur sacrifices, leur amour, leur tendresse, leurs soutien tout au long de mes études.*

*A mon mari **Ahmed Zakaria**, mon compagnon et mon soutien*

*A mon petit prince **Racim**.*

*A mes frères, **Nacereddine, Mustapha, Mourad, Rabah, Mounir**
à **leurs femmes** et à **leurs enfants** .à ma très chère sœur **Mounira** et
son mari **Youcef** et **ses enfants***

*à ma petite sœur adorable **Racha**.*

*à ma belle-famille **Atman**.*

*à tous mes amies et le groupe chimie de l'environnement surtout ma
binôme **Samiha***

à tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Tounes.

Dédicaces

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir aidé pour achever ce modeste travail
que je dédie :*

*À mes chers parents, ma mère et mon père, pour l'éducation qu'ils m'ont
prodiguée avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont
consentis à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements.*

Que ce travail leur apporte joie et fierté;

*A mon frère bien-aimé, **Fatah** que Dieu le protège*

*À mes chères sœurs **Fatiha**, **Khalid**, **Iman**, **Nassima** et leur maris et leur
petit poussin **Hussam** et à toute ma famille.*

A tous mes amies et le groupe chimie de l'environnement surtout ma binôme

Tounes

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Samiha

Résumé

Le travail réalisé porte sur l'étude du procédé de déchloration sur charbon actif en colonne des eaux de robinet de la région de Bouira. La caractérisation des paramètres physicochimiques de l'eau avant et après traitement est effectuée. Les résultats expérimentaux ont été traités par la méthode de plan d'expérience. Les paramètres physico-chimiques analysés avant et après déchloration sont conformes aux réglementations algériennes et OMS, en matière de potabilité pour les eaux de robinet. L'étude de la déchloration a montré que le pourcentage d'élimination de chlore augmente de 50 jusqu'à 87.5 % lorsque la concentration initiale C_0 augmente de 100 jusqu'à 287mg /L et il diminue de 75 jusqu'à 37.5 % avec l'augmentation de débit de 200 jusqu'à 350 L /h. La valeur optimale de débit est de 200L/h pour un pourcentage de 75%. Le traitement des résultats expérimentaux par plan d'expérience nous a permis de concevoir un modèle mathématique du premier degré par rapport à chaque facteur.

المخلص

يركز العمل المنجز على دراسة عملية إزالة الكلور من الكربون المنشط في عمود ماء الصنبور في منطقة البويرة. توصيف المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه قبل وبعد إجراء المعالجة. تمت معالجة النتائج التجريبية باستخدام طريقة تصميم التجارب. وتتوافق البارامترات الفيزيائية - الكيميائية التي تم تحليلها قبل إزالة الكلور وبعده مع اللوائح الجزائرية ولوائح منظمة الصحة العالمية بشأن مياه الشرب لمياه الصنبور. أظهرت دراسة إزالة الكلور أن النسبة المئوية لإزالة الكلور تزداد من 50 إلى 87.5% عندما يزيد تركيز C_0 الأولي من 100 إلى 287 ملغم / لتر وينخفض من 75 إلى 37.5% مع زيادة معدل التدفق من 200 إلى 350 لتر / ساعة. معدل التدفق الأمثل هو 200 لتر / ساعة بنسبة 75%. سمحت لنا معالجة النتائج التجريبية عن طريق تصميم التجارب بتصميم نموذج رياضي من الدرجة الأولى فيما يتعلق بكل حقيقة

Abstract

The work carried out focuses on the study of the dechlorination process on activated carbon in column of tap water in the Bouira region. Characterization of the physicochemical parameters of the water before and after treatment is carried out. Experimental results were processed using the design of experiments method. The physico-chemical parameters analysed before and after dechlorination comply with Algerian and WHO regulations on drinking water for tap water. The dechlorination study showed that the percentage of chlorine removal increases from 50 to 87.5% when the initial C_0 concentration increases from 100 to 287mg/L and it decreases from 75 to 37.5% with the increase in flow rate from 200 to 350 L/h. The optimal flow rate is 200L/h for a percentage of 75%. The processing of the experimental results by design of experiments allowed us to design a mathematical model of the first degree with respect to each factor.

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau I.1	Caractéristiques des lampes UV	11
Tableau I.2	Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique	18
Tableau I.3	Principales caractéristiques du charbon activé	21
Tableau III.1	Résultats de vérification du degré de chlore de l'eau javel 'Bref'	37
Tableau III.2	Paramètre de l'eau de robinet	37
Tableau III .3	Evolution de la concentration de [ClO-] en fonction du temps Q=200L/h	38
Tableau III.4	Pourcentage d'élimination de chlore pour différentes concentration initiales	40
Tableau III.5	Variation de concentration de chlore et pourcentage d'élimination pour différents débits d'alimentation	41
Tableau III.6	Paramètres physico-chimique de l'eau de robinet après traitement	42
Tableau III.7	facteurs influents	43
Tableau III.8	La matrice d'expériences pour un plan factoriel à deux niveaux	44
Tableau III.9	réponses moyennes des effets principaux	45

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure I.1	Génération d'ozone par décharge	12
Figure I.2	Schéma d'un système à hypochlorite	13
Figure I.3	Désinfection par chloration	14
Figure I.4	Représentation schématique du phénomène d'adsorption	17
Figure I.5	charbon actif en poudre	20
Figure I.6	Charbon actif en grain	20
Figure I.7	Entrée et sortie d'une expérience	24
Figure II.1	Pilote GPB T71	26
Figure II.2	Image de la boîte de commande du pilote	28
Figure II.3	Schéma de principe du pilote	29
Figure II.4	Bouteille de JAVEL utilisé	31
Figure II.5	Virage de la couleur pendant dosage	32

Figure II.6	photo de pH –mètre	34
Figure II.7	photo d'appareil conductimètre	35
Figure II.8	photo d'appareil turbidimètre	36
Figure II.9	Emplacement des points expérimentaux dans un domaine expérimental	37
Figure III.1	Evolution de la [ClO] en fonction du temps (Débit d'alimentation = 200 L/h)	40
Figure III.2	Evolution du pourcentage d'élimination de chlore pour différentes concentration initiale	41
Figure III.3	Pourcentage d'élimination en fonction de débit d'alimentation	42
Figure III.4	Présentation graphique des effets principaux des facteurs X_1 et X_2 .	46
Figure III.5	Présentation graphique des effets d'interaction X_1X_2 .	47

Liste des abréviations :

Cl₂ : chlore libre

CAP : Les Charbon actif en poudre

CAG : Les Charbon Actif Granulaire

Chl° : Degré chlorométrique

DBO5 : Demande biochimique en oxygène en cinq jours

E.P.A : EAU Potable en Algérie.

H₂O : L'eau

HOCl : Acide hypochlorique

HCl: Acide chlorhydrique

MES : Matière en suspension.

O₃ : Ozone

OMS : Organisation mondiale de la santé.

Q : Débit

UV : Rayonnement ultraviolet

μS : Micromètre-semester

Sommaire

Liste des tableaux	I
Liste des figures.....	II
Liste des abréviations	IV
Introduction	1
Chapitre I:	
I-Généralités sur l'eau	3
I.1. Ressources en eau	3
I.1.1. Eaux souterraines	3
I.1.2. Eaux de surfaces.....	3
I.2.3. Eaux de mers et eaux saumâtres.....	4
I-3 Types des eaux	4
I.3.1 Les eaux usées.....	4
I.3.2 Les eaux potables :.....	4
I-4 Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :.....	5
I.4.1 Propriétés organoleptiques:	6
I.4.2 Caractères physico-chimiques :	6
I-5 Procédés de traitement d'eaux potables :.....	8
I-5.1 Captage + pompage	8
I-5.2 Prétraitements	8
I-5.3 Clarification	9
I-5.4 Affinage ou finition:	10
I-5.5 Procédés physico-chimiques de désinfection.....	10
I-5.5.1 Ultraviolet UV :	10
I-5.5.2 Ozone	11
I-5.5.3 Chloration	12
I-5.6 Distribution	16

II- L'adsorption :	16
II-1 Définition :	16
II-2 Type d'adsorption :	17
II-2.1 Adsorption physique :	18
II-2.2 Adsorption chimique	18
II-3 Mécanisme d'adsorption :	19
II.4 Paramètres influant sur l'adsorption :	19
II-5 Domaines d'application de l'adsorption :	20
II-6 charbon actif :	20
II-6.1 Généralités.....	20
II-6.2 Principales applications.....	21
II-7 Adsorption sur colonne :	22
II-8 Déchloration d'eau :	23
II.8.1 Déchloration par charbon actif	23
II.9 Plans d'expériences:	24
II.9.1 Définition.....	24
II.9.2 Objectifs d'utilisation des plans d'expérience	25
II.9.3 Types de plans d'expériences	25
CHAPITRE II.....	
II.1 Introduction	26
II-2 Présentation du pilote GPB T71 :	26
II-2.1 Principe de fonctionnement.....	29
II-3 Boucle de déchloration	29
II-3.1 Etude de l'effet de la concentration de chlore dans l'eau à traiter.....	29
II-3.2 Etude de l'effet du débit d'alimentation.....	30
II-4 Vérification du degré de chlore de l'eau de javel :	30
II-4.1 Principe.....	30
II-4.2 Matériel utilisés	31
II-4.3 Réactifs utilisés.....	31

II-4.4 Mode opératoire	32
II-4.5 Expression des résultats	33
II-5 Dosage du chlore dans l'eau traitée :	33
II-6 Détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau :.....	33
II-6 .1 Le Potentiel d'hydrogène (pH).....	33
II-6 .2 La conductivité.....	34
II-6 .3 La Turbidité	35
II-7- Traitement des résultats expérimentaux par les plans d'expériences:.....	36
II-7. 1 Plans factoriels complet à deux niveaux	36
II-7. 1.1 Matrice expérimentale	37
CHAPITRE III	
III.1-Introduction.....	38
III.2 - Vérification du degré de chlore de l'eau de javel utilisé	38
III.3. Caractérisation des paramètres physico-chimiques de l'eau de robinet.....	38
III.4. Etude de l'influence de la concentration initiale de chlore sur la déchloration.....	39
III – 5 Etude de l'effet de débit d'alimentation sur la déchloration.....	42
III-6 Caractérisation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée.....	43
III.7- Traitements des résultats expérimentaux par plan d'expériences ...	43
III.7.1- Calcul des effets factoriels	44
III.7.2 - Représentation graphiques des effets	45
CONCLUSION.....	48
Références bibliographiques	49

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction général

Le traitement des eaux est indispensable pour la préservation de notre environnement, il permet de limiter l'impact des diverses pollutions liées à l'activité humaine. L'eau est également nécessaire à la vie, sa consommation quotidienne est au centre des préoccupations de santé publique [1]. En effet l'eau potable doit répondre à de nombreux critères pour permettre à chacun de boire une eau sans aucun risque pour la santé.

Cependant l'eau n'existe pas pure à l'état naturel, elle contient des éléments minéraux en solution, des impuretés et peut même contenir des micro-organismes qui représentent un risque pour la santé du consommateur. A cet effet, l'eau doit subir plusieurs traitements avant d'être acheminée dans les circuits de distribution d'eau potable. Notons qu'une eau potable n'est pas une eau stérile ou distillée.

Pour cela, il existe des procédés physico-chimique qui peuvent être utilisés pour la désinfection de l'eau, on peut désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrason, ultraviolet et rayons gamma. Comme on peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides [2]. Les produits chimiques les plus utilisés sont l'ozone, l'iode, le brome et le permanganate de potassium, le chlore et ces dérivés tels que le dioxyde de chlore (ClO_2), hypochlorite de sodium (NaClO) connu sous le nom de l'eau de javel.

D'un autre côté, les eaux de rejets nécessitent une épuration par les stations de traitement avant de les orienter vers l'environnement. Pour éliminer l'excès du chlore utilisé pendant la désinfection, une déchloration est préconisé. Il existe de nombreux procédés de traitement qui peuvent être utilisés pour la déchloration mais l'adsorption reste une des techniques les plus prometteuses en raison de sa commodité et de sa simplicité d'utilisation [3]

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a comme objectif principale, la déchloration de l'eau potable, de la région de Bouira, par adsorption sur charbon actif en colonne en utilisant un pilote semi-industriel de type GPBT71.

INTRODUCTION général

Ce mémoire est réparti comme suit :

Une introduction générale

Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique dont laquelle on présente les généralités sur les eaux, les procédés de traitement de l'eau potable les argiles, avec une partie consacré à l'étude de l'adsorption en particulier celle sur charbon actif.

Le deuxième chapitre porte sur la présentation du pilote semi-industriel GPBT71 ainsi les techniques de caractérisation utilisées et traitement des résultats par plans d'expériences.

Le troisième chapitre illustre tous les résultats expérimentaux que nous avons obtenus et leurs discussions.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale

CHAPITRE I

Synthèse Bibliographique

I-Généralités sur l'eau :

L'eau est l'un des éléments les plus répandus sur la terre: 70% du globe est recouvert d'eau et elle est indispensable à toute vie. C'est une substance naturelle, souvent liquide et inodore, incolore, et sans saveur à l'état pur, de formule chimique H_2O , et qui peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, ou gazeux). L'eau est l'un des agents ionisants les plus connus, on l'appelle fréquemment le solvant universel [4]. Toutefois les eaux sont excessivement touchées par la pollution, qui peut entraîner un véritable danger pour l'écosystème.

I.1. Ressources en eau :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées par des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrage) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer [5].

I.1.1. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont toutes les eaux qui se trouvent sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible. Elles se caractérisent par une contamination bactérienne faible, car elles sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquent la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou le magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée [6].

I.1.2. Eaux de surfaces :

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ses matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone [6].

I.2.3. Eaux de mers et eaux saumâtres :

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part [6]. Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/L alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/L pour l'eau de mer. Dans les estuaires maritimes, la conjonction des courants d'eau douce avec l'eau de mer donne naissance à des poches d'eau saumâtre.

I-3 Types des eaux :

I.3.1 Les eaux usées :

Les eaux usées en provenance des agglomérations sont de trois types: les eaux usées domestiques, les eaux de ruissellement, et les eaux industrielles [7].

- Les eaux domestiques : désignent les eaux résiduaires issues de différents usages domestiques.
- Les eaux de ruissellement : les eaux pluviales, aussi appelées eaux de ruissellement, sont constituées des eaux de surfaces imperméable
- Les eaux industrielles : sont des rejets correspondant à une utilisation de l'eau autre que domestique. Les caractéristiques de ces eaux sont variables et sont directement liées au type d'industrie.

I.3.2 Les eaux potables :

Selon (OIE, 2005) eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé, et être agréable à boire. On utilise le terme "eau destinée à la consommation humaine"[8].

Selon la loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau " on entend par eau de consommation humaine toute eau destinée à:

- La boisson et aux usages domestiques;

- La préparation de conditionnement et à la conservation de toutes denrées alimentaires" [9].

L'eau rendue potable dans les usines de traitement est stockée dans des réservoirs et acheminée jusqu'au lieu de consommation par un réseau public de canalisation, réseau ensuite raccordé à un réseau de conduites privées via un compteur [10].

Factures de dégradation de la qualité de l'eau potable dans réseaux

-Une multiplication du nombre de micro-organisme due à un temps de stagnation tropes long, à un réchauffement de l'eau, à des installations privées mal entretenues. A l'interface eau/matériau, il se trouve biofilm formé de matières organiques, de dépôts inorganiques et de bactéries. Quand celui-ci devient trop épais, il se décroche et les bactéries sont entraînées dans l'eau circulante distribuée. Un raclage et de désinfectants peuvent pallier l'évolution du biofilm;

-Des facteurs physico-chimiques comme le pH, la minéralisation, la température, l'oxygène dissous, la turbidité, une évolution de la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) entraînant une variation de pH peut rendre l'eau soit dure et incrustante (perte de CO₂), conduisant à un dépôt de tartre, soit agressive (Ph bas, CO₂) attaquant les matériaux et pouvant conduire à une dissolution du ciment, à la corrosion des métaux ferreux.

- Un mauvais choix des matériaux et de leur mise en œuvre défectueuse conduisant à un relargage de pollution, à la corrosion, à des apports nutritifs;

- Des retours d'eau due à des dépressions du réseau causées par un pompage intensif, par la mise sous pression d'une installation privée.il ya siphonage et refoulement de matières polluantes;

- Un mauvais entretien (fuites, usure aux joints, perméation) conduisant à l'intrusion d'eau terreuses et des polluants [11].

I.4 Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :

La qualité de l'eau se réfère aux caractéristiques chimiques, physiques et biologiques de l'eau. Il s'agit du processus d'évaluation de la nature physique, chimique et biologique de la qualité naturelle, des effets humains et des utilisations prévues, en particulier celles qui peuvent affecter la santé humaine et le système aquatique. Les normes les plus courantes utilisées pour évaluer la qualité de l'eau sont liées à la santé des écosystèmes, à la sécurité des contacts humains et à l'eau potable. La qualité de l'eau dépend de la géologie et des

écosystèmes locaux, ainsi que des utilisations humaines telles que l'usage des masses d'eau comme les puits [12]. Les paramètres de qualité de l'eau sont déterminés par l'utilisation prévue. La qualité de l'eau tend à être axée sur l'eau traitée pour la consommation humaine, l'eau à usage industriel ou environnemental.

I.4.1 Propriétés organoleptiques :

Turbidité et couleur : Les eaux de ruissellement apportent des particules argileuses et des substances humiques et rendent les eaux de surface turbides et colorées. Les algues, souvent très fines, participent également à la turbidité [13].

Gout-Odeur : Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréable. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles, ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochloreux, le bioxyde de soufre (SO_2) ou le sulfure d'hydrogène (H_2S) ou organique comme les esters, les alcools. Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un goût plus prononcé qu'une eau non potable du chlore résiduel ou de la formation de certains dérivés chlorés. En outre, une eau soigneusement bouillie si elle est stérile, n'en est pas moins très fade et de goût peut agréable en l'absence de CO_2 et d'oxygène dissous [14].

I.4.2 Caractères physico-chimiques :

Quelques paramètres importants pour contrôler la qualité des eaux : Il s'agit de la température, la conductivité, le potentiel d'hydrogène, la turbidité, les matières en suspension, la demande biochimique en oxygène, la demande chimique en oxygène, la charge en azote total Kjeldahl et la charge en phosphore total [15].

Température :

Dans un même environnement, La température (T) d'une eau résiduaire est normalement un peu plus élevée que celle de l'eau potable. Le rejet de l'eau usée dans un milieu naturel peut augmenter sa température et réduire la concentration en oxygène dissous du milieu naturel. Elle constitue un paramètre indispensable au traitement biologique et contribue à la vie des micro-organismes épurateurs.

La température élevée dans le réseau d'assainissement modifie les conditions chimiques pendant le transport des effluents, facilitant ainsi le développement de la fermentation, le dégagement des gaz tels que le sulfure d'hydrogène (H_2S) [15], ce qui peut créer des

risques pour le personnel d'exploitation du réseau et de certains ouvrages de traitement des eaux usées résiduelles tels que les dégraisseurs, *etc.*

Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH d'une eau est une mesure de son acidité ou de son alcalinité. C'est une mesure de l'activité de l'atome d'hydrogène (H^+), qui donne une bonne représentation de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau. Pour l'eau potable. Les activités humaines telles que les opérations industrielles et l'élimination des déchets toxiques ont un effet sur le pH des sources d'eau. Un changement du pH de l'eau peut avoir des conséquences sur la vie aquatique qui est extrêmement sensible aux changements de température et de composition de l'eau.

La conductivité électrique :

La conductivité électrique est une mesure de la capacité de l'eau ou de la solution à transporter un courant électrique. La conductivité électrique de l'eau est affectée par la présence d'éléments solides inorganiques dissous. Les composés organiques sont de mauvais conducteurs du courant électrique et induisent donc une faible conductivité électrique de l'eau.

La conductivité électrique est également affectée par la température, plus l'eau est chaude, plus la conductivité est élevée. Pour cette raison, la conductivité électrique est rapportée à 25°C. La conductivité électrique augmente avec la minéralisation et elle est dominée par les ions majeurs, tel que le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les chlorures, les sulfates, les nitrates ... Toutefois, la détermination de la teneur de ces ions dans l'eau directement à partir de la conductivité semble complexe vu la forte variation de la teneur en ces ions.

La turbidité :

La turbidité est la turbulence d'un fluide causé par des particules individuelles (solides en suspension). La turbidité dans l'eau libre peut être causée par la croissance du phytoplancton, des activités humaines qui conduisent à des niveaux élevés de sédiments entrant dans les plans d'eau pendant les tempêtes de pluie [16].

Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension (MES) comprennent les matières insolubles qui sont en suspension dans le liquide, comme les matières organiques et minérales de taille importante.

Ce paramètre est exprimé en mg/l.

Oxygène dissous (O₂)_{dis} :

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est indispensable au développement de la vie animale (en particulier pour les poissons) et végétale (la photosynthèse). Sa concentration est contrôlée par plusieurs processus physiques et biologiques variables dans l'espace et dans le temps tels que la température, la photosynthèse, l'échange avec l'atmosphère et la charge des eaux en matière organique [17]. L'organisation mondiale de la santé (OMS) recommande pour l'eau destinée à la consommation humaine une valeur limite de 5 à 7 mg/l, exprimée en CaCO₃.

Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H⁺ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO₃⁻, CO₃²⁻, OH⁻. On distingue deux types d'alcalinité [18] : -Alcalinité totale (ou titre alcalimétrique total complet)

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

-Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique)

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + (1/2) [\text{CO}_3^{2-}]$$

I-5 Procédés de traitement d'eaux potables :

Pour la station du traitement des eaux potables, ils suivent par la chaîne suivante :

**I-5.1 Captage + pompage :**

Les procédés de captage varient selon la configuration du site. Toutefois, nous observons toujours le principe d'aller rechercher l'eau assez loin dans son gîte géologie et de conduire les travaux de captage de façon que l'eau au cours de sa remontée au jour, soit maintenue à l'abri des contamination notamment à l'approche de la surface du sol.

Le pompage sert au déplacement des eaux d'un point à un autre.

I-5.2 Prétraitements :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements

ultérieurs. Les opérations de prétraitement sont les suivantes (une station de traitement peut comporter une ou plusieurs de ces opérations, suivant son importance et la qualité de l'eau brute)

- **Dégrillage** : Le dégrillage, premier poste de traitement de l'effluent brut, sert à retenir les déchets volumineux (flottants, filasses, etc.), à travers des grilles de mailles différentes. En fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille,

- **Filtration** : l'efficacité de la filtration dépend de la taille des grains de sable, de la hauteur de la couche de sable et de la vitesse de filtration.

- **Pré-oxydation** : A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. L'oxydation va les détruire dans la mesure du possible.

- Cette destruction se fait par l'ajout du chlore (pré-chloration), du dioxyde de chlore ou d'ozone [19].

I-5.3 Clarification :

C'est une étape indispensable pour le traitement, elle permet d'obtenir une eau limpide par élimination plus poussée des particules en suspension (sable, limon...), des matières colloïdales plus petites (bactéries, argiles fines...) et d'une partie des matières dissoutes (matière organique...). Elle s'effectue par coagulation-floculation, décantation-flottation et filtration [22].

- **Décantation** : L'opération consiste à séparer les particules, qui sont en suspension dans la phase aqueuse, en les laissant sédimenter vers le fond d'un bassin sous l'action de la gravitation.
- **La coagulation** : annule les charges électriques des particules en suspension par l'ajout de réactifs minéraux.
- **Floculation** : provoque l'agglomération des particules déchargées par les coagulants. La fraction des floes peut être améliorée par addition de flocculant.

Cette technique suivie d'une décantation –flottation qui consiste à remonter les floes en utilisant de l'air sous pression. Les floes s'accrochent aux bulles d'air qui les entraînent à la surface. Ils sont ensuite récupérés par un système de raclage [20].

- **La filtration** : la filtration a pour objectif de retenir les dernières particules en suspension non éliminées dans le décanteur (précipité de fer, aluminium, matière organique...), en faisant circuler l'eau à travers un milieu poreux qui est le plus

souvent le sable. L'efficacité de la filtration dépend de la taille des grains de sable, de la hauteur de la couche de sable et de la vitesse de filtration [21].

I-5.4 Affinage ou finition :

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement (cas des halométhanés) et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation- floculation. Cet affinage est réalisé par le phénomène d'absorption, généralement sur du charbon actif [22].

I-5.5 Procédés physico-chimiques de désinfection :

Généralement l'eau brute captée en milieu naturel n'est pas potable, donc pour la rendre potable on lui applique des traitements variés par une combinaison de procédés adaptés aux caractéristiques de l'eau brute. Ces procédés combinent les principes de la chimie et de la physique [23].

I-5.5.1 Ultraviolet UV :

La découverte des effets bactéricides des radiations solaires date de 1878. La première désinfection par UV fut installée à MARSEILLE en 1906 [24]. Le domaine des rayons ultraviolets se situe dans la fourchette 200-400 nm. Les UVA, B et C se situent respectivement entre 400-315, 315-280 et 280 à 200nm [25]. Les premières sont responsables de la pigmentation de la peau. Les UVB permettent la synthèse de la vitamine B à partir de précurseurs présents dans l'alimentation. Seuls les UVC présentent une action bactéricide [26]. L'irradiation aux rayons U.V. a été fréquemment employée dans le traitement des eaux. Les rayons (U.V.) ne modifient pas les caractères organoleptiques ou physiques de l'eau, la surexposition ne produit pas d'effet néfaste pour la qualité de l'eau et la désinfection se déroule sans aucune adjonction de produits chimiques. La production d'UV est réalisée par des lampes contenant un gaz inerte et des vapeurs de mercure (voir tableau I.1). Le principe de la stérilisation de l'eau par ultraviolet est très simple : on éclaire l'eau avec des rayons UVC, qui ont un germicide maximum pour une longueur d'onde de 253,7 nm [24, 25,26]. Ils inhibent la réplication de l'ADN en provoquant la

dénaturation de bases thymines adjacentes. Les microorganismes présentent une résistance relative par rapport à la référence unitaire *Escherichia coli*.

Tableau I.1 : Caractéristiques des lampes UV [25].

	Puissance en W	Rendement UVC en %	Température à la surface gaine	Fréquence de nettoyage	Durée de vie en h	utilisation
Basse pression	20-200	40	25-40	3 semaines à 2 mois	8760	Eau usée
Moyenne pression	1000-5000	8	500-900	quelques jours	13000	Eau potable

Les avantages de la densification UV sont principalement [27] :

- le faible temps nécessaire à l'inactivation des pathogènes ;
- le quasi absence de sous –produits ;
- la très large gamme de pathogènes concernés, et surtout leur efficacité vis-à-vis des

Kystes de protozoaires. Ils en font un des procédés de choix pour la désinfection

I-5.5.2 Ozone :

L'ozone est le désinfectant le plus puissant que l'on connaisse. L'ozone a été découvert en 1840, la première installation de désinfection fût réalisée en 1904 à NICE à l'usine BON VOYAGE. La société CEO, compagnie de l'eau et de l'ozone, pût alors être créée [25]. L'ozone peut se décomposer dans l'eau en radicaux hydroxyles, suivant un mécanisme complexe. Les radicaux hydroxyles libres appartiennent aux oxydants les plus forts se présentant dans l'eau. L'oxydation des substances dans l'eau peut être soit indirecte avec des radicaux hydroxyles très réactifs, soit directe avec de l'ozone. Il est particulièrement efficace dans la lutte contre les amibes, et permet la dégradation de certains acides aminés; il donne à l'eau une belle coloration bleue. L'ozone ne provoque pas de formations de produits susceptibles d'irriter les muqueuses et il ne donne ni goût ni odeur à l'eau. La production d'air ozoné nécessite uniquement de l'énergie électrique. L'ozone est formé en soumettant l'air à un champ électrique entre deux électrodes conductrices situées en regard l'une de l'autre (figure I). La dissolution de l'ozone a lieu dans une tour de contact. L'action désinfectante est assurée si un taux d'ozone résiduel de

$0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ est maintenu pendant 4 min. La désinfection à l'ozone nécessite des investissements relativement coûteux, mais ses frais d'exploitation sont modérés.

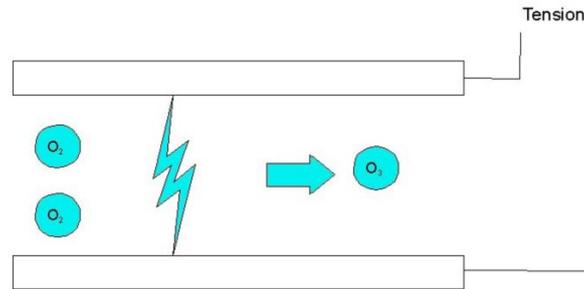


Figure I.1: Génération d'ozone par décharge [27]

Certaines substances comme les colloïdes sont particulièrement stables en suspension et leur durée de décantation peut être trop longue. Afin de favoriser leur décantation, le décanteur est probablement conditionné avec les réactifs chimiques qui facilitent l'agglomération des particules [28].

I-5.5.3 Chloration :

La désinfection au chlore est simple à mettre en œuvre, le chlore est le plus employé et le plus économique [29], le chlore peut se présenter sous différentes formes, on distingue :

- **Le chlore (Cl_2) :** est un gaz toxique, plus dense que l'air, d'une couleur verte jaunâtre. Il s'agit d'un produit très oxydant qui réagit avec beaucoup de composés.
- **Le chlore actif :** correspond au concept scientifique de "available chlorine" (soit chlore disponible). Le chlore actif correspond à l'ion ClO^- et aux gaz HOCl et Cl_2 dissous dans l'eau (solution assez concentrée et alcaline). Chlore actif désigne, en réalité, un pouvoir oxydant qui correspond bien au double de la quantité de chlore sous forme de NaOCl dans une solution assez concentrée et alcaline.
- **Le chlore actif libre:** correspond au concept américain de "active chlorine". Le "chlore actif libre" correspond aux gaz HOCl et Cl_2 dissous dans l'eau (solution très diluée en milieu neutre ou acide).
- **Le chlore total :** désigne le chlore sous toutes ses formes : hypochlorite, mais aussi le chlorure de sodium qui pourrait, d'ailleurs, être éliminé, ainsi que les chlorites et les chlorates.

a) Principe de chloration :

La chloration est la méthode de désinfection de l'eau la plus fréquemment utilisée. Les produits chlorés (chlore, dioxyde de chlore, eau de javel, ...etc.) ont un grand effet bactéricide grâce à leur pouvoir oxydant qui permet la destruction des germes pathogènes. Il existe plusieurs méthodes pour ajouter des produits chlorés à l'eau (autorisés pour l'eau potable et l'eau de baignade) (Figure II.1 et II. 2). Dans la pratique, on procède généralement de la façon suivante : d'abord on produit une solution aqueuse de gaz chloré ou d'hypochlorites et ensuite on l'injecte à l'eau à traiter en quantité suffisante avec une pompe pour injection ou un injecteur Venturi, et l'on attend que le chlore agisse [27].

Pour l'eau de javel, livrée sous forme liquide, est stockée dans une cuve avant d'être reprise par une pompe doseuse pour être injectée dans le bassin de contact où transite l'eau à désinfecter. Le chlore gazeux est livré et stocké sous forme liquéfiée dans des bouteilles (ou tanks) sous pression [26]. Par connexion sur la bouteille, le chlore gazeux est soutiré pour être mélangé grâce à un hydro éjecteur à une eau de service, ce qui permet la production d'eau chlorée. Celle-ci est injectée dans le bassin de contact.

Il est également possible de produire les solutions *in situ* par électrolyse de solutions aqueuses de chlorure de sodium, le gaz chloré produit ainsi se dissout immédiatement dans l'eau [25,30].

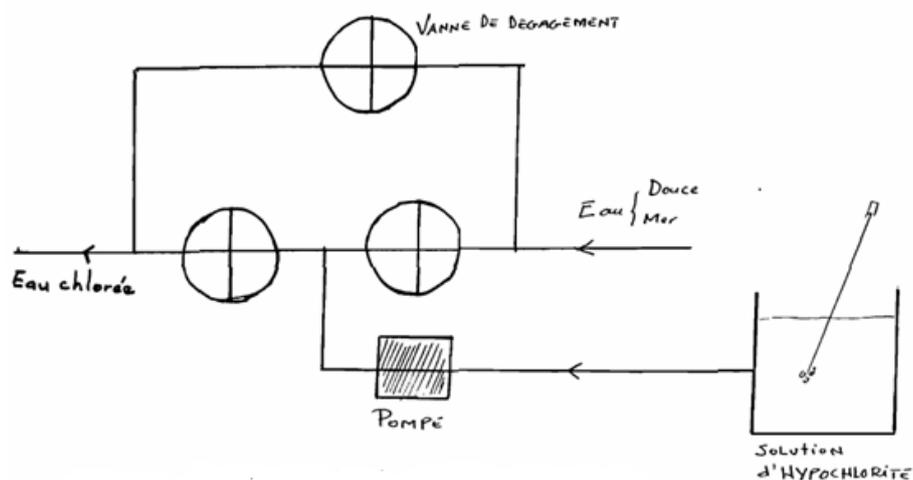


Figure I.2 : Schéma d'un système à hypochlorite [31]

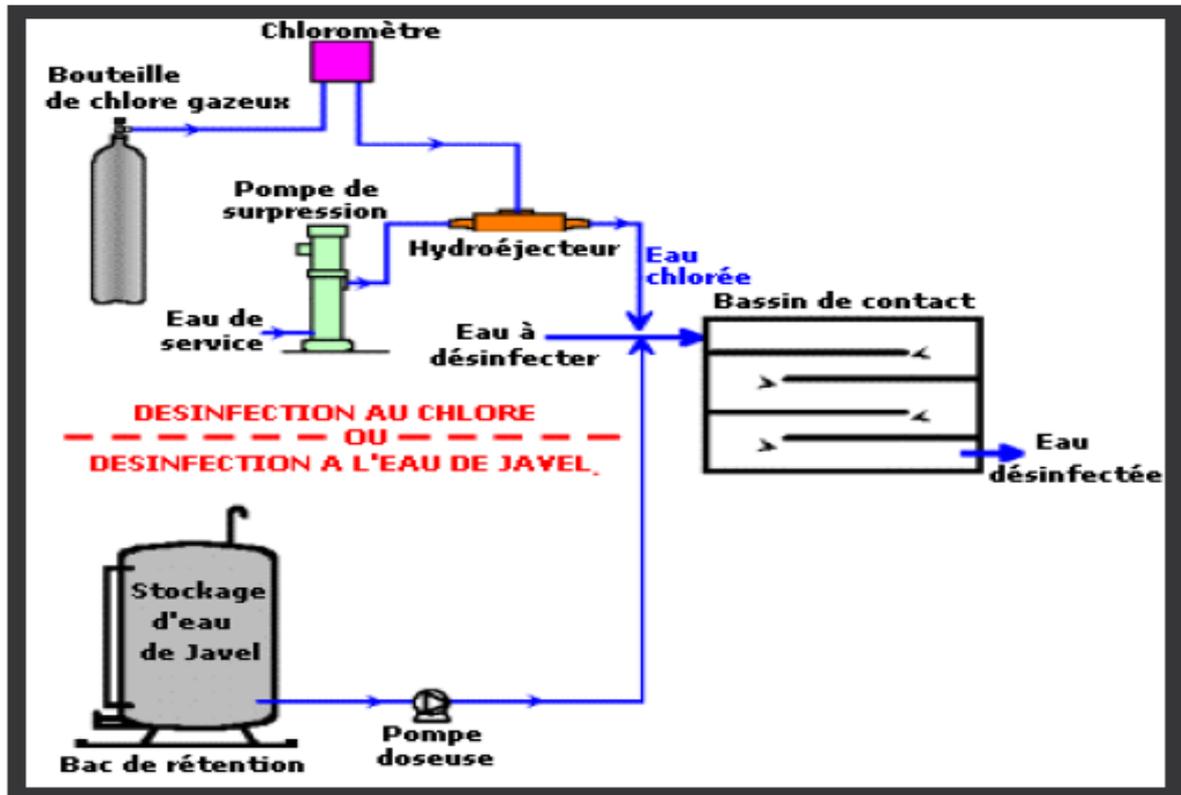


Figure I.3 : Désinfection par chloration [26]

Le chlore est commercialement disponible sous forme liquide contenu dans des bouteilles ou des tanks à la pression de 5 bar et de capacité respectivement égale à 5Kg ou 1000 Kg de chlore. Il est employé en désinfection finale aux doses suivantes :

- eau potable : de l'ordre du mg.L^{-1} ;
- piscine : de l'ordre de 1 à 5 mg.L^{-1} ;
- eaux usées (éventuellement) après traitement biologique : de l'ordre de la dizaine de mg.L^{-1} ;

L'hypochlorite de sodium NaClO est formé par dissolution du chlore gazeux dans une solution de soude en excès [26].



La solution aqueuse commerciale connue sous le nom « eau de javel » est un liquide jaune verdâtre de pH 11.5 à 13. La solution technique est caractérisée par une concentration de 47 à 50° chlorométrique correspondant à 149-159 g.L^{-1} de chlore actif. L'eau javel pour usage ménager est à 15° chlorométrique environ (47.5 g.L^{-1} de chlore actif).

b) Paramètres influençant l'efficacité du chlore :

L'efficacité biocide du chlore dépend de la prise en compte d'un certain nombre de facteurs qui influencent la quantité de chlore nécessaire à une bonne désinfection :

- ❖ **Température et pH** : L'efficacité du chlore est plus grande lorsque la température ou le pH de l'eau sont peu élevés.
- ❖ **Temps de contact entre les germes et la désinfection** : C'est le temps qui s'écoule entre l'injection du chlore et sa consommation dans l'eau. Les quantités du chlore nécessaires à la désinfection sont d'autant plus faibles que le temps de contact est important.
- ❖ **Turbidité** : Les paramètres générateurs de turbidité (matières en suspension, colloïdes) nuisent à l'efficacité de la chloration ; ils sont consommateurs du chlore et protègent les germes contre son action désinfectante [32] ; c'est pourquoi il est important de réduire le plus possible la turbidité de l'eau à désinfecter, au moyen de traitements préalables (coagulation, sédimentation, filtration ...).

Sur un plan général, la désinfection sera optimale lorsque les paramètres énoncés ci-dessous seront respectés :

Turbidité < 0,5 NTU

PH < 8

Temps de contact > 30 min

c) La pratique de la chloration à travers le monde :

Sur le plan pratique, la désinfection par le chlore est généralement réalisée par l'hypochlorite de sodium dans le cas de petites installations et par le chlore gazeux dans les usines importantes, l'usage de ce chlore peut se voir en pré-chloration et en post-chloration, mais au cours de ces dernières années, la chloration a souvent été limitée au post-traitement [33].

Par ailleurs, la chloration d'une eau chargée en matières organiques conduit à la formation de trihalométhanes [34]. Pour l'ensemble de la population américaine exposée aux THM par l'eau traitée, l'USEPA estime qu'environ 2232 cas de cancer de la vessie pourraient être évités annuellement aux Etats-Unis en abaissant la norme fédérale pour les THM de 100 µg/l (U S E P A, 1979) à 80 µg/l (U S E P A, 1998).

La concentration maximale admissible pour les trihalométhanes est actuellement aux U.S.A de 100 µg/l (norme de l'E.P.A). C'est un taux élevé, car certaines villes aux U.S.A,

New York en particulier, ne traitent pas leur eau et se contentent de chlorer l'eau brute à 0.7 - 2 mg/l de façon à conserver au moins 0.2 mg/l de chlore résiduel au robinet [35] Vu les effets secondaires de la chloration, cela a conduit les traiteurs d'eau français à abandonner la pré-chloration des eaux brutes et à ne chlorer qu'en fin de filière de traitement pour limiter la formation des trihalométhanes[36].

d) La pratique de la chloration en Algérie :

En Algérie, le chlore est utilisé surtout sous sa forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel) et plus rarement sous forme de chlore gazeux [37]. L'usage de chlore se voit en pré-chloration et en post-chloration. Du fait du manque d'expérience du personnel des stations, les taux sont rarement ajustés à la qualité de l'eau et sont assez souvent fortement majorés [38]. Des séminaires nationaux sur la désinfection ont aussi montré que la chloration est encore mal maîtrisée, pratiquée de manière aléatoire et sans réglementation précise, notamment pour la fabrication des solutions désinfectantes [39].

I-5.6 Distribution :

Les systèmes de distribution d'eau potable appartiennent, au même titre que les autres réseaux techniques, à un environnement urbain et péri-urbain dans lequel ils agissent et interagissent avec les autres réseaux. La gestion technique de tels réseaux a pour principal objectif de livrer aux consommateurs une eau répondant aux normes de qualité, à un prix acceptable avec une continuité de service sans défaut. De tels objectifs nécessitent une connaissance précise du réseau, de ses infrastructures, de son fonctionnement hydraulique et passe par un entretien suivi et régulier du réseau. Or, les exploitants des réseaux d'AEP (alimentation de l'eau potable) se trouvent généralement confrontés à la difficulté de connaître avec précision leur réseau compte tenu de sa diversité (généralement de multiples tranches de travaux réalisées selon des techniques différentes et sur plusieurs années) de son étendue et des difficultés d'accès.

II- L'adsorption :

II-1 Définition :

L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. Elle est essentiellement utilisée

pour le traitement de l'eau et de l'air. Au cours de ce processus les molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. Ce procédé définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des molécules (gaz, ions métalliques, molécules organiques,.... etc.) d'une manière plus ou moins réversible. Au cours de ce processus, il y aura donc un transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide. Le solide acquiert alors des propriétés superficielles (hydrophobe ou hydrophile) susceptibles de modifier l'état d'équilibre du milieu (dispersion, floculation) [38].

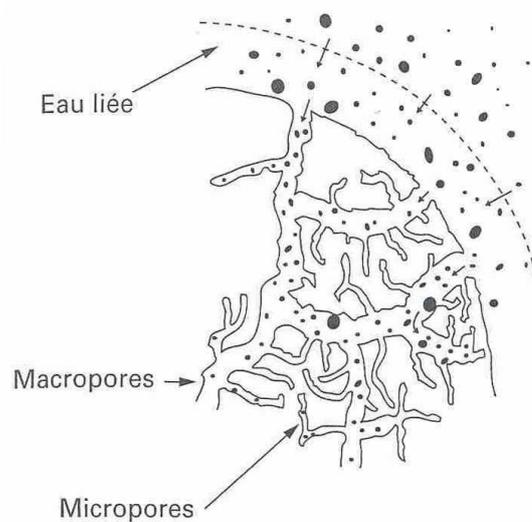


Figure I-4 : Représentation schématique du phénomène d'adsorption

II-2 Type d'adsorption :

La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption à savoir [39] :

- Adsorption physique ;
- Adsorption chimique.

II-2.1 Adsorption :

Ce type d'adsorption résulte de l'établissement d'un échange de forces de faible énergie entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals [38].

Du point de vue énergétique, la physisorption se produit aux basses températures avec des énergies de l'ordre de 10 Kcal.mol^{-1} ou plus. Elle correspond à un processus réversible (équilibre dynamique d'adsorption et de désorption) et ne conduit pas à une modification de l'identité chimique de la molécule adsorbée. Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface adsorbante peut être recouverte de multiples couches moléculaires de produit adsorbé [39].

II-2.2 Adsorption chimique :

Dans ce cas, l'adsorption est due à la formation d'une liaison chimique, covalente plus permanente, entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. Par rapport à l'adsorption physique, l'adsorption chimique se distingue par des énergies d'adsorption plus élevées (2 à $100 \text{ Kcal mol}^{-1}$) et par une fixation irréversible de l'adsorbat sur des sites d'adsorption très spécifiques. Elle est aussi favorisée à température élevée [40]. Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et seule la première couche liée à la surface adsorbante est chimiquement adsorbée, les autres couches, dans le cas où elles existent, sont retenues par physisorption.

Les principales différences entre ces deux types sont regroupées dans le **tableau I.2** ci-dessous.

Tableau I.2: comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [41]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	5 à 10 Kcal/mol	20 à 100 Kcal/mol
Température de processus	Inférieur à la température d'ébullition de l'adsorbat	Elevée
Nature de liaison	Physique (Van Der Waals)	Chimique
La désorption	Plus au moins parfaite	Difficile
Energie d'activation	Non appréciable	Peut être mise en jeu
La cinétique	Très rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multi-couches	Conduit tout ou plus à une monocouche

II-3 Mécanisme d'adsorption :

L'adsorption se produit principalement en trois étapes:

- **Diffusion externe :** Elle correspond au transfert du soluté (l'adsorbat) du sein de la solution vers le film entourant l'adsorbant, cette étape peut être négligée sous l'effet d'une bonne agitation ;
- **Diffusion interne :** Transfert diffusionnel de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe du solide ;
- **Réaction d'adsorption :** Lorsque des liaisons chimiques existent entre les ions échangés et les groupements fonctionnels de l'adsorbant, les réactions de dissociation et de formation des complexes se produisent avec une vitesse finie qui peut limiter la vitesse globale de l'échange.

II.4 Paramètres influant sur l'adsorption :

Le processus d'adsorption peut être influencé par différents facteurs liés à l'adsorbant, l'adsorbat ou aux conditions opératoires :

- **Facteurs liés à l'adsorbant :** la surface spécifique, le diamètre des pores ;

- **Facteurs liés à l'adsorbat :** la surface, le volume, la masse moléculaire, les groupements fonctionnels induisant des effets de polarisabilité, solubilité... ;
- **Facteurs liés aux conditions opératoires :** l'humidité de l'air, pH, température du milieu, vitesse d'agitateur, masse d'adsorbant.

II-5 Domaines d'application de l'adsorption :

Parmi les nombreuses applications de l'adsorption, on cite :

- ✓ Le traitement des eaux (élimination des odeurs, des métaux lourds comme le plomb et le cuivre, la matière organique) ;
- ✓ Le séchage, la déshumidification et la désodorisation de l'air ;
- ✓ La décoloration des liquides comme les jus sucrés ;
- ✓ La dessiccation des produits organiques industriels ;
- ✓ La purification des divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales ;
- ✓ La chromatographie gazeuse (méthode de fractionnement basée sur les différences de vitesse d'adsorption de substances différentes, sur un adsorbant donné) ;
- ✓ La catalyse.

II-6 charbon actif :

II-6.1 Généralités

Les charbons actifs sont les adsorbants les plus utilisés dans les applications industrielles. Ils peuvent être obtenus à partir de matériaux naturels tels que le bois, le charbon, les noix de coco. Le charbon actif en poudre est souvent utilisé pour le traitement de l'eau et du gaz, il s'agit d'un charbon finement moulu (pulvérisé) dont la taille des particules est principalement comprise entre 10 et 50 μm . Par contre le charbon actif en grain à une forme irrégulière et sa taille est comprise entre 0,2 à 5 mm. Il est majoritairement utilisé pour l'élimination des micros polluants organiques et de la matière organique des eaux, mais il est également appliqué au traitement des gaz.

Les caractéristiques physiques du charbon actif en grain (CAG) varient considérablement selon les matériaux constitutifs et le mode de fabrication. Il est principalement utilisé pour l'élimination des micros polluants organiques des eaux et dans certains cas au traitement des gaz. En général, les charbons actifs à base de bois sont activés par un procédé chimique, et ceux à base de noix de coco et de houille par un

procédé physique [42]. Les Principales caractéristiques du charbon activé sont résumées dans tableau I.3



Figure I-5: charbon actif en poudre.



Figure I-6: charbon actif en grain.

Tableau I.3: Principales caractéristiques du charbon activé [43].

Caractéristiques	Description
Diamètre Effectif	Poudre : 8-9 ; granules : 0,55 -1,05. Augmentation du taux d'adsorption et des pertes de charge lorsque la grosseur des grains diminue.
Surface d'adsorption	De 850 à 1500 m ² /g. Plus cette surface est grande plus le charbon activé est efficace.
Nombre de mélasse	Il est associé à la capacité du charbon activé d'absorber les impuretés de masses moléculaires élevées.
Densité brute	Evolution du volume de charbon activé utilisé.

II-6.2 Principales applications :

Les charbons actifs sont utilisés dans plusieurs domaines [44] :

- Le traitement des eaux potables ou des eaux industrielles qui sont produites à partir des eaux de surface. Le charbon actif fixe alors les composés organiques dissous qui n'ont pas été éliminés par autoépuration (ou élimination biologique naturelle).

Nous citons en exemple les substances qui donnent le goût et la saveur à l'eau. Ces adsorbants retiennent également certains métaux lourds à l'état de traces.

- Le traitement tertiaire des eaux résiduaires ou industrielles. Dans ce cas le charbon actif peut être considéré comme un complément au traité biologique.
- Le traitement des eaux résiduaires industrielles : ce traitement est employé lorsque l'utilisation des techniques biologiques n'est pas permise. Le but du charbon actif est donc d'éliminer les composés toxiques non biodégradables.
- La purification industrielle des produits pharmaceutiques, chimiques ou alimentaires

(Sucre, huiles végétales...).

- L'action catalytique en tant que support de catalyseur.

Le charbon exerce un effet catalytique lors de la réaction d'oxydation de l'eau par le chlore



Ainsi, on effectue la déchloration d'une eau ayant subi un traitement de chloration par excès.

Enfin, Il est à noter que les traitements avec le charbon actif en poudre ou en grains sont d'un intérêt croissant car ils se caractérisent essentiellement par :

- ✓ Un faible coût dynamique.
- ✓ Une mise en œuvre simple
- ✓ Une meilleure compétitivité par rapport à d'autres procédés de traitement telle que

La biodégradation.

II-7 Adsorption sur colonne :

Le dimensionnement des unités d'adsorption sur colonne est basé sur des considérations, hydrodynamiques et physico chimiques, débit du fluide, temps de séjour, concentration, affinité adsorbant, granulométrie ...etc. Pour décrire l'adsorption du soluté dans le cas d'une phase liquide circulant à travers le lit d'adsorbant, on utilise des relations de transfert entre les phases mobile (liquide) et solide (fixe). Pour cela, le profil de la concentration dans les deux phases doit être connu, en fonction du temps et de l'espace.

[21] on a utilisé de cette le travail Colonne de filtration (Diamètre : 110 mm, Hauteur : 1200 mm.

II-8 Déchloration d'eau :

Pour limiter les effets nocifs du chlore sur la vie aquatique, une déchloration peut être appliquée après la désinfection des eaux par le chlore [45]. Cette technique permet d'éliminer les effets indésirables du chlore résiduel et de certains composés toxiques associés à la chloration en utilisant thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Le charbon actif peut également être utilisé pour la déchloration [35].

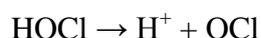
La déchloration est pratiquée pour réduire la toxicité du chlore en éliminant les résidus de chlore libre et mélangé restant après la chloration. La déchloration se produit lorsque le profil de charge bactérienne est variable ou que le temps de rétention dans la cuve est insuffisant. Elle nécessite l'utilisation d'un additif permettant une réaction chimique rapide puis la réduction des résidus de chlore libre en excès. Se débarrasser de l'excès de chlore est important pour éviter de gâcher le goût.

On maintient le taux de chlore désinfectant dans l'eau en circulation après mélange à une valeur inférieure ou égale 0,6 mg/l, de préférence inférieure ou égale à la limite détectable. [46] .Il existe plusieurs façons simples et rapides d'éliminer le chlore de l'eau. Les méthodes naturelles telles que l'ébullition ou l'évaporation sont utiles pour de petites quantités d'eau.

II.8.1 Déchloration par charbon actif :

La technologie du charbon actif est une méthode connue et efficace de déchloration de l'eau. Le mécanisme de réaction de déchloration consiste en une combinaison d'hydrolyse du chlore libre à l'ion hypochlorite et en la décomposition catalytique de l'ion hypochlorite à la surface du carbone. Le chlore libre est ainsi transformé en ion chlorure.

Hydrolyse du chlore libre dans l'eau :



II.9 Plans d'expériences :

II.9.1 Définition :

Les plans des expériences (PEX) est une branche de la statistique appliquée axée sur l'utilisation de la méthode scientifique pour la planification, la réalisation, l'analyse et interprétation de données issues d'essais ou d'expériences contrôlés. PEX ont pour but de minimiser le nombre d'essais pour obtenir des résultats fiables qui reflètent la variation réelle du phénomène étudié en fonction de ses diverses caractéristiques. PEX est une méthodologie mathématique utilisée pour planifier et mener effectivement une étude scientifique qui modifié simultanément les variables d'entrée (X) appelées **Facteurs** afin de révéler leurs effets sur une variable de sortie ou plusieurs (Y) appelée **Réponse**, voir figure I.6. Les premiers plans d'expériences structurés ont vu le jour en agronomie, ces plans se sont développés au cours des dernières années et leur utilisation s'est étendue pour intéresser, finalement, tous les secteurs de production et de compétitive.

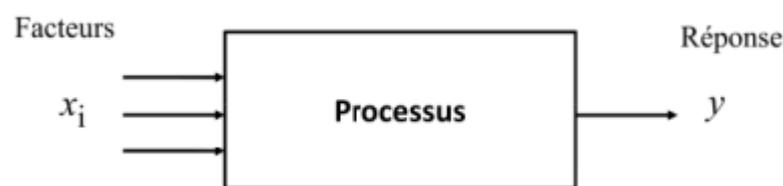


Figure I.7 : Entrée et sortie d'une expérience

Un facteur (quantitatif ou qualitatif) : est un état du système étudié dont la variation est susceptible d'en modifier le fonctionnement (ex : température, concentration d'un réactif...)

La réponse du système correspond au paramètre mesuré ou observé pour connaître l'effet des facteurs étudiés sur le système (ex : rendement d'une réaction...)

II.9.2 Objectifs d'utilisation des plans d'expérience :

Les objectifs d'utilisation des plans d'expérience sont : comparaisons et d'alternative, criblage et objectif de modélisation et d'optimisation.

- ✓ **Objectif de modélisation** : la méthodologie est d'utilisé des techniques mathématiques et statistiques pour la conception d'un modèle mathématique empiriques.

- ✓ **Objectif d'optimisation :** une optimisation est effectuée pour déterminer les valeurs des entrées du processus à utiliser pour obtenir la sortie du processus souhaitée. Habituellement utiliser par exemple pour maximiser le rendement d'un processus, de minimiser le temps de traitement nécessaire à la fabrication d'un produit...etc. ;

II.9.3 Types de plans d'expériences :

Il existe plusieurs types de plans d'expériences : les plans de mélange, les plans factoriels, les plans hybrides, les plans fractionnaires et les plans de Plackett et Burman

- **Plans factoriels** Ce sont les plus utilisés car ils sont les plus simples et les plus rapides à mettre en œuvre. Dans un plan factoriel complet, la totalité des expériences doit être réalisée, comme dans la méthodologie standard. Pour un plan factoriel complet optimal à k facteurs, il va donc falloir mener 2^k expériences. Le principe consiste alors à répartir de façon optimale les essais dans le domaine expérimental
- **Les plans de mélange :** Un plan de mélange est une forme particulière d'un plan factoriel complet. Les propriétés d'un mélange dépendent généralement de sa composition et il est fréquent que l'on veuille traduire les variations d'une propriété en fonction de la concentration des divers constituants. C'est le cas du triangle de Féret ou l'on souhaite déterminer la compacité en tout point, caractérisée par les proportions du mélange qu'il représente.
- **Les plans hybrides :** Leur objectif est d'essayer d'approcher deux critères d'optimalité, celui d'orthogonalité et celui d'iso variance par rotation L'orthogonalité garantie la meilleure précision possible sur les coefficients du modèle et l'iso-variance par rotation conduit à des erreurs de prévisions identiques à une même distance du centre du domaine.
- **Les plans de Plackett et Burmann** Les matrices de calcul des plans de Plackett et Burman sont des matrices d'Hadamard. C'est à-dire des matrices ayant 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 lignes etc. Elles permettent donc des expérimentations ayant un nombre d'essais intermédiaire de celui des plans factoriels qui, eux, ont seulement 2^k lignes (4, 8, 16, 32, etc. Les plans de Plackett et Burman sont le plus souvent saturés. Le modèle mathématique est alors un modèle sans interaction analogue à celui des plans de Kos.

CHAPITRE II

Matériels & Méthodes

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les principales étapes de l'étude expérimentale de la déchloration de l'eau de robinet (avec excès de chlore) de la région de Bouira, par adsorption sur charbon actif en colonne en utilisant un pilote semi-industriel de type GPBT71. Dans cette étude nous avons testé l'effet de deux paramètres sur le rendement de la déchloration. En effet nous avons varié la concentration du chlore dans l'eau à traiter et le débit d'alimentation d'eau. Une caractérisation physico-chimique de l'eau brute avant et après traitement sera également présentée. Ensuite les méthodes expérimentales et les modes opératoires utilisés dans cette étude seront illustrés. Enfin le traitement des résultats expérimentaux par plans d'expérience sera détaillé.

II-2 Présentation du pilote GPB T71

Le pilote de traitement par adsorption sur charbon actif en colonne utilisé dans notre étude est représenté par la figure II.1.

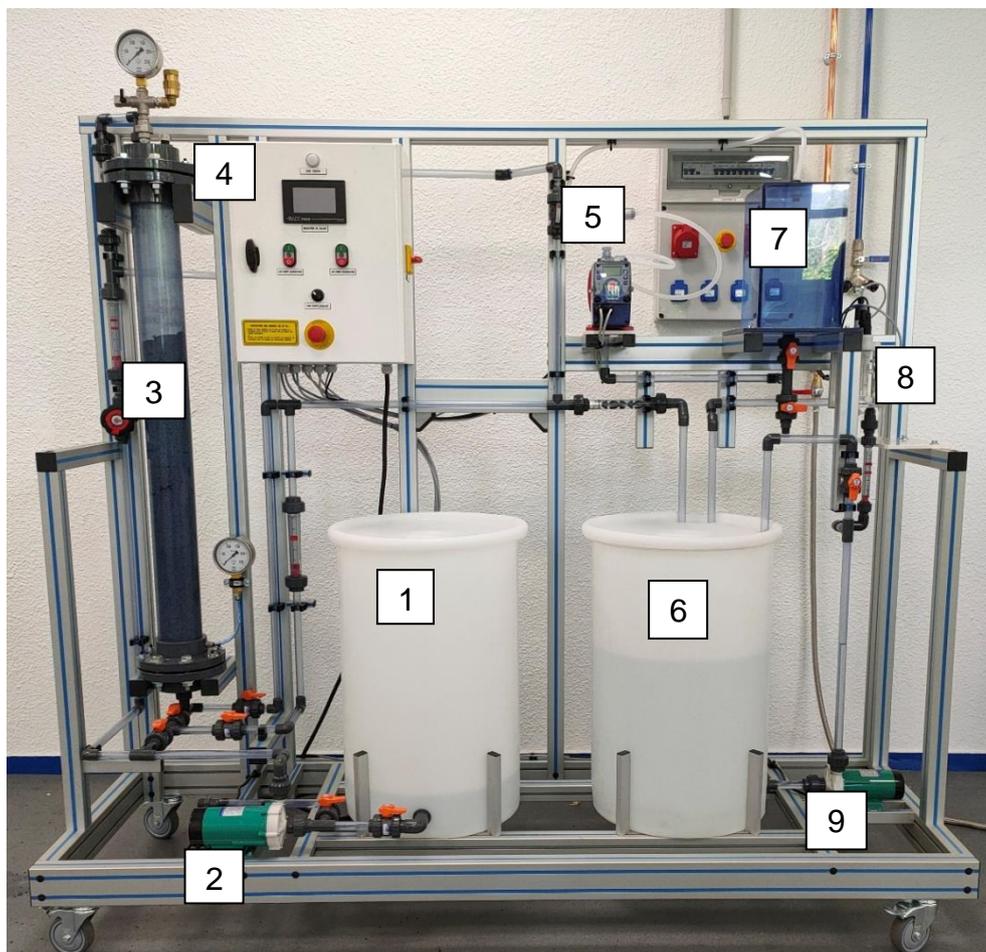


Figure II.1 : Pilote GPB T71 [48]

Ce pilote est composé des éléments suivants :

- 1 : Bac d'alimentation d'eau à traiter 100L : - Matériaux : Polyéthylène
- Volume : 100 L
- 2 : Pompe centrifuge d'alimentation : - Matériaux : Corps en polypropylène
- Q maxi : 900 L/h
- 3 : Colonne de filtration : - Diamètre : 110 mm
- Hauteur : 1200 mm
- 4 : Coffret électronique.
- 5 : Pompe doseuse d'alimentation du chlore Matériaux : -Tête en PVC
- Q maxi : 12 L/h
- 6 : Bac de récupération d'eau à traiter 100L : - Matériaux : Polyéthylène
- Volume : 100 L
- 7 : Cuve de produit chlore: - Matériaux : PVC
- Volume : 10 L
- 8 : Chambre de passage pour mesure du chlore (avec sonde de chlore 0.05 -20 mg/L, sonde de pH, capteur de niveau et prise de potentiel relié au pH).
- 9 : Pompe de recirculation : - Matériaux : Corps en polypropylène
- Q maxi : 600 L/h

Remarque : Une pompe assure la circulation de l'eau vers la colonne. Une deuxième pompe assure la recirculation dans la chambre de passage pour mesurer le chlore libre et le pH.

La figure II.2 représente la composition de la boîte de commande correspondante

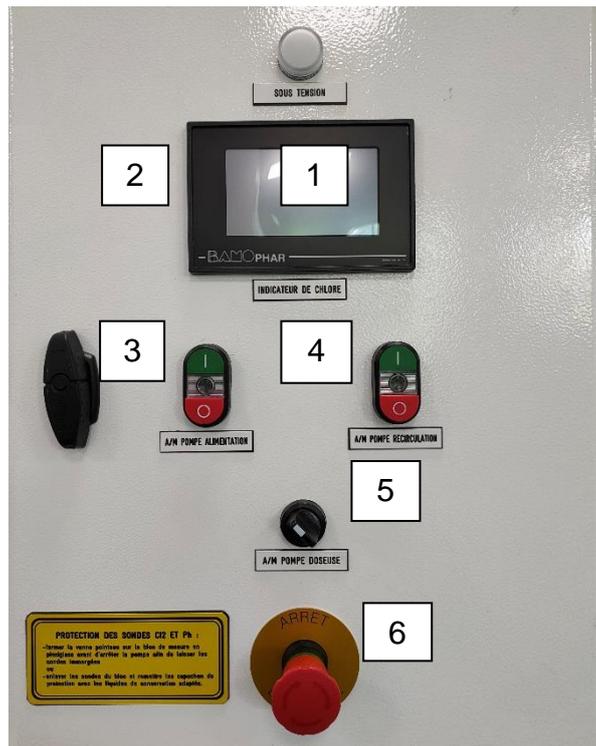


Figure II.2 : Image de la boîte de commande du pilote [48]

Cette boîte est composé de :

- 1: Vayant blanc de signalisation de présence de tension dans le coffret.
- 2: Indicateure et régulateur de chlore (MDP :quatre derniers chiffres du numéro de série de l'automate).
- 3: Bouton de mise en service de la pompe d'alimentation.
- 4: Bouton de mise en service de la pompe de mise en service de la pompe de recirculation.
- 5: Commutateur de mise en marche de la pompe doseuse.
- 6 : Bouton d'arrêt d'urgence.

Le schéma de principe du pilote utilisé est ainsi présenté par la figure II.3.

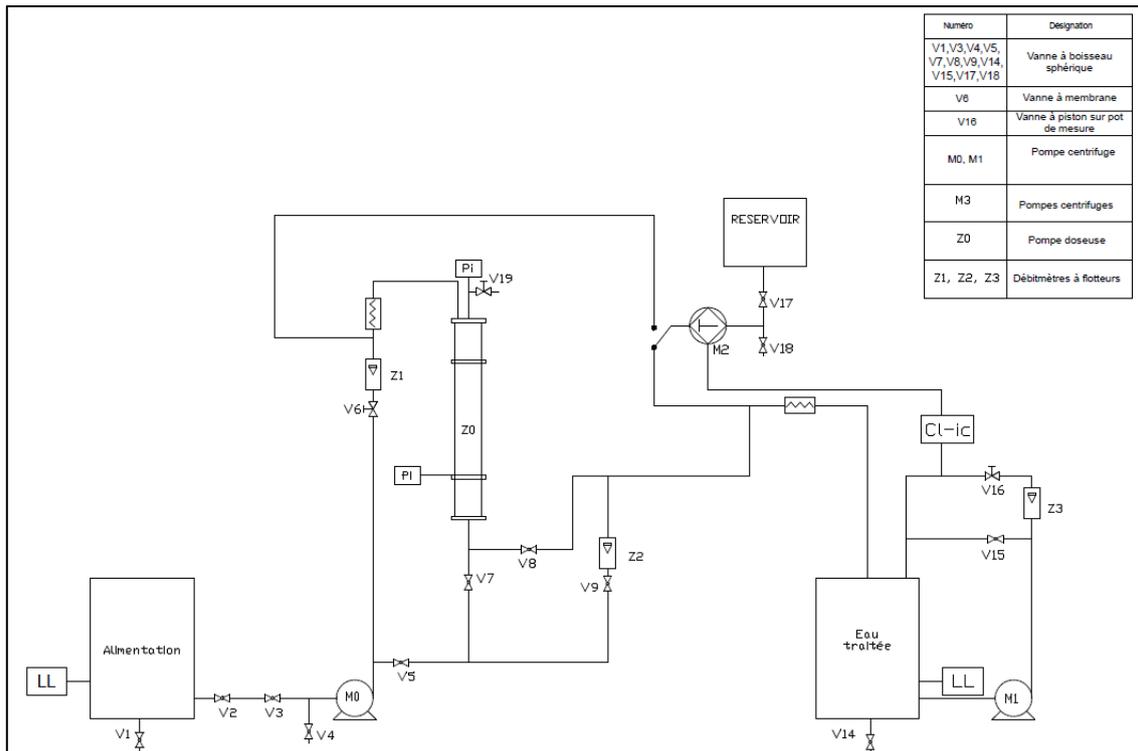


Figure II.3 : Schéma de principe du pilote [48]

II-2.1 Principe de fonctionnement

Selon le manuel d'utilisation le principe de fonctionnement du pilote est le suivant :

Le banc GPBT70 permet faire trois études :

- ❖ boucle de déchloration,
- ❖ boucle de chloration
- ❖ calculs des pertes en charge.

Chaque étude à un protocole à suivre, dans notre travail nous nous sommes intéressés à l'étude de la boucle de chloration. Dans ce qui suit on va détailler les étapes suivies au cours de la mise au point de la déchloration sur charbon actif en colonne.

II-3 Boucle de déchloration

II-3.1 Etude de l'effet de la concentration de chlore dans l'eau à traiter

Avant le démarrage de cette expérience, on doit vérifier que toutes les vannes de vidange du pilote sont fermées ;

- On remplit la cuve d'alimentation avec 80 L d'une solution d'un mélange de l'eau de robinet et l'eau de javel '**Bref**' afin d'avoir une concentration C_0 de chlore actif ;
- On ouvre les vannes V2, V8 et V15 à moitié, V19 et V16 sont utilisées pour régler le débit d'eau à traiter ;
- On appuie sur le bouton vert de mise en marche de la pompe d'alimentation ;
- On ouvre la vanne V6 progressivement jusqu'à avoir un débit de circulation égale à 150L/h ;
- On ouvre la vanne V5 afin d'amorcer la pompe au démarrage ;
- On surveille le manomètre de pression : il ne doit pas dépasser 250 mbars ;
- On vérifie le remplissage de la colonne du charbon actif jusqu'à 5 cm puis, on ferme la vanne V19 ;
- On augmente le débit d'alimentation jusqu'à 200L/h ;
- Une fois que le volume dans la cuve de récupération a atteint le capteur de niveau, on presse le bouton vert mise en marche de la pompe de recirculation ;
- Après chaque 3 min, on a effectué un prélèvement de l'eau à la sortie de colonne d'adsorption pour doser la teneur en chlore avec la méthode iodométrique.

Pour cette étude, on a varié la concentration initiales en chlore, on a test les concentrations suivante : 100mg/L, 200mg/L, 287mg/L, 500mg/L ,1000mg/L ,1500mg/L, 2000mg/L.

II-3.2 Etude de l'effet du débit d'alimentation

Pour évaluer l'effet du débit d'alimentation en eau, on a refait les mêmes étapes que précédemment, et dans ce cas, la concentration en chlore est fixée à **40.29 mg/L**, et le débit varie entre 200L/h 250L/h 300L/h 350L/h.

II-4 Vérification du degré de chlore de l'eau de javel

Avant de commencer les essais de déchloration avec le pilote, nous avons vérifié le degré de chlore dans l'eau de javel '**Bref**' qu'on la utilisé dans notre étude. Le titre exact en g/l puis en degré chlorométrique sont vérifiés par la méthode iodométrique à l'aide de solution de thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3$ [49].

II-4.1 Principe

L'eau de javel est une solution aqueuse de (Na^+, Cl^-) et (Na^+, ClO^-) . Le but de ce dosage est déterminer la concentration de ClO^- et vérifier le degré chl° de eau de javel '**Bref**' par la

méthode iodométrique. Le chlore total (libre + combiné) oxyde les ions iodure en iode en milieu acétique:



L'iode libéré est dosé à l'aide d'une solution titrée de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) **0,1N**.

II-4.2 Matériel utilisés

- ✓ Erlenmeyer de 250 ml
- ✓ La hotte.
- ✓ Fiole jaugée de 100 ml ;
- ✓ Pissettes.
- ✓ Burette + support.
- ✓ Spatules.
- ✓ Agitateur magnétique
- ✓ barreau aimanté.
- ✓ Entonnoir + Bécher.
- ✓ Pipette graduée ;
- ✓ Balance de précision.

II-4.3 Réactifs utilisés

- ✓ Acide acétique pur cristallisable (CH_3COH)
- ✓ Iodure de potassium pur (KI) (exempt d'iodate).
- ✓ Thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) 0, 1 N.
- ✓ Solution d'amidon soluble à 10 grammes par litre.
- ✓ L'eau javel de 13°
- ✓ L'eau distille.



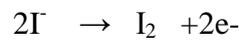
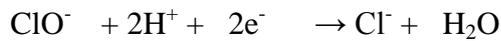
(Bref)

Figure II.4 : Bouteille de JAVEL utilisée

II-4.4 Mode opératoire

- ✓ On a préparé la solution diluée de l'eau javel (Bref 13°) à 10% ;
- ✓ Dans une fiole jaugée, on a mis 10 ml de la solution de l'eau javel diluée, en suite on complète jusqu'à 100 ml avec de l'eau distillée ;
- ✓ Dans une Erlenmeyer de 250 ml on a introduit 100 ml de la solution préparée, on ajoute 5 ml d'acide acétique et 1 g d'iodure de potassium ;

On a observé une couleur jaune brune (voir la figure II-4) qui indique la formation d'I₂ selon réactions Ci-dessous :



Après on ajoute 2 à 3 ml de la solution d'amidon, la couleur devient bleu (voir la figure II-4).

On attend 2 minutes, puis on titre avec une solution de thiosulfate 0,1 N jusqu'à disparition de la coloration bleue (voir la figure II-4)

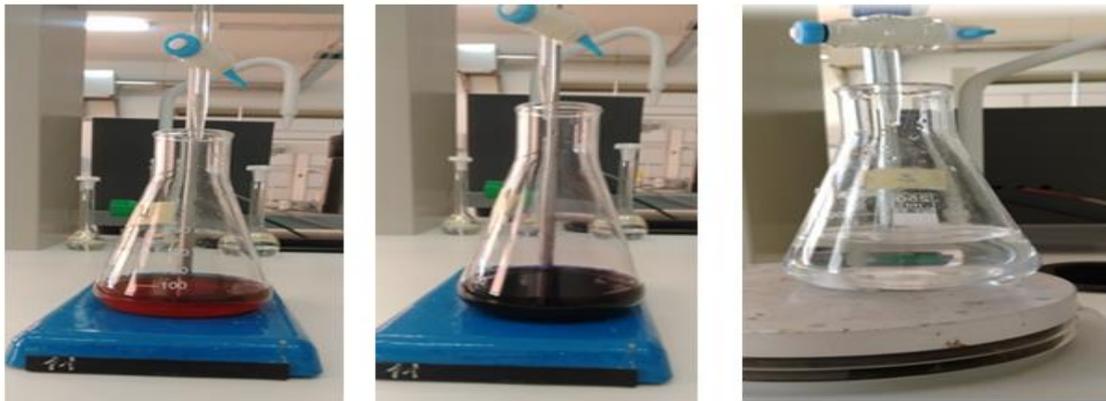
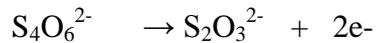
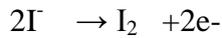


Figure II.5 : Virage de la couleur pendant dosage

II-4.5 Expression des résultats :

La teneur en chlore actif peut être exprimée :

- en pourcentage (poids/poids : p/p)
- en gramme par litre (poids/volume : p/v).

La teneur « g/l » en chlore actif est donnée par :

$$[\text{ClO}^-] = 0,355 \times N \times k \dots\dots(III)$$

Avec :

- **N** : le nombre de millilitres de thiosulfate utilisés pour le dosage (V_{eq}).
- **K** : est égal au rapport - dans lequel V/v est le volume de la fiole jaugée servant à la dilution et v celui de la prise d'essai de l'échantillon (facteur de dilution).

La teneur en chlore actif exprimée **en degrés chlorométrique** est donnée par l'expression :

$$\text{Chl}^\circ = 0,355 \times N \times k / 3,17 \quad \text{soit} \quad 0,112 \times N \times k \dots\dots\dots(2)$$

II-5 Dosage du chlore dans l'eau traitée :

La teneur en chlore après déchloration a été mesurée par la méthode iodométrique aussi. La méthode utilisée est la même que précédemment (dosage de chlore dans l'eau de javel) mais sans faire une dilution.

II-6 Détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau :

En plus de la concentration de chlore, on a fait une caractérisation physico-chimique de l'eau de robinet et une après déchloration en utilisant le pilote. Les paramètres analysés sont : la turbidité, le pH, la salinité et la conductivité.

II-6.1 Le Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le potentiel d'hydrogène (pH) est un indicateur de l'acidité ($\text{pH} < 7$), de la basicité ($\text{pH} > 7$) ou de la neutralité ($\text{pH} = 7$) d'un milieu [50].

Principe :

Pour la détermination de ce paramètre, nous avons utilisé une méthode électrométrique avec une électrode combinée selon la norme AFNOR. La méthode consiste à plonger dans l'échantillon, une électrode spécifique étalonnée.

Mode opératoire :

- Appuyer sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre.
- Plonger l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres, Attendre que la valeur soit stable avant la lecture,
- Rincer à nouveau l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre pour réaliser la mesure suivante.

Cette mesure est faite à l'aide d'un pH-mètre (HANNA) en figure II.6



Figure II.6 : photo de pH –mètre

II-6 .2 La conductivité :

La conductivité est reliée à la concentration d'ions capables de conduire le courant électrique, elle permet la mesure de la quantité des ions dissous dans un solvant. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25 C°. Elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$. [51].

Mode opératoire

- Appuyer sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre.
- Plonger l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres, attendre que la valeur soit stable avant la lecture,
- Rincer à nouveau l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre pour réaliser la mesure suivante

Cette mesure est faite à l'aide d'un conductimètre de marque (HANNA) en figure II-7



Figure II.7 : photo d'appareille conductimètre

II-6 .3 La Turbidité :

La turbidité de l'eau est causée par des matières en suspension composées d'argile, de limon, de particules organiques, de plancton et de divers autres organismes microscopiques. Dans les eaux des rivières du Québec, la turbidité varie généralement entre 0,9 et 18,0 UTN.

Principe :

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'une néphélométrie. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

Mode opératoire :

Le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux particules en suspension. Le photomultiplicateur d'électron située à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau [51]. Cette mesure est faite à l'aide d'un conductimètre de marque (HANNA) en figure II.8.



Figure II.8 : photo d'appareille turbidimètre

II-6 .4 La Salinité :

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée en %. Le résidu sec obtenu par évaporation est généralement plus faible du fait de la décomposition des hydrogencarbonates en carbonates et CO₂.

La même appareille de conductivité est utilisé pour mesurer la salinité donc le même principe et mode opératoire.

II-7- Traitement des résultats expérimentaux par les plans d'expériences :

Dans cette partie nous allons traiter les résultats de la déchloration sur charbon actif par les plans d'expériences de type factoriels. Dans ce type de plans l'objectif est d'étudier les facteurs qui ont un effet significatif sur la réponse, ainsi que d'étudier l'effet des interactions. Dans notre travail les facteurs étudiés sont la concentration du chlore X₁ et le débit X₂ et la réponse est la concentration résiduelle en chlore (Y). D'une manière générale, pour déterminer le modèle mathématique postulé est de travailler avec plan factoriel à deux niveaux.

II-7. 1 Plans factoriels complet à deux niveaux :

Pour ce type le domaine d'étude est un carré (en unité codées).

1- Par exemple la figure II-8 représente un plan factoriel complet à deux niveaux. Le modèle mathématique postulé est un modèle du premier degré par rapport à chaque facteur :

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{12} X_1 X_2 + e$$

Y : est la réponse.

a₀ : La valeur de la réponse au centre du domaine d'étude.

a₁ : Effet principal du facteur 1.

a_2 : Effet principal du facteur 2.

a_{12} : L'interaction entre les facteurs 1 et 2.

e : L'écart.

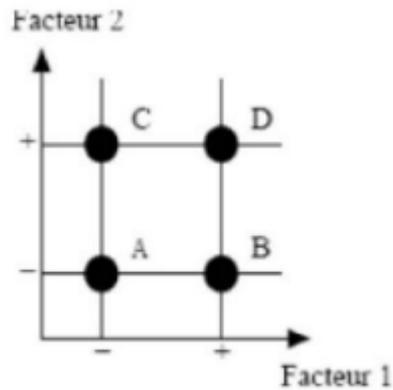


Figure II.9 : Emplacement des points expérimentaux dans un domaine expérimental

II-7. 1.1 Matrice expérimentale :

Elles montrent toutes les combinaisons possibles des niveaux hauts et bas pour chaque facteur d'entrée. Ces niveaux haut et bas peuvent être codés +1 et -1. Par exemple une expérience à 2 facteurs nécessitera 4 essais.

Le modèle mathématique postulé est un modèle du premier degré par rapport à chaque facteur :

$$y = a_0 + \sum a_i x_i$$

Où :

a_0 : Effet théorique.

a_i : Effets principaux.

Si nous avons des interactions on aura

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \dots$$

CHAPITRE III

Résultats & Discussions

III.1-Introduction

Ce présent chapitre est réservé à la présentation et la discussion des résultats obtenus lors de l'étude du procédé de déchloration sur charbon actif en colonne des eaux de robinet de la région de Bouira. La caractérisation des paramètres physicochimiques de l'eau avant et après traitement sera présentée. Le pourcentage du chlore après traitement sera mesuré afin d'estimer le degré de traitement par chlore actif. Les résultats expérimentaux seront traités par la méthode de plan d'expérience.

III.2 - Vérification du degré de chlore de l'eau de javel utilisé :

On a vérifié le degré de chlore dans l'eau de javel 'Bref', et le résultat est représenté par le **tableau III.1**, tel qu'on a effectué trois essais.

Tableau III.1 : Résultats de vérification du degré de chlore de l'eau javel 'Bref'

$N Na_2S_2O_3^{2-}$ (ml)	$[ClO^-]$ (g/l)	chl°
11,35	40,29	12,71

Le degré de chlore trouvé est 12,71°. Cette valeur est proche de celle indiquée sur l'étiquette de la bouteille commerciale de l'eau javel (13°).

III.3. Caractérisation des paramètres physico-chimiques de l'eau de robinet :

Par le **tableau III.2**, nous représentons les paramètres physico-chimiques de l'eau de robinet sans l'ajout de chlore.

Tableau III .2 : Paramètre de l'eau de robinet

Paramètre	Résultat
Acidité	7,710
Conductivité	1,014 $\mu\text{S/cm}$
Turbidité	0 FTU
Salinité	2 %

La valeur du **pH** (tableau III-2) de l'eau robinet est de l'ordre de 7,71, donc cette eau répond aux normes OMS des eaux de consommation qui préconise un pH entre 6,5 et 8.5. La comparaison des résultats de la conductivité électrique (CE) de l'eau du robinet avec les normes OMS des eaux de consommation, révèle inférieure de la norme qui préconise une conductivité $<2800 \mu\text{S/cm}$. Cette eau est de bonne qualité en voyant ça turbidité (0 FTU) et la faible salinité.

III.4. Etude de l'influence de la concentration initiale de chlore sur la déchloration :

Les résultats de l'étude de l'influence de la concentration initiale en chlore ajouté à l'eau de robinet sur le processus d'adsorption sur charbon en mode colonne est présenté par le **tableau III-3**.

Tableau III-3: Evolution de la concentration de $[\text{ClO}_2^-]$ en fonction du temps $Q=200\text{L/h}$

Temps (min)	Concentration initiale en chlore (mg/L)						
	$C_1=100$	$C_2=200$	$C_3=287$	$C_4=500$	$C_5=1000$	$C_6=1500$	$C_7=2000$
0	71	177.5	284	390.5	710	994	1349
3	35.5	35.5	35.5	71	106.5	177.5	426

6	35.5	35.5	35.5	71	106.5	177.5	426
9	35.5	35.5	35.5	71	106.5	177.5	426

D'après la figure III-1, on constate que l'allure des courbes est une hyperbole. Nous pouvons remarquer que la concentration en (ClO) diminue rapidement après 3 min, par la suite cette diminution devient négligeable avec apparition d'un palier d'équilibre. Nous pouvons dire que la déchloration dans ces conditions opératoires atteint l'équilibre après 3 min quel que soit la concentration initiale de chlore dans l'eau de robinet.

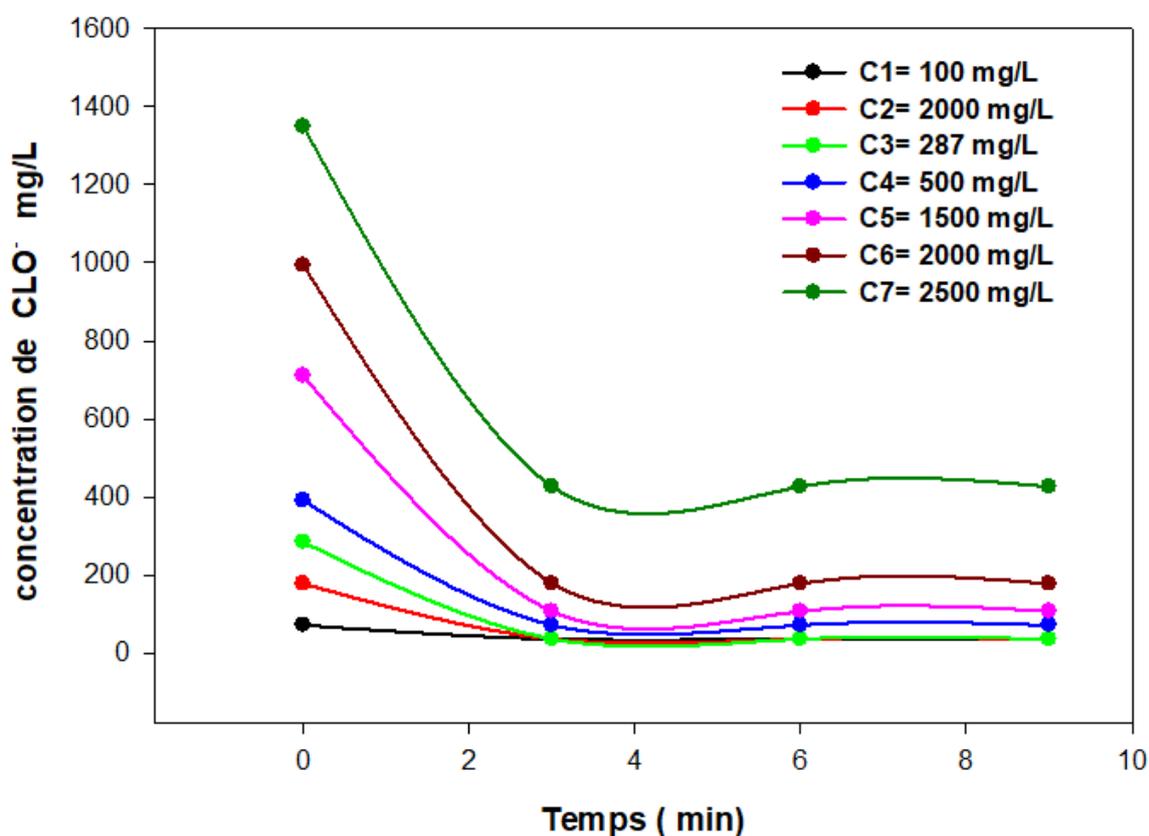


Figure III.1 : Evolution de la [ClO] en fonction du temps
(Débit d'alimentation = 200 L/h)

L'évolution du pourcentage du chlore est illustré en figure III-2 et l'ensemble des valeurs obtenus sont regroupés en tableau III-4.

D'après la figure III-2 nous remarquons que le pourcentage d'élimination augmente de 50 jusqu'à 87.5 % lorsque la concentration initiale de chlore augmente de 100 jusqu'à 287 mg /L. Au-delà, nous pouvons dire que le pourcentage n'évolue pas.

Tableau III-3 : Pourcentage d'élimination de chlore pour différentes concentration initiales

Concentration [ClO] (mg/L)	Pourcentage d'élimination de chlore (%)
100	50
200	80
287	87.5
500	81.81
1000	85.07
1500	82.14
2000	68.42

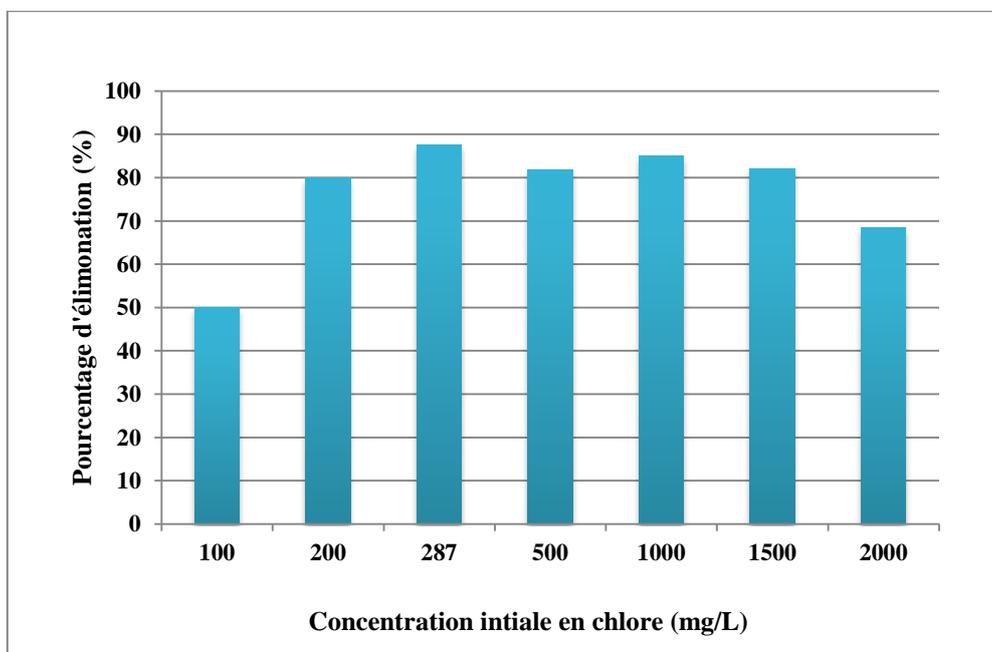


Figure III.2 : Evolution du pourcentage d'élimination de chlore pour différentes concentration initiale

(Temps= 9 min, débit d'alimentation= 200 L/h)

III – 5 Etude de l'effet de débit d'alimentation sur la déchloration :

Dans cette partie d'étude, nous représentons les résultats de l'effet de débit d'alimentation de la colonne de charbon actif sur la concentration de chlore éliminée ainsi le pourcentage d'élimination.

Tableau III-4 : Variation de concentration de chlore et pourcentage d'élimination pour différents débits d'alimentation

Débit d'alimentation (L/h)	Concentration résiduelle de chlore (mg/L)	Pourcentage d'élimination (%)
200	0.2	75
250	0.3	62.5
300	0.4	50
350	0.5	37.5

La **figure III.3** illustre la variation du pourcentage d'élimination en fonction de débit d'alimentation.

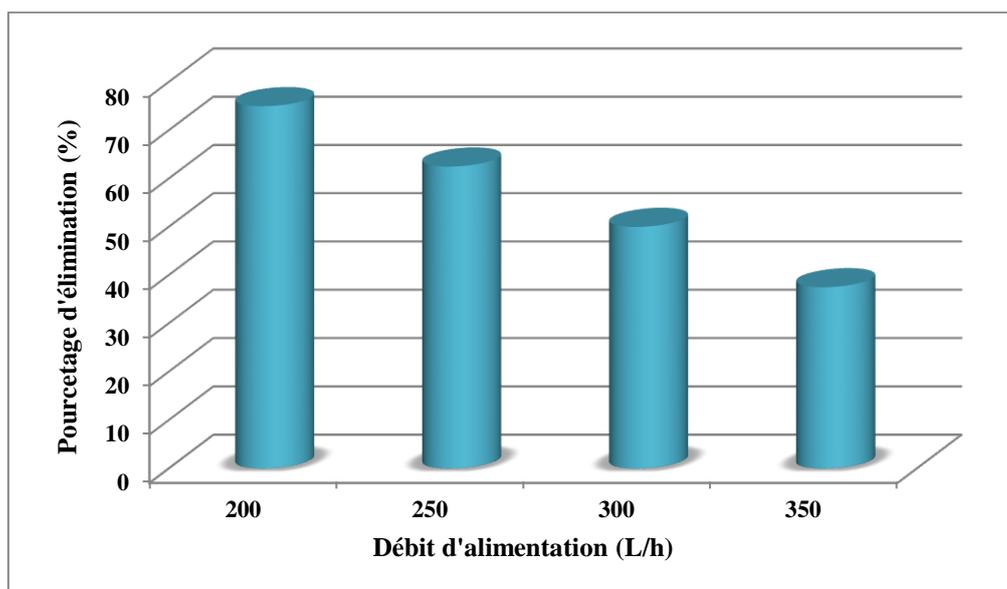


Figure III-3: Pourcentage d'élimination en fonction de débit d'alimentation

D'après la figure de l'évolution du pourcentage d'élimination en fonction de débit (figure III-3), nous pouvons constater que le pourcentage (%) diminue de 75 jusqu'à 37.5 % avec l'augmentation de débit de 200 jusqu'à 350 L /h.

Dans cette étude, nous avons pris une quantité d'eau traitée par le pilote pour un débit de 200 L/h et C_0 de chlore de 300 mg/L, pour une caractérisation physico-chimique.

III-6 Caractérisation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée :

Les résultats de la caractérisation des paramètres physico-chimique de l'eau traitée sont représentés par le tableau III-5.

Tableau III.5 : Paramètres physico-chimique de l'eau de robinet après traitement

Paramètre	Valeur
pH	7.67
Conductivité	1.032 ms/cm
turbidité	0 FTU
Salinité	3.6 %

Le **pH** de l'eau traitée est de l'ordre de 7.67 donc cette eau répond aux normes OMS des eaux de consommation qui préconise un pH entre 6,5 - 8.5, avec une turbidité de 0 FTU qui est inférieure à la valeur de norme algérienne (5 NTU).

III.7- Traitements des résultats expérimentaux par plan d'expériences :

L'emploi judicieux des plans d'expérience exige la connaissance de leurs diverses utilisations, pour permettre de faire un choix répondant à leur objectif. Dans cette partie, nous nous intéressons à la présentation des plans de la déchloration de l'eau brute sur colonne en charbon actif par le traitement des résultats expérimentaux déjà faite, ainsi que les différents résultats extraites de cette méthode

Les résultats du plan d'expérience ont été vérifié par Excel.

III.7.1- Conception de la matrice d'expérience :

Pour la conception de notre plan d'expérience nous avons utilisé une matrice à deux facteurs influents sur la concentration résiduelle du chlore, qui sont la concentration du chlore X_1 et le

débit X_2 , comme indiqué en tableau III-6 ci-dessous. Pour la concentration les niveaux supérieur et inférieur sont choisis entre 100 mg / L et 1000mg / L, car au-delà de cette concentration on sature le charbon actif du pilote et le pourcentage de la déchloration diminue (voire tableau III-3) .

Tableau III.6 : facteurs influents

Débit (L/h)	200	350
Concentration (mg/ L)	100	1000

La réponse étudiée Y est la concentration résiduelle du chlore. Les résultats des quatre expériences réalisées sont représentés par la matrice d'expérience illustrée en tableau III-7

Tableau III-7 : La matrice d'expériences pour un plan factoriel à deux niveaux

Expérience	X_1	X_2	X_1X_2	Y
1	-1	-1	1	35.5
2	1	-1	-1	106.5
3	-1	1	-1	0
4	1	1	1	461.5

III.7.1- Calcul des effets factoriels :

Pour déterminer les coefficients du modèle postulé, nous avons calculé les effets factoriels comme suit: on a

a_0 : La valeur de la réponse au centre du domaine d'étude.

a_1 : Effet principal du facteur 1.

a_2 : Effet principal du facteur 2.

a_{12} : L'interaction entre les facteurs 1 et 2.

$$a_0 = \frac{1}{4} (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) = 150.75$$

$$a_1^- = \frac{1}{2} (Y_1 + Y_3) = 17.75$$

$$a_1^+ = \frac{1}{2} (Y_2 + Y_4) = 284$$

$$a_1 = \frac{1}{4} (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4) = 133.725$$

$$a_2 = \frac{1}{4} (-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4) = 79.875$$

$$a_2^- = \frac{1}{2} (Y_1 + Y_2) = 71$$

$$a_2^+ = \frac{1}{2} (Y_3 + Y_4) = 230.75$$

$$a_{12}^- = \frac{1}{2} (Y_2 + Y_3) = 53.25$$

$$a_{12}^+ = \frac{1}{2} (Y_1 + Y_4) = 248.5$$

$$a_{12} = \frac{1}{4} (Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) = 97.625$$

Equation du modèle postulé

Après avoir calculé tous les effets, le modèle obtenu est donné par l'équation (III-1)

$$Y = 150.75 + 133.725X_1 + 79.625X_2 + 97.625 X_1X_2 + e \dots \dots \text{(III-1)}$$

III.7.2 - Représentation graphiques des effets :

La représentation graphique permet une interprétation facile des effets principaux des facteurs étudiés (concentration du chlore X_1 et le débit X_2) et des facteurs d'interactions sur la réponse (la concentration résiduelle du chlore)

❖ Graphique des effets principaux

La représentation graphique des effets principaux est tracée à partir du tableau III-8 des réponses moyennes des effets principaux ci-dessous.

Tableau III.8 : réponses moyennes des effets principaux

	X_1 (concentration)	X_2 (Débit)
Niveau bas -1	$a_1^- = 17.75$	$a_2 = 71$
Niveau haut +1	$a_1^+ = 284$	$a_2^+ = 230.75$

La figure III-4 montre les deux graphiques représentatifs des effets de la concentration en chlore et débit d'alimentation, nous constatons que le signe de l'angle de chaque courbe est positif, ce que signifie que les deux facteurs ont un effet significatif sur la déchloration. Avec l'augmentation de la concentration initiale en chlore et du débit d'alimentation nous obtiendrons des meilleurs résultats.

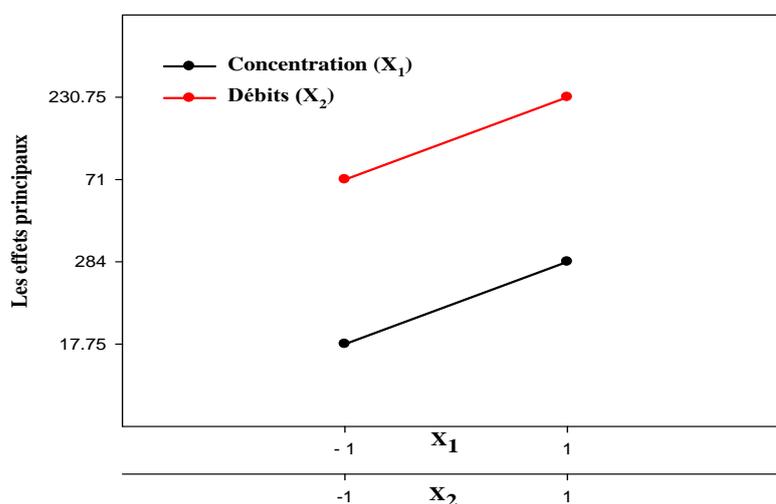


Figure III.4 : Présentation graphique des effets principaux des facteurs X_1 et X_2

❖ Graphique des effets d'interaction

La représentation graphique des effets principaux en figure III- 5 est tracée à partir du tableau III-9 des réponses moyennes d'interaction. D'après la figure, on constate que les deux lignes du graphique ne sont pas parallèles indiquant un effet important de l'interaction entre la concentration et le débit. En effet, moins les lignes sont parallèles, plus une interaction significative est probable.

Tableau III-9 : réponses moyennes des effets d'interaction X_1X_2

	$X_1(-1)$	$X_1(1)$
$X_2(-1)$	35.5	106.5
$X_2(1)$	0	461.5

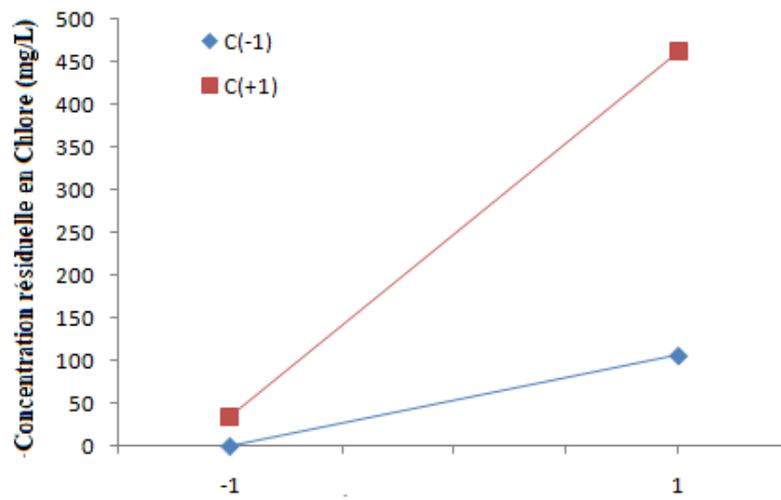


Figure III-5 : Présentation graphique des effets d'interaction X_1X_2 .

CONCLUSION

CONCLUSION GENERAL

Conclusion générale :

Ce travail a concerné l'étude de la déchloration de l'eau potable de la région de Bouira, par adsorption sur charbon actif en colonne. En terme de la caractérisation des paramètres physicochimiques de l'eau de robinet avant déchloration les résultats obtenus ont montré que:

- ❖ Les paramètres physico-chimiques analysés tels que, le pH, la température, la conductivité électrique la turbidité et la salinité, sont conformes aux réglementations algériennes et OMS, en matière de potabilité pour les eaux de robinet.
- ❖ Donc, les eaux de conduite de la région de Bouira peuvent être classées comme bonnes à la consommation
- ❖ Cette étude nous a permis de bien maîtriser les protocoles expérimentaux de contrôle de la qualité de l'eau potable.

L'étude de la déchloration ont montré que :

- ❖ Le degré de chlore actif mesuré au laboratoire par la *Méthode iodométrique* est proche de celui indiqué sur la bouteille de l'eau de javel 'bref'.
- ❖ Le pourcentage d'élimination de chlore augmente de 50 jusqu'à 87.5 % lorsque la C_0 augmente de 100 jusqu'à 287mg /L. Au-delà nous pouvons dire que le pourcentage n'évolue pas.
- ❖ Le pourcentage (%) de chlore diminue de 75 jusqu'à 37.5 % avec l'augmentation de débit de 200 jusqu'à 350 L /h .
- ❖ La valeur optimale de débit est de 200L/h pour un pourcentage de 75%.
- ❖ Les paramètres physico-chimiques analysés après déchloration, sont conformes aux réglementations algériennes et OMS.
- ❖ Le traitement des résultats expérimentaux par plan d'expérience nous a permis de concevoir un modèle mathématique du premier degré par rapport à chaque facteur.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]Metcalf and Eddy.Inc (2002)
- [2] Degremont. « Mémento technique de l'eau Deuxième édition Tom1.(2005).39-50
- [3]
- [4] Encyclopédie. (2006). L'eau. Edition. Encarta
- [5]Suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux naturelles. Le Memento deग्रemont. (2000)
- [6] Degremont, «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1, (2005).
- [7] Guerée & Gomella, 1982 : Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes. Thèse docteur Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge / Angola 2020.
- [8] Jean-L.C, Jean C-C, 2005, Alimentation en eau potable, Cahier Technique N° 19, Office International De L'eau, 2005, P8 : Gestion de l'eau potable cas des communes Tolga, Bouchagroune, B.B.Azzouz, Lichana Wilaya de Biskra, Mémoire magestaire , Université Mohamed Khider de Biskra 2020.
- [9] GO N° 60, 14 p : Gestion de l'eau potable cas des communes Tolga, Bouchagroune, B.B.Azzouz, Lichana Wilaya de Biskra, Mémoire magestaire, Université Mohamed Khider de Biskra 2020.
- [10]Louise Schriver-Mazzouli, 2014, la gestion durable de l'eau (Ressources, qualité, organisation) Edition Dunod, 176 p : Gestion de l'eau potable cas des communes Tolga, Bouchagroune, B.B.Azzouz, Lichana Wilaya de Biskra, Mémoire magestaire , Université Mohamed Khider de Biskra 2020.
- [11] Louis Schriver, Op-cit178-179p : Gestion de l'eau potable cas des communes Tolga, Bouchagroune, B.B.Azzouz, Lichana Wilaya de Biskra, Mémoire magestaire , Université Mohamed Khider de Biskra 2020.
- [12] Johnson et *al.* 1997 : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud- Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Thèse doctorat université Mostefa Benboulaïd –BATNA 2e 2017.
- [13] Z. Amjad. The science and technology of industrial water treatment. (2010), United States of America IWA Publishing, Alliance House : évaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évolution des trihalométhanes et le plomb dans le réseau d'eau Potable. Thèse doctorat Université des Frères Mentouri Constantine 2019.

Références bibliographiques

- [14] M.Tardat-Henry, J.P. beaudry. Chimie des eaux, (1984), Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada : évaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évolution des trihalométhanes et le plomb dans le réseau d'eau Potable. Thèse doctorat Université des Frères Mentouri Constantine 2019.
- [15] Bourrier *et al*, 201 : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud- Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Thèse doctorat université Mostefa Benboulaïd –BATNA 2e 2017.
- [16] Veolia Eau, 2008 : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud- Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Thèse doctorat université Mostefa Benboulaïd –BATNA 2e 2017.
- [17] USEPA, 2005 : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud- Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Thèse doctorat université Mostefa Benboulaïd –BATNA 2e 2017.
- [18] Veolia Eau, 2008 : Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes. Thèse doctorate Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge / Angola 2020.
- [20] Commande d'un Système de Pompage Photovoltaïque : Ingénieur d'Etat En Electrotechnique Université Mouloud MAMMERI de TIZI-OUZOU 2010.
- [21] Copin-Montégut G. (1996) : Chimie de l'eau de mer, Institut Océanographique.
- [22] Copin-Montégut G. (1996) : Chimie de l'eau de mer, Institut Océanographique.
- [23] Degremont, «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1, (2005). 39-50
- [24] M. J. K., Ahmed, et M. Ahmaruzzaman, A review on potential usage of industrial waste materials for binding heavy metal ions from aqueous solutions. Journal of Water Process Engineering, (2016), 10, p.39-47
- [25] Claude Cardot : Génie de l'environnement, les traitements de l'eau, procédé physico-chimique et biologiques cours et problèmes de montéraile.
- [26] Juery Catherine, définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domine d'emploi des appareils de désinfection, document technique FNDE N°2
- [27] Enrico Riboni, purification de l'eau dans industrie, ozone. Chet la fondation Suisse pour la recherche en Microtechnique,<http://www.ozone.ch>.
- [28] M. Ladjel Farid, technique d'assainissement STEP/lagunage.

Références bibliographiques

- [39] Christèle Le Gulludec, la désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine : intérêts et limites de cette pratique : bilan d'une enquête effectuée dans le département de l'Isère, HAL Id : dumas-01817651 <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01817651>.
- [30] Juergen Schleicher, Guide de la mesure ampérométrique du chlore libre, du dioxyde de chlore et de l'ozone dans l'eau.
- [31] Cisse I et al. 2006 : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Thèse doctorat université Mostefa Benboulaïd –BATNA 2e 2017.
- [32] M. Kaneko, H. Igarashi Effet des solides en suspension sur l'inactivation de poliovirus par le chlore. Wat. Sci. 1983. 15:137-143 La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine université Grenoble Alpes 2018.
- [33] Degremont, 2005 : détermination de la demande en chlore des eaux souterraines de consommation de la Ville Ain Bida Willaya D'Oum El Bouaghie. Mémoire Master, université Labri Ben M'hydi 2014
- [34] Achour, 1992 ; De Laat et al, 1982 : détermination de la demande en chlore des eaux souterraines de consommation de la Ville Ain Bida Willaya D'Oum El Bouaghie. Mémoire Master, université Labri Ben M'hydi 2014.
- [35] Michel, 1993 : détermination de la demande en chlore des eaux souterraines de consommation de la Ville Ain Bida Willaya D'Oum El Bouaghie. Mémoire Master, université Labri Ben M'hydi 2014.
- [36] Merlet, 1986 ; De Laat, 1982 ; Jadas Hecart et al, 1992 : détermination de la demande en chlore des eaux souterraines de consommation de la Ville Ain Bida Willaya D'Oum El Bouaghie. Mémoire Master, université Labri Ben M'hydi 2014.
- [37] Achour, 2001 : détermination de la demande en chlore des eaux souterraines de consommation de la Ville Ain Bida Willaya D'Oum El Bouaghie. Mémoire Master, université Labri Ben M'hydi 2014.
- [38] Achour et Moussaoui, 1993 : détermination de la demande en chlore des eaux souterraines de consommation de la Ville Ain Bida Willaya D'Oum El Bouaghie. Mémoire Master, université Labri Ben M'hydi 2014.
- [39] Desjardins., 1990 ; El Azzouzi., 1999 ; Arias *et coll.*, 2002 élimination du 2-ERCAPTOBENZOTHIAZOLE Par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Mémoire de magistère en chimie. Université Mentouri de Constant 2007.

Références bibliographiques

- [40] El Azzouzi., 1999 ; Rachidi ; 1994; Mechrafi, 2002 élimination du 2-MERCAPTOBENZOTHIAZOLE Par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. . Mémoire de magistère en chimie 2007 université mentouri de Constantine.
- [41] Rachidi, 1994 ; Mekaoui, 2001 élimination du 2-MERCAPTOBENZOTHIAZOLE Par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. . Mémoire de magistère en chimie 2007 université mentouri de Constantine.
- [42] Adamson L.Y.R, Bowden D.H.(1978) –the type II Celle as progenitor of alveolar epithelia reg eneration :A cytaodynamice study in mice after exposure to oxygen. *Lad Invest*, 30, 35-42.
- [43] Chauveau 2014; LU 2005.
- [44] Benefield *et coll.*, 1982
- [45] Degremont «Memento technique de l'eau, 1989».
- [46] A. Hamouche, Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels, Thèse doctorat, Université de Boumerdes, (2012)].
- [47] Déchloration d'une eau à l'aide d'un mélange argile –charbon actif. Mémoire de Master. Université Ghardaïa.2021.
- [48] NT11/03/22-NT-GPBT70-FR.doc
- [49] Jean Rodier et Coll. 8édition.
- [50]Veolio Eau 2008 : Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes. Thèse doctorale Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge / Angola 2020.
- [51] Grhmsm, 2011 : Evaluation de la qualité de l'eau potable distribuée dans la commune de Hamma Bouziane (wilaya de Constantine) Université des Frères Mentouri Constantine 2018.