REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DU GENIE DES PROCEDES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie chimique

Spécialité : Génie des procédés

Option : Génie chimique

THEME

ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICACITE DE DEUX COAGULANTS SULFATE D'ALUMINE ($Al_2(SO_4)_3$) ET LE CHLORURE FERRIQUE ($FeCl_3$) POUR LE TRAITEMENT DE L'EAU « STATION BOUDOUAOU SEAAL »

Réalisé par

M^{elle} BOUMELLAH Hania **M^{elle} MOUAS Nawal**

Soutenues publiquement le 26/06/2024 devant le jury :

-	**Mr. BALOUL Hakim**	**MCA/UMBB**	**Président de jury**
-	**Mr. AMITOUCHE Mourad**	**Professeur /UMBB**	**Promoteur**
-	**Mr. HADJ ARAB Mourad**	**Cadre /SEAAL**	**CO-Promoteur**
-	**Mr. HADDADOU Sofiane**	**MAA/UMBB**	**Examinateur**

Promotion 2023/2024

REMERCIMENT

Nous remercions, en premier lieu, Allah le tout puissant de nous avoir donnés La volonté et la patience pour accomplir ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à notre promoteur ***Mr. AMITOUCHE Mourad****, qui nous a suivis le long de notre stage en nous éclairant avec ses conseils, ses orientations nécessaires et pour sa patience pour le temps qu'il nous a consacré et l'aide qu'il nous a apporté.*

Nous tenons à remercier ***Mr. HADJ ARAB Mourad*** *qui a accepté de suivre notre travail, pour ses conseils, sa patience et à travers qui nous avons appris énormément et pour l'honneur d'accepter de nous encadrer malgré ses occupations.*

Nous présentons également notre profonde reconnaissance à ***Mr. BALOUL Hakim*** *d'avoir accepté de présider notre jury de soutenance.*

Nous remercions aussi ***Mr. HADDADOU Sofiane*** *d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

Enfin, nous adressons nos chaleureux remerciements à nos familles et nos amis de la FHC qui ont été nombreux à nous aider et à nous encourager.

Dédicace

Ce travail est le fruit d'une synergie d'efforts déployés, de rigueur manifestée, d'encouragements et d'assistance accordés et beaucoup de bienveillance de la part de tous ceux qui nous aiment et qui nous veulent du bien.

Pour cela, je dédie cet ouvrage à mes très ***chers parents****, à ma* ***sœur Asma****, à mes adorables* ***frères****, à toute* ***ma famille****, à mon binôme* ***Hania****, à mes amis.*

MOUAS NAWAL

Je dédie ce modeste travail à ***mes parents****. Aucun Hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dans ils ne cessent de combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie. A celle que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce travail* ***mon mari*** *ma petite* ***fille Raheel****, à* ***mes frères*** *et toutes* ***mes sœurs****. A toutes* ***mes amies*** *spécialement* ***Imene****, A mon binôme* ***Nawal.*** *Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.*

BOUMELLAH HANIA

Résume

Cette étude vise à comparer de manière approfondie deux coagulants largement utilisés, à savoir le chlorure ferrique $FeCl_3$ et le sulfate d'aluminium$Al_2(SO4)_3$, en examinant leurs performances respectives dans le processus de coagulation-floculation. L'objectif est d'identifier le coagulant qui se révèle le plus performant en termes de qualité de l'eau traitée, d'efficacité du processus de coagulation et de coût économique. En résumé, cette étude comparative a démontré que le choix du chlorure ferrique comme coagulant est avère le meilleur par rapport au sulfate d'aluminium en raison de son coût économique et de sa disponibilité locale. Cependant, il est recommandé de tenir compte des caractéristiques spécifiques de chaque situation avant de prendre une décision finale sur le coagulant à utiliser.

Mots clé : eau, traitement, coagulation, potable, floculation, station Boudouaou.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة شاملة بين اثنين من مواد التخثر المستخدمة على نطاق واسع، وهما كلوريد الحديد وكبريتات الألومنيوم، من خلال فحص أداء كل منهما في عملية التخثر والتلبد .الهدف هو تحديد مادة التخثر التي تثبت أنها الأكثر كفاءة من حيث جودة المياه المعالجة وكفاءة عملية التخثر والتكلفة الاقتصادية .باختصار، أظهرت هذه الدراسة المقارنة أن اختيار كلوريد الحديديك كمادة تخثر هو الأفضل مقارنة بكبريتات الألومنيوم بسبب تكلفته الاقتصادية وتوافره محليا .ومع ذلك، فمن المستحسن النظر في الخصائص المحددة لكل حالة قبل اتخاذ القرار النهائي بشأن مادة التخثر التي سيتم استخدامها

الكلمات المفتاحية :الماء، المعالجة، التخثر، الشرب، التلبد، محطة بودواو .

Summary

This study aims to comprehensively compare two widely used coagulants, namely ferric chloride $FeCl_3$ and aluminum sulfate$Al_2(SO_4)_3$, by examining their respective performances in the coagulation-flocculation process. The objective is to identify the coagulant which proves to be the most efficient in terms of quality of the treated water, efficiency of the coagulation process and economic cost. In summary, this comparative study demonstrated that the choice of ferric chloride as a coagulant is the best compared to aluminum sulfate due to its economic cost and its local availability. However, it is recommended to consider the specific characteristics of each situation before making a final decision on which coagulant to use.

Key words: water, treatment, coagulation, drinking, flocculation, Boudouaou station.

Sommaire

Remerciement
Dédicace
Résumé
Sommaire
Liste des Figures
Liste des Tableaux
Introduction 1

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1.Introduction 3
I.2.Définition de l'eau 3
I.2.1.L'eau brute 3
I.2.2.L'eau potable 4
I.2.3. NORMES D'EAU POTABLE : 4
I.3.LES ETATS PHYSIQUES DE L'EAU : 5
I.3.1.L'état vapeur : 5
I.3.2.L'état solide : 5
I.3.3.L'état liquide : 6
I.4.LE CYCLE DE L'EAU : 6
I.5.Les paramètres de l'eau de consommation : 7
I.5.1. Les propriétés de l'eau : 9
I.5.2. Propriétés physiques : 9
I.5.3 : -Les propriétés thermiques : 10
I.5.4 :Les propriétés électriques : 11
I.5.5 :Les propriétés optiques : 11
-I.6 :Les propriétés chimiques de l'eau : 12
I.7 :LES RESSOURCES DE L'EAU DANS LA NATURE 12
I.7.2 :L'eau de surface : 13
I.7.3 :L'eau souterraine : 13
I.7.4 : Eau de mer : 14
I.8 :La pollution de l'eau : 14

I.8.1. :La pollution diffuse : 14
I.8.2 : La pollution ponctuelle : 15
I.9 :En fonction de l'origine de la pollution : 15
I.9.1 :La pollution agricole : 15
I.9.2 : La pollution industrielle : 15
I.9.4 : La pollution par les hydrocarbures (ou pollution pétrolière) : 16
I.10 : Selon la nature des pollutions : 16
I.10.1 :La pollution physique : 16
I.10.2 : La pollution chimique : 16
I.10.3 :La pollution organique : 16
I.11 :La pollution microbiologique, biologique et bactériologique : 17
I.11.1 :Les nouveaux polluants : 17
I.11.2 :Les retombées acides : 17
I.12 : LES MALADIES A TRANSMISSION HYDRIQUE : 17
I.12.1 :Les maladies d'origine bactérienne : 17
I.12.2 : Les maladies d'origines virales : 18
I.12.3 :Les maladies d'origine parasitaire : 19
I.13 : CONCLISION : 20

Chapitre II : Les procèdes de traitements des eaux potables

II.1. Introduction 24
II.2. L'objectif du traitement des eaux : 24
II.3. Procédés de potabilisation des eaux de surfaces : 24
II.3.1. Prétraitement : 25
II.3.2.Clarification : 26
II.5.4. Les décanteurs : 30
II.3.3. Désinfection 37
II.3.4. Affinage: 41

Chapitre III : coagulation - floculation

III.1. Introduction : 44
III.2. Les particules en suspension : 44
III.3. Les particules mise en jeu ; colloïdes : 44
III.3.1. Les type de colloïdes : 44
III.3.2. La théorie de la double couche : 46

III.3.3. Le potentiel Zêta : 48
III.4. La coagulation-floculation : 49
III.4.1. La coagulation : 49
III.4.2. La floculation : 54
III.4.3. Les facteurs influençant la coagulation-floculation : 58
III.4.5. Les avantages et les inconvénients de la coagulation- floculation : 61

Chapitre IV : Présentation de la station de l'eau SEAL, Boudouaou

IV.1 Introduction 65
IV.2 Présentation de la société SEAAL 65
IV.2.1 Profil 65
IV.3 Présentation de lieu de stage 66
IV.3.1 Description générale du centre de traitement Boudouaou 66
IV.3.1.1 Objective de centre et ses principaux services 67
IV.3.2 Considérations générales de la station de potabilisation de Boudouaou 67
IV.3.2.2 Les principales caractéristiques de la station de potabilisation 68
IV.4 Ressources de la station de Boudouaou. 69
IV.4.1 Captage et Origine des eaux brutes superficielles du système SPIK 69
IV.5 Transfert d'eau brute vers la station via Barrage Keddara 71
IV.6 Principaux installations et ouvrages de la station 72
IV.6.1 Les différents ouvrages de traitement 74
IV.6.2 Décanteurs Pulsator Lamellaire 77
IV.6.3 Filtres à sable 'AQUAZUR V' 79
IV.6.4 Réservoirs de stockage 80
IV.7 Description de la filière et procédés de traitement 80
IV.7.1 Schéma synoptique de traitement 80
IV.7.2 Enchainement et fonctionnement du processus de traitement 82
IV.7.3 Les surveillances et les contrôles de la qualité de potabilisation 92

Chapitre V : Modes Opératoires, les appareillages et les réactifs.

V.1.Introduction : 96
V.2. LES OBJECTIFS DU TRAVAIL : 96
V.3.Echantillonnage 96
V.4. MODE OPERATOIRE 97

V.4.2. Mode opératoire de l'influence de concentration de floculant : 98
V.5. DESCRIPTION DES APPAREILLAGES 98
V.5.1. Description du Jar-test 98
V.5.2. Le turbidimètre : 99
V.5.3. Spectrohpotomètre : 100
V.5.4. Le pH mètre : 102
V.5.5. Autres équipements : 103
V.6. LES REACTIFS UTILISES 103
V.6.1. Les coagulants 103
V.6.2. Les floculats 104
V.6.3. Autres réactifs 104
V.7. PREPARATION DES SOLUTIONS 105
V.7.1. Préparation du coagulant 105
V.7.2. Préparation du floculent: 105
V.7.3. Autres solutions 106

Chapitre VI : Résultats expérimentaux et Discussion

VI.1. Introduction : 109
VI.1.1. Caractéristique de l'eau brute 109
VI.2. Détermination des doses optimales des coagulants et floculant 109
VI.3. Détermination de la des optimale du floculant polymère PE 111
VI.4. Effet de pH sur les coagulants sulfate d'alumine et chlorer ferrique 113
VI.4.1.SA 114
VI.4.2. $FeCl_3$ 117
VI.4.3. L'effet de pH sur le rendement d'abattement de l'Al^{3+} dessous ,TURB, MO, avec la dose optimal de coagulant SA . 120
VI.4.4 : L'effet de pH sur le rendement d'abattement de Fe^{2+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimale de coagulant $FeCl_3$. 121
IV.5.Etude économique : 123
Conclusion générale : 125

Liste des Figures

Figure I - 1 : la particule d'eau 3
Figure I - 2 : Les différentes dispositions des molécules d'eau dans ses trois états [13]..... 6
Figure I - 3 : le cycle de l'eau [15] 7

Figure II - 1 : Chaîne de traitement de l'eau. (1- Captage, 2- Dégrillage, 3- Tamisage, 4- Floculation, décantation, 5- filtration, 6- désinfection, 7- traitement spécifique, 8- chloration, 9- stockage) 24
Figure II - 2 : Dégrilleur automatique. 25
Figure II - 3 : les deux filtres grossiers..... 26
Figure II - 4 : décantation horizontale 29
Figure II - 5 : Décantation verticale. 30
Figure II - 6 :Décanteur lamellaire à contre-courant [18]. 31
Figure II - 7 : Décanteur lamellaire à Co-courant [18]. 31
Figure II - 8 : Principe de la décantation lamellaire. Calcul de la surface équivalente 32
Figure II - 9 : Décantation lamellaire à contre-courant 33
Figure II - 10 : Décantation lamellaire à courants croisé 34
Figure II - 11 : Décantation lamellaire à co-courant 34
Figure II - 12 : Décanteur lamellaire (Degrémont) 34
Figure II - 13 : filtre à sable..... 35
Figure II - 14 : L'écoulement à travers le filtre 36
Figure II - 15 : courbe de désinfection 38
Figure II - 16 : charbon active 41

Figure III - 1 : La présence de charges à la surface de la particule 45
Figure III - 2 : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale [4]. 47
Figure III - 3 : Stabilité d'une suspension colloïdale 48
Figure III - 4 : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse [4]. 50
Figure III - 5 : Représentation schématique de neutralisation des charges [4]. 51
Figure III - 6 : Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation [4]..... 51
Figure III - 7 : Adsorption et pontage à l'aide de polymères [12]. 52

Figure IV - 1 : Profil de la SEAAL avant : Août 2021 66
Figure IV - 2: Photo sur Google de la station de traitement..... 68
Figure IV - 3 : Photo illustré le projet ONID-SEAAL 69
Figure IV - 4 : Schéma générale système SPIK / pompage directe Béni Amrane-station de traitement..... 71
Figure IV - 5 : Photo Google illustré les prises de barrage Keddara..... 72
Figure IV - 6 : Schéma générale système SPIK / Transfert Barrage Keddara vers la station. 72

Figure IV - 7 :Représentation schématique de la filière de traitement de la station Boudouaou. 81
Figure IV - 8 : Chambre des Obturateurs à disque motorisées 82
Figure IV - 9 : Chambres de gauche à droite : de Mélange Hydraulique des réactifs 83
Figure IV - 10 : Schématisation de traitement de clarification 85
Figure IV - 11 : Schéma de décanteur pulsatube..... 87
Figure IV - 12 : Filtre AQUAZUR type V..... 88
Figure IV - 13 : Schéma du Filtre AQUAZUR V en phase de filtration 88
Figure IV - 14 : Filtre AQUAZUR V-Boudouaou en phase de lavage..... 90
Figure IV - 15 :..... 90
Figure IV - 16 : Schéma de Connexion Eau Traitée TAKSEBT+ BOUDOUAOU 91
Figure IV - 17 : Photo illustré la Salle bactériologique..... 94
Figure IV - 18 : Photo illustré la Salle Physico-chimiques..... 94
Figure IV - 19 : Schéma synoptique du fonctionnement sur Topkapi 95

Figure V - 1 : Laboratoire Physico-Chimique..... 97
Figure V - 2 : Schéma illustré le siphonage 97
Figure V - 3 : Floculateur de laboratoire de Boudouaou Type : FLOCUMATIC SELECTA 98
Figure V - 4 : turbidimètre 99
Figure V - 5 : Spectrohpotomètre..... 100
Figure V - 6 : Filtration par sable..... 101
Figure V - 7 : Protocole de AL3+ Figure V - 8 : les échantillons AL3+ 101
Figure V - 9Protocole de Fe2+ Figure V - 10 : les échantillons de Fe2+ 102
Figure V - 11 : pH mètre 103
Figure V - 12 : balance électronique Figure V - 13 : fiole, pissette, bécher ,pipettes.. 103
Figure V - 14 : Sulfate d'alumine Figure V - 15 :la solution mère FeCl3 104
Figure V - 16 : Polyelectrolite..... 104
Figure V - 17 : les solutions NaOH et H2SO4..... 104
Figure V - 18 : les solutions mère Oxalate de sodium et Permanganate de potassium, Acide sulfurique (solution filleH2SO4)..... 106
Figure V - 19 : Les solutions de travailles d'oxalate et permanganate de potassium 107
Figure V - 20 : la plaque chauffante Figure V - 21 : titrage par KMnO4 108

Figure VI - 1 : détermination de la dose optimale de SA..... 110
Figure VI - 2 : détermination de la dose optimale de FeCl3 111
Figure VI - 3 :déterminations de la dose optimale de PE pour le SA 112
Figure VI - 4 : Détermination de la dose optimale de PE pour FeCl3 113
Figure VI - 5 variation des caractéristiques de l'eau en fonction de la dose SA pH=7,2 114
Figure VI - 6 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de la dose SA, pH=7,5 . 116
Figure VI - 7 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de SA, pH=8 117
Figure VI - 8 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de FeCl3 pH=7,2..... 118
Figure VI - 9 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de FeCL3, pH=7,5 119

Figure VI - 10 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de FeCL3, pH=8 120
Figure VI - 11 : Histogramme d'évolution de la turbidité, MO et Al3+ en fonction des déférents pH 121
Figure VI - 12 : Histogramme d'évolution de la turbidité, MO et Fe2+ en fonction des déférents pH 122

Liste des Tableaux :

Tableau I - 1 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE). 4
Tableau I - 2 : les normes de potabilité des substances indésirables. 8
Tableau I - 3 : les normes de potabilité des substances toxiques. 9
Tableau I - 4 : Les caractéristiques de l'eau souterraine [17]. 13
Tableau I - 5 : Les principales maladies d'origine hydrique et leurs agents pathogènes [37]. 19

Tableau II - 1 : Temps de désinfection pour différents types de microorganismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de 1 mg/l (1 ppm) alors que pH = 7.5 et T=25°C 40

Tableau III - 1 : Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium..... 58

Tableau IV - 1 : Les produits de traitements mise en œuvre dans la station traitement..... 73
Tableau IV - 2 : Les données technique de la chambre des obturateurs à disque motorisés .. 75
Tableau IV - 3 : Les données techniques de la chambre de Mélange de produits de traitement 76
Tableau IV - 4 : Les données techniques de la chambre de Répartition 76
Tableau IV - 5 : Les données techniques de de décanteurs PULSATOR lamellaire 78
Tableau IV - 6 : 79
Tableau IV - 7 : Les données hydrauliques des Réservoirs de stockage..... 80
Tableau IV - 8 : Points d'échantillonnage des différentes étapes de traitement de laboratoire BOUDOUAOU 93
Tableau IV - 9 : Emplacement des différents capteurs de qualité on line..... 94

Tableau V - 1 : Classe de turbidités usuelles (NTU, néphélométricturbidity unit) [3]. 99
Tableau V - 2 : classification des eaux d'après leur pH [3]. 102

Tableau VI - 1 : caractéristique de l'eau brute 109
Tableau VI - 2 : détermination du dose optimale de SA 109
Tableau VI - 3 : Détermination de la dose optimale de floculant $FeCl_3$ 110
Tableau VI - 4 : Détermination de la dose optimale de floculant polymère PE pour SA . 111
Tableau VI - 5 : Détermination de la dose optimale de floculant polymère PE pour $FeCl_3$. 112
Tableau VI - 6 : analyses de l'eau brute pH=7,2..... 114
Tableau VI - 7 : analyses de l'eau brute pH=7,5..... 115
Tableau VI - 8 : analyses de l'eau brute pH=8..... 116
Tableau VI - 9 : analyses de l'eau brute pH=7,2..... 117
Tableau VI - 10 : analyses de l'eau brute pH=7,5..... 118

Tableau VI - 11 : analyses de l'eau brute pH= 8 119
Tableau VI - 12 : L'effet de pH sur le rendement d'abattement de l'Al^{3+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimale de coagulant SA. 120
Tableau VI - 13 : L'effet de pH sur le rendement d'abattement de Fe^{2+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimale de coagulant $FeCl_3$ 122
Tableau VI - 14 : tableau récapitulatif des résultats d'analyses pour les deux coagulants (SA et FeCl3) , avec le pH optimal (pH=7.2). 123
Tableau VI - 15 : estimation des quantités et des coûts des coagulants 123

Liste des Abréviations

EB : Eau brute

ET : Eau traité

pH : Potentiel d'hydrogène

TH : Titre Hydrotimétrique

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

THM : trihalométhanes

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO : Demande biologique en oxygène

MO : Matière organique

CT : Coliforme totaux

CF : Coliforme fécaux

E. coli : Escherichia coli

CTT : Coliformes thermos tolérants

NBH : numération des bactéries hétérotrophes

NTU : Néphélométrie Turbidité Unit

MES : matières en suspension

MEST : matières en suspension totale

PE : Poly Electrolyte

SA : Sulfate d'alumine

Introduction Générale

Introduction

L'eau, élément vital aux implications économiques, sociales et environnementales profondes, se trouve aujourd'hui face à un défi majeur : garantir sa disponibilité à long terme tout en préservant l'équilibre fragile de notre planète. Cette étude s'inscrit dans cette problématique en explorant les aspects critiques du traitement de l'eau, en particulier le processus de coagulation-floculation .

Si l'eau est une ressource renouvelable, sa quantité et sa qualité se trouvent menacées par la pollution croissante et les limitations des ressources naturelles. L'eau du robinet, l'un des produits alimentaires les plus contrôlés, doit répondre à des normes sanitaires strictes pour garantir la santé des populations. Les eaux de surface, souvent polluées, nécessitent un traitement rigoureux pour éliminer les substances nocives et les micro-organismes qui menacent la santé humaine et l'environnement.

La coagulation-floculation, processus physico-chimique essentiel au traitement de l'eau, vise à éliminer les matières en suspension et la matière organique présentes dans les eaux brutes. Cette étude compare l'efficacité de deux coagulants industriels courants, le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique, dans le processus de traitement de l'eau de la station SEAAL, BOUDOUAOU.

Ce mémoire s'articule autour de six chapitres :

• Chapitre 1 : Généralités sur l'eau

Ce chapitre présente une définition générale de l'eau, son cycle naturel ses ressources, ses propretés physico-chimiques et les différentes sources de pollution des eaux.

- Chapitre 2 : Les procèdes de traitement des eaux potables.

  Dans ce chapitre on a présenté le principe et la théorie des déférentes étapes de traitement d'eau potable.

  Chapitre 3 : Coagulation-floculation

  Ce chapitre est consacré à la présentation détaillée du principe et de la théorie de l'opération coagulation-floculation.

• Chapitre 4 : Présentation de la station de traitement de l'eau SEAAL, BOUDOUAOU

Ce chapitre fournit une description détaillée de l'usine de traitement de l'eau SEAAL, BOUDOUAOU, incluant ses caractéristiques techniques, ses procédés de traitement et ses performances.

Ce chapitre présente la mise en place expérimentale détaillée, incluant les matériaux utilisés, les modes opératoires des différentes analyses et les conditions expérimentales.

• Chapitre 5 : Mode opératoire, les appareillages et les réactifs.

Les modes opératoire des déférentes analyses, le matériel est les réactifs utilisés sont présentés dans le chapitre 5.

Chapitre 6 : Résultats expérimentaux et discussion.

Ce chapitre présente les résultats obtenus lors des expériences de coagulation-floculation avec le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique, pour des déférents pH et propose une discussion approfondie des résultats en termes d'efficacité et le choix technico-économique entre les deux coagulants.

Chapitre I

Généralités Sur L'eau

I.1.Introduction

L'eau est un élément essentiel à la vie, nécessaire à l'homme d'abord pour ses besoins alimentaires, ensuite pour ses activités agricoles et industrielles .Il en résulte que de tout temps, l'installation des populations humaines sur la terre s'est faite en fonction des ressources en eau**.**

Les ressources en eau se raréfient et leurs traitements deviennent de plus en plus difficiles et couteux .les maladies, l'insalubrité et bien d'autres maux freinent la marche rigoureuse vers le développement [1].

I.2.Définition de l'eau

L'eau est un corps, incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes.sa formule chimique est H_2O [2] , c'est –à-dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogène (H) par deux liaisons covalentes simple ,formant un angle de 104.5°.La représentation de la molécule d'eau sous sa forme compacte donne une image de la forme réelle de la molécule et de l'encombrement des atomes qui la constituent[3]

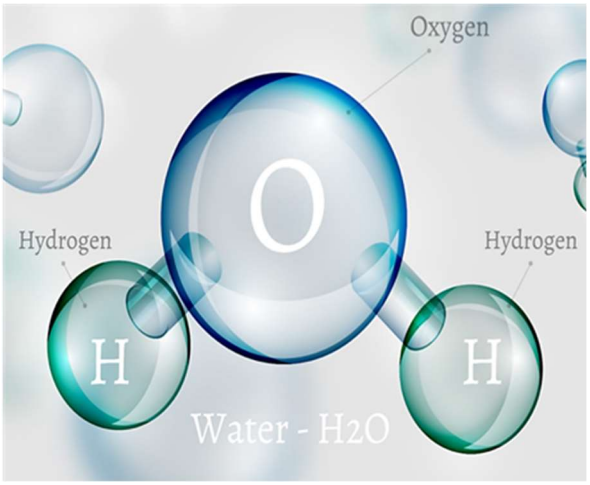


Figure I - 1 : la particule d'eau

Cette ressource naturelle se trouve presque partout elle recouvre près de 70% de la surface de la terre.97% d'eau est salée, essentiellement sous forme d'océans et mer, alors que la fraction douce ne présente que 3% [2]

I.2.1.L'eau brute

L'eau brute désigne celle qui n'a pas été traitée, c'est-à-dire, l'eau dans l'état où elle est

prélevée dans le milieu naturel, et qui n'a pas été introduite dans le réseau de distribution [2].

I.2.2.L'eau potable

L'eau potable est une eau brute ; qui a subi des traitements avant sa distribution [6]. On appelle aussi une eau de consommation qui peut être définit en ce référent à l'OMS comme une eau ne contenant en quantité dangereuse, ni substances chimiques, ni des germes nocif à la santé de consommateur [4].

La qualité de l'eau ne doit pas nuire à la santé du consommateur. Elle doit être conformeà la réglementation sanitaire [5].

I.2.3. NORMES D'EAU POTABLE :

Des normes sont imposées pour une eau de bonne qualité. Selon l'OMS, les normes pour une eau potable sont d'assez large gamme, afin de s'adapter aux nombreux pays sous-développés, qui ont une eau de très mauvaise qualité et qui n'ont pas de moyens technologiques afin de suivre les traitements conformes et nécessaires pour rendre une eau potable.

Le tableau N°1, ci-dessous présente les normes de potabilité Algériennes et de l'OMS :

Tableau I - 1 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).

Paramètre	Unité	Norme algérienne	Norme de l'OMS
PH	/	**6.5-8.5**	**6.5-9.2**
Température	**C°**	**25**	/
Conductivité	**µs/cm**	**2800**	/
Résidus sec à 180°C	**Mg/l**	**2000**	**1500**
Turbidité	**NTU**	**2**	**5**
Calcium	**Mg/l**	**200**	/
Dureté totale (TH)	**Mg/l**	**500**	**500**
Magnésium	**Mg/l**	**150**	**150**

Sodium	**Mg/l**	**200**	/
Potassium	**Mg/l**	**20**	/
Sulfate	**Mg/l**	**400**	**250**
Nitrate	**Mg/l**	**50**	**50**
Nitrite	**Mg/l**	**0.1**	**0.1**
Aluminium	**Mg/l**	**0.2**	**0.2**
Ammonium	**Mg/l**	**0.5**	**0.5**
Matière organique	**Mg/l**	**3**	/
Métaux lourds	**Mg/ l**	**0.3**	/
Fer	**Mg/l**	**0.3**	**0.3**
Manganèse	**Mg/l**	**0.5**	**0.1**

I.3.LES ETATS PHYSIQUES DE L'EAU :

On peut trouver l'eau sous trois formes ou « états »: liquide, solide et gazeux.

I.3.1.L'état vapeur :

Il est obtenu à partir de 100°C à la pression atmosphérique ; les molécules sont relativement indépendantes les unes des autres et correspondent au modèle angulaire [11].

L'humidité de l'air provient de l'évaporation des mers et eaux douces et de l'évapotranspiration des plantes. On pourra alors la trouver aussi sous forme de nuages puisqu'il s'agit là d'un amas de gouttelettes [12].

I.3.2.L'état solide :

On trouve également l'eau sous forme solide, c'est à dire sous forme de glace: glaciers, icebergs etc. [12].

Il est obtenu en dessous de 0°C sous la pression atmosphérique ; les molécules sont disposées suivant un tétraèdre avec une molécule d'eau centrale et quatre autres disposées suivant les quatre sommets d'un tétraèdre régulier. Le réseau qui en résulte est hexagonal. Les molécules sont assemblées par des liaisons hydrogène, chaque atome d'hydrogène d'une molécule d'eau étant liée à l'atome d'oxygène de la molécule voisine [11].

I.3.3.L'état liquide :

Sur terre c'est sous sa forme liquide qu'elle est la plus présente. En effet près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce) essentiellement sous forme d'océans, mais on va aussi la trouver dans la mer, dans des zones humides du type tourbière ou marécage, dans les lagunes, les lacs, les étangs, les mares, les fleuves, les rivières, les ruisseaux, ainsi que dans les réseaux de type canaux, fossés [12].

Au cours de la fusion de la glace, les liaisons hydrogène se rompent, le cristal s'effondre et les molécules se rapprochent les unes des autres, la masse volumique augmente jusqu'à une valeur maximale correspondant à une température de 4°C sous 1 atmosphère [11].

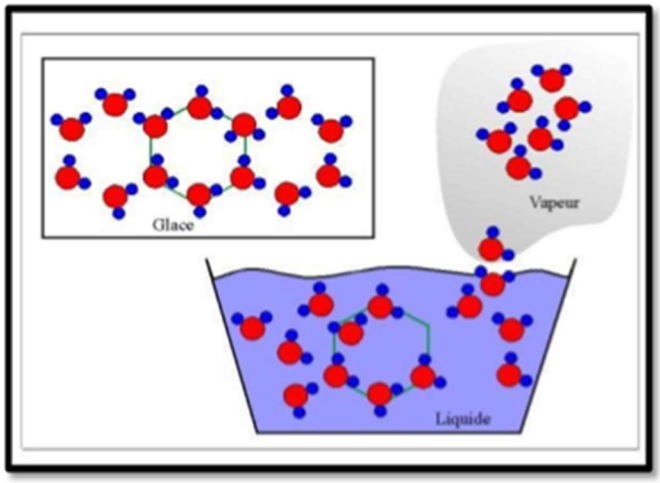


Figure I - 2 : Les différentes dispositions des molécules d'eau dans ses trois états [13].

I.4.LE CYCLE DE L'EAU :

La quantité d'eau créée avec l'univers n'a pas changé, par contre elle s'est considérablementdégradée à cause de la pollution. Cette eau qui se trouve sous forme liquide, solide ou vapeur est en mouvement perpétuel [14].

Entre les quatre grands réservoirs d'eau de l'hydrosphère que sont les mers et océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère, et la biosphère, l'échange

d'eau est permanent et forme ce que l'on appelle le cycle externe de l'eau. Le moteur de ce cycle est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement.

Ce cycle se divise en deux parties intimement liées :

- une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement,

- une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain [15].

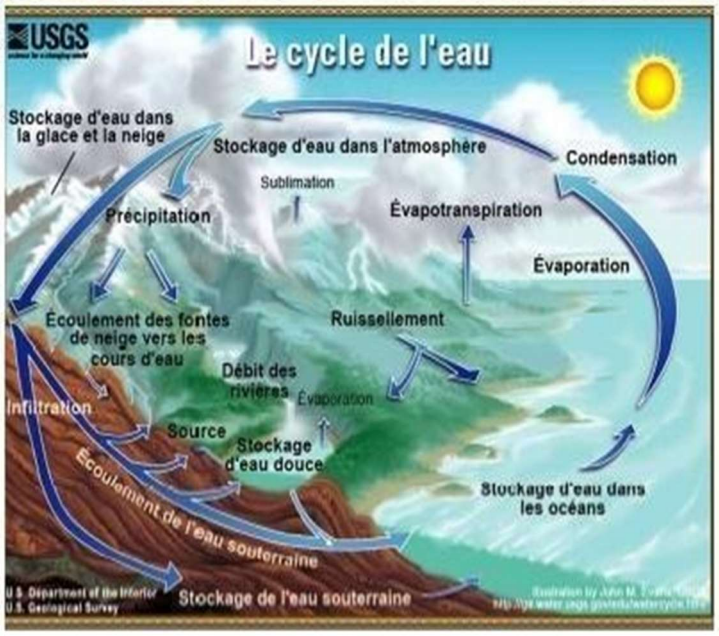


Figure I - 3 : le cycle de l'eau [15]

I.5.Les paramètres de l'eau de consommation :

Les paramètres organoleptiques :

a) La couleur :

La couleur d'une eau liée à la présence de matières organiques dissoutes et de la matière en suspension. L'eau ne doit pas présenter une coloration dépassant 0,15 µg de platine enréférence à l'échelle platine-cobalt [9].

b) La turbidité :

La turbidité d'eau est l'inverse de sa transparence. Elle est due à la présence de matière en suspension. Le MES ne doit pas dépasser selon les normes algérienne 2mg/l dans l'eau potable [7]. La turbidité est mesurée par la diffusion d'un faisceau lumineux

traversant l'eau [9].

c) L'odeur et saveur :

L'odeur et la saveur d'une eau sont imputables à la présence de certains éléments organiques, ou minéraux. Eaux potables ne doivent présenter ni odeur, ni saveur perceptibles

Les paramètres physico-chimiques :

Ces paramètres sont des indicateurs des eaux naturelles. Leur valeur dépend en particulierde la nature des sols contact avec l'eau [7].

a) Le pH (potentiel hydrogène) :

Ce paramètre influe sur les phénomènes de corrosion ou d'entartrage des conduites .On admirent que le pH des eaux de consommation doit être compris entre 6,5 et 8,5.

b) La dureté :

La dureté de l'eau est due à la présence des ions de calcium Ca^{2+} et des ions de magnésium $Mg^{2+.}$ La dureté provoque l'entartrage des conduites [9].

La mesure de la dureté de l'eau porte le nom de titre hydrométrique. On l'exprime en degré français sachant qu'un degré équivalent à 10 mg de carbonate de calcium par litre.

c) La minéralisation et la conductivité :

La minéralisation de l'eau est de la concentration en sels dissous principalement le calcium, le magnésium. La conductivité, ou son inverse la résistivité sont des paramètres dont la valeur est fonction de la teneur en ions dans l'eau.

En principe la conductivité d'une eau potable doit être inférieure à2800 µS/cm selon les normes algériennes.

-Les paramètres concernant les substances indésirables :

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau N°2ci-après : [10].

Tableau I - 2 : les normes de potabilité des substances indésirables.

Substances	<= *Valeurs*
Nitrates(NO_3)	50 mg/l
Ammonium (NH_4)	0,5 mg/l
Hydrocarbures dissous ou Émulsionnés	0,1µg/l

Fer (Fe)	0.3 mg/l
Manganèse (Mn)	50 µg/l
Cuivre (Cu)	2 mg/l
Fluor(F)	1,5 mg/l

Les paramètres concernant les substances toxiques :

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ouégales aux valeurs indiquées dans le tableau N°3 ci-après : [10].

Tableau I - 3 : les normes de potabilité des substances toxiques.

Substances	<=*Valeurs* (µg/l)
Arsenic	10
Cadmium	3
Cyanures	70
Chrome	50
Mercure	6
Nickel	70
Plomb	10
Antimoine	20
Sélénium	10

Les paramètres microbiologiques :

L'eau ne doit contenir de germes pathogènes en particulières salmonelle et les Escherichia coli dans 5 litres d'eau prélevée, en staphylocoques pathogène dans 100 ml d'eau prélevée. L'eau ne doit pas contenir de coliformes streptocoques dans 100000 litres d'eauprélevée [7].

I.5.1. Les propriétés de l'eau :

Même si l'eau est un liquide inodore, incolore et sans saveur, d'autres propriétés physiques ou fondamental que joue cette molécule sur notre planète aussi bien comme facteur essentiel pour les écosystèmes que comme élément vital pour les êtres vivants [13].

I.5.2. Propriétés physiques :

L'eau a des propriétés physiques assez particulières par rapport aux autres liquides. Elle apparaît comme un liquide "structurée", et non désordonné comme les *autres* liquides, par le fait que ses constituants élémentaires sont associés [16].

Parmi les propriétés physiques les plus intéressants pour le traitement de l'eau sont les suivants :

a) -La masse volumique :

Pour l'eau pure sous pression normale, elle passe par un maximum à environ 4°C (1 Kg/l)et sa variation en fonction de la température [17].

b) -La viscosité :

La viscosité est un concept qui paraît simple et clair, à première vue, mais qui devient fort complexe lorsqu'on va au fond des choses. Il intervient notamment dans la force avec laquelleles couches plus rapides entraînent les couches plus lentes d'un fluide en écoulement laminaire [18].

C'est la propriété que présent un fluide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (ex : turbulence), soit globaux (ex : écoulement).

Cette résistance est due aux frottements réciproques des molécules en mouvement elle est à la base des pertes d'énergie cinétique (pertes de charge) et joue donc un rôle important en traitement d'eau [17].

I.5.3 : -Les propriétés thermiques :

a) La chaleur massique (ou capacité thermique massique) :

Très élevée pour un liquide, elle vaut 4,18 KJ. $(Kg.C°)^{-1}$ ou KJ. $(Kg.K)^{-1}$ à 20 °C. Elle varie avec la température en présentant un minimum de 4,1784 KJ. $(Kg.K)^{-1}$ à 30°C, pour remonter à 4,2159 KJ. $(Kg.K)^{-1}$ à 100°C[17].

b)-Les chaleurs latentes (les enthalpies) :

La chaleur latente de transformation est la quantité de chaleur nécessaire pour effectuer le changement d'état de l'unité de masse portée au préalable à la température associée à la pression régnante. Cette chaleur est libérée lors du passage à l'état condensé [19].

Les enthalpies de transformation sont pour la fusion de 334 $(KJ.Kg^{-1})$ et pour la vaporisation de 2259 $(KJ.Kg^{-1})$ à la pression normale et à 100°C.

L'importance de la chaleur massique et de l'enthalpie de vaporisation fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide colporteur [17].

I.5.4 :Les propriétés électriques :

-a)La constance diélectrique :

Le constant diélectrique élevé de l'eau explique pourquoi les substances qu'elle dissous facilement se retrouvent fréquemment sous forme d'ions [13].

Il est de l'ordre de 80 farads stérassions par mètre [17].

-b)La conductivité électrique de l'eau :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de $2cm^2$ de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm [20].

La conductivité de l'eau la plus pure l'on ait obtenue est de 4,2 micro siemens par mètre à 20°C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température [17].

Elle est l'inverse de la résistivité électrique. La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivantes :

$$\text{Résistivité } (\Omega.\text{cm}) = \frac{1\,000\,000}{\text{conductivité}(\mu S/\text{cm})} \text{ [20].}$$

I.5.5 :Les propriétés optiques :

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse.

Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaine forme de pollution, et en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration, de même elle conditionne l'emploi des ultraviolets en désinfection [17].

-a) La tension superficielle :

La tension superficielle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface [17].

Cette propriété est fondamentale pour le stockage de l'eau dans les aquifères et pour

l'érosion superficielle des roches. La forte tension superficielle explique également la forme sphérique des gouttes d'eau [16].

La tension superficielle de l'eau $\tau_{(H2O)=}$0.073N/m à 18°C=0.0525N/m à 100°C [11].

-I.6 :Les propriétés chimiques de l'eau :

L'eau est un excellent solvant qui dissous un très grand nombre de sels, de gaz, de molécules organiques [16] ; donc facilement polluée.

Elle est comme un agent chimique très agressif qui risque d'attaquer les parois du récipient qui la contient.

Les réactions chimiques de la vie se passent en milieu aqueux; les organismes sont très riches en eau (jusqu'à plus de 90%) [16].

Le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne,cohésion qui due à des forces :

- liaisons d'électrovalence ou ioniques (atome-électrons)) ;
- Intermoléculaires : liaisons de cohésion entre molécules (liaison hydrogène) [14].
- De faibles forces attractives (Van der Waals) qui assurent la liaison générale del'ensemble [19].

I.7 :LES RESSOURCES DE L'EAU DANS LA NATURE

Il Ya quatre sources principales d'eau brute dans la nature qui sont : [7].

1) Les eaux de pluies.
2) Les eaux de surfaces.
3) Les eaux souterraines.
4) Les eaux de mer.

I.7.1 : Les eaux de pluies :

Les eaux de pluie sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contient aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douce. Elles sont de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques dans les régions industrialisées [7].

Les eaux de précipitation non collectées serrant divisées en deux parties : une partie ruissellent à la surface des continents pour former les cours d'eau, alors que

l'autre partie s'infiltre dans le sol pour donner ce qu'on appelle les eaux souterraines [21].

I.7.2 :L'eau de surface :

Les eaux de surface sont constituées des eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Cette eau de surface peut être chargée de gaz dissout, issus de l'atmosphère :(le dioxyde de carbone CO_2, l'azote N2, l'oxygène O_2...) ;elle est aussi chargée de particules, matériaux divers,... en suspension : (matières en suspension ; les colloïdes ; les matières organiques ; les planctons (Phytoplancton, Zooplancton)[22].

On peut répartir les eaux de surface en trois catégories :

- Les eaux de rivière partie amont.
- Les eaux de rivière partie aval.
- Les eaux de lac [7].

I.7.3 :L'eau souterraine :

Les eaux souterraines sont une ressource cachée que l'on a tendance à oublier. À l'échelle du cycle hydrologique, les eaux souterraines ne représentent qu'une faible partie de toute les eaux marines et océaniques, elles représentent alors une fraction importante des eaux douces continentales [23]. Les aquifères souterrains sont la réserve majeure (97%) de l'eau douceexploitable sur les terres émergées [24].

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre et aussi sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, et qui transite plus ou moins rapidement [25], dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles sont souvent contenues dans des couches aquifères [24].

La qualité de l'eau dépend du terrain car il y a un équilibre et un échange de matièresentre le terrain et l'eau qui s'y trouve [22].

Tableau I - 4 : Les caractéristiques de l'eau souterraine [17].

Caractéristique	*Eau souterraine*
Température	relativement constante
Turbidité, MES	faible ou nul (sauf en terrain karstique)

Couleur	Liée surtout aux matières en solution (acide humique) ou due à une précipitation (Fe-Me).
Gouts et odeurs	Rares (sauf H_2S).
Minéralisation globale(ou salinité).	Sensiblement constante ; général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement present
CO_2 agressif	Souvent présent en grande quantité
O_2 dissous	Absent la plupart du temps
H_2S	Souvent present
NH_4	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et Organiques	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus long temps.
Solvants Chlorés	Peuvent être présents (pollution de la nappe).
Nature eutrophique	Nul

I.7.4 : Eau de mer :

Les océans et mers occupent un volume estimé à 1 340 millions de km³. Ce volume n'inclutpas les eaux souterraines (aquifères), dont environ 85 % sont salées à différents degrés [16].

I.8 :La pollution de l'eau :

La pollution est la dégradation ou la modification de l'équilibre d'un milieu aquatique par introduction d'une substance provenant de l'activité humaine[25].

I.8.1. :La pollution diffuse :

La pollution diffuse (indirecte) est la pollution la plus répandue et, de nos jours, la plus néfaste. Ce type de pollution contamine l'eau sur de longues périodes.

La pollution diffuse est plus difficile à contrôler que la pollution ponctuelle parce qu'elle est liée à une multitude de sources réparties sur l'ensemble du terroir [27].

I.8.2 : La pollution ponctuelle :

La pollution ponctuelle (directe) est la pollution qui provient d'un point unique et identifiable, par exemple, l'effluent d'une usine. Ce type de pollution est le plus connu et souvent le plus polluant à court terme. **Les** émissions de ce type de pollution sont généralement beaucoup plus polluantes que celles produites par la pollution diffuse [27].

I.9 :En fonction de l'origine de la pollution :

On a quatre principaux origines de pollution sont :

I.9.1 :La pollution agricole :

Les agriculteurs utilisent l'eau pour abreuver le bétail et irriguer les terres cultivables. Les déjections animales (lisier, fumier) sont source de pollution. Lorsque les animaux sont concentrés de façon importante sur un même site (élevage hors-sol), il y a concentration de la pollution.

Les agriculteurs utilisent des engrais minéraux et des pesticides pour améliorer le rendement de leur culture. La mauvaise utilisation d'engrais, de façon non adaptée aux besoins des sols et des cultures, est source de pollution diffuse. Les produits épandus en surplus ne sont pas absorbés par les plantes. Ils ruissellent à la surface du sol ou s'infiltrent dans le sol en direction des rivières ou des nappes souterraines [28].

I.9.2 : La pollution industrielle :

Les industriels peuvent utiliser l'eau pour fabriquer les produits (eau de procédé), pour refroidir les machines (eaux de refroidissement), pour l'hygiène des employés (eaux sanitaires) ou pour nettoyer l'usine (eaux de lavage). Tous les ateliers de production ne génèrent par une pollution de même type ni de même importance.

On distingue différents types d'activités industrielles. Par exemple, les industries lourdes, les industries chimiques et certaines industries de transformation des métaux peuvent être la source d'une pollution toxique et persistante. Certains produits rejetés ont une durée de vie longue avant de pouvoir être biodégradés. Les industries de fabrication des produits alimentaires rejettent principalement de la matière organique et des fertilisants [29]. Les rejets d'eau polluée des industries sont appelés les effluents industriels.

I.9.3 :La pollution domestique :

Les hommes utilisent l'eau tous les jours pour se désaltérer, se laver, cuisiner et accomplir un grand nombre de tâches domestiques. Dans les villes, après avoir utilisée, l'eau dite « usée » est collectée par un réseau d'égouts. Les effluents urbains sont acheminés par ce réseau jusqu'à une station d'épuration ou ils ont traités avant d'être rejetés à la rivière. Il existe différents types de stations d'épuration. Les effluents doivent respecter certaines normes avant d'être rejetés. Le couple « réseau d'égouts + station d'épuration » s'appelle un système d'assainissement. Les eaux de pluies qui ruissellent sur des surfaces

imperméabilisées (rues, stationnement, toitures) peuvent aussi être source de pollution. Il devient nécessaire de les prendre en compte dans les projets d'assainissement. Dans la compagne, lorsque les habitations ne sont pas concentrées autour d'un centre-ville, les effluents ne peuvent pas être traités de façon collective. Chaque habitation doit alors être équipée d'une fosse septique et d'un système d'épandage souterrain qui permet d'infiltrer les eaux traitées dans le sol [29].

I.9.4 : La pollution par les hydrocarbures (ou pollution pétrolière) :

L'homme gagne progressivement du terrain sur des régions restées intactes-ou presque-et inhabitées, s'entendant jusqu'aux contrées autrefois considérées comme inaccessibles. Des besoins en énergie sans cesse croissants conduisent à l'exploitation pétrolière des régions arctiques, mettant en péril le fragile équilibre des écosystèmes qui constituent la toundra [30].

I.10 : Selon la nature des pollutions :

I.10.1 :La pollution physique :

L'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement dans des centrales thermiques réchauffe les rivières dans lesquelles le rejet s'effectue. Cette élévation de température diminue la teneur en oxygène de l'eau et donc la capacité de vie des différentes espèces. La pollution thermique agit sur la température de l'eau, la pollution mécanique altère sa transparence par les matières en suspension.

D'autre pollution physiques agissent sur l'acidité, la salinité, la radioactivité, etc. Ces pollutions perturbent les écosystèmes et diminuent la biodiversité [25].

I.10.2 : La pollution chimique :

Elle provoque des déséquilibres biologiques à court ou long terme.

- A court terme : la dose fait le poison, souvent, si l'on supprime la cause, l'effet disparait rapidement.
- A long terme : les rejets de substances toxiques : ils proviennent d'industrie, d'égouts urbains, des transports ou de l'utilisation de pesticides en agriculture [25].

I.10.3 :La pollution organique :

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales).

Dans les eaux usées urbaines, on peut trouver les matières organiques banales (protides, lipides, glucides), les détergents, les huiles et goudrons, les micropolluants

organiques peuvent entrainer la modification des caractères organoleptiques de l'eau, ainsi que l'apparition des phénomènes toxiques [22].

Les polluants organiques évoluent dans le temps car ils sont constitués de matières vivantes qui ont besoin d'oxygène et dégageront des odeurs de putréfaction [31].

I.11 :La pollution microbiologique, biologique et bactériologique :

Il provient de l'agriculture, des hôpitaux et même de la vie domestique. Elle peut introduire dans l'eau des micro-organismes dont certains sont pathogènes.

I.11.1 :Les nouveaux polluants :

Ce sont principalement des médicaments rejetés dans l'eau au travers des réseaux de collecte d'effluents.

I.11.2 :Les retombées acides :

La pollution acide est générées par les retombées des polluants industriels et urbains (soufre, azote ammoniac) sous l'effet des vents et des pluies. Elle est considérée comme une partie responsable de la dégradation des forêts, de l'altération des sols, de la disparition de la faune aquatique dans les rivières et les lacs, de la corrosion des pierres et autres matériaux [25].

I.12 : LES MALADIES A TRANSMISSION HYDRIQUE :

Les eaux polluées ont une influence nocifs sur la santé humaine, ses effets nocifs touchent plus de 2.2 million de personne meurent chaque année de maladie liées à la mauvaise qualité de l'eau et à des conditions sanitaires déplorables, essentiellement dans les pays en voie de développement. Toutes les huit secondes, quelque part dans le monde, un enfant meurt d'une maladie liée à une eau souillée [32,33].Chaque jour, 5000 personnes meurent à cause de l'eau insalubre [34].

L'eau non traitée ou polluées est donc responsable de maladies graves chez l'homme, bien souvent mortelles dans les pays en voie de développement.

L'eau véhicule des virus, des bactéries, des parasites, des micro-organismes végétaux ou animaux, qui peuvent provoquer des maladies graves, voire mortelles pour l'être humain.

Les maladies hydriques s'étalent par la contamination des systèmes de distribution d'eau potable par l'urine et les fèces des personnes ou animaux infectés. On dénombre de nombreuses maladies véhiculées par les micro-organismes présents dans l'eau [35].

I.12.1 :Les maladies d'origine bactérienne :

I.12.1.1 : Le choléra :

Maladies infectieuse contagieuse se propageant sous forme d'épidémie essentiellement par l'intermédiaire de l'eau, due à une toxine bactérienne et caractérisée par une diarrhée aiguë généralement sévère. La bactérie responsable du choléra est le vibrion cholérique. La transmission se fait par contact direct, ou indirectement par la nourriture et surtout par l'eau de boisson contaminée par des bactéries provenant des selles de malades [29].

Le choléra est capable de survivre 7 à 12 jours dans l'eau des pluies, il est sensible aux solutions chlorurées. Le choléra est soumis au règlement sanitaire international (O.M.S) [36].

I.12.1.2 :Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes :

C'est une maladie due aux germes salmonella (salmonella typhi ou bacille d'eberth et salmonella paratyphi A, B, C) se caractérise par une forte température, accompagnée de vertiges et d'insomnie, une diarrhée, déshydratation, souvent on note aussi une constipation. Elle est contagieuse, qui peut être mortelle sauf si la personne est traitée rapidement. Les salmonella sont des bacilles (2-3u) ; mobiles, aéro-anaéobie facultatifs capables de survivre plusieurs semaines dans l'eau et dans le sol [36].

La contamination est surtout hydrique (eau souillée par des selles contaminées), parfois alimentaire (aliments souillés, coquillages, crudités), exceptionnellement directe, par les mains sales [16].

I.12.1.3 :Les gastro-entérites :

Les gastro- entérites sont provoquées par des salmonella ubiquistes présentes chez l'homme et les animaux. La durée d'incubation est généralement de 1 à 2 jours et dépend de la dose ingérée. Elles se manifestent par une fièvre, une diarrhée, des vomissements et douleurs abdominales. La contamination se fait par des aliments contaminateurs peu ou pas cuit (œufs, lait, charcuterie, eau, coquillages souillés) [16].

I.12.2 : Les maladies d'origines virales :

I.12.2.1 :Les hépatites virales :

C'est une maladie des pays à mauvaise hygiène fécale. Elle atteint surtout les jeunes enfants entre 3 mois et 5 ans (paralysie dite infantile). Il faut donc éviter autant que possible que l'eau soit contaminée majoritairement via le réseau d'évacuation des eaux usées [36].

I.12.2.2 : La poliomyélite :

C'est une maladie des pays à mauvaise hygiène fécale. Elle atteint surtout les jeunes enfants entre 3 mois et 5 ans (paralysie dite infantile). Il faut donc éviter autant que possible que l'eau soit contaminée majoritairement via le réseau d'évacuation des eaux usées [16].

I.12.3 :Les maladies d'origine parasitaire :

I.12.3.1 : La dysenterie amibienne :

La dysenterie amibienne est entrainée par la présence de l'amibe pathogène Entmoéba HISTOLYTICA. Elle est façon directe les mains sales ou indirectes par les aliments et les eaux polluées. La maladie se transmet à partir de sujets malades ou des porteurs sains [*36*].

Le tableau suivent N°4 résume les déférentes maladies d'origine hydrique

Tableau I - 5 : Les principales maladies d'origine hydrique et leurs agents pathogènes [37].

Maladies	Agents
• Origine bactérienne Fièvres typhoïdes Dysenteries bacillaires Choléra Gastro-entérites aigues et diarrhées	 Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B Shigella Vibriocholérae Escherichia coli entérotoxinogène Campilobacterjejumi / coli Yersinia enterocolitica Salmonella sp Shigellasp Legionellapneumophilia
• Origine virale Hépatite A et B Poliomyélite Gastro-entérites aigues et diarrhées	 Virus hépatites A et E Virus poliomyélitique Virus de Norwalk Rota virus Calicivirus Corona virus Entéro virus Adénovirus Réovirus
• Origine parasitaire Dysenteries amibiennes Gastro-entérites	 Entamoebahistolytica Giardia lamblia Crytosporidium

I.13 : CONCLISION :

L'eau de consommation ne doit contenir ni de germes pathogène ni de substances toxiques susceptibles de provoquer de graves contamination chez le consommateur. Et afin d'utiliser les différents catégories d'eaux et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement [38].

Références Bibliographiques
Chapitre I

[1] BoursaliI., 2011 :Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension .Mémoire d'ingénieur d'états en géologie ; Département des sciences de la terre et de l'univers. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers ; Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.

[2] http://fr.ekopedia.org/Eau.consulté le 19/03/2012.

[3] MicrosoftEncarta2007.

[4] http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau.consulté le 19/03/2012.

[5] La Commission Locale de l'Eau., 2004 :Rendement des réseaux d'eau potable ; définition des termes utilises ; version juin 2004 ;(www.sage-nappes33.org/index2.php?option=com_docman...74).

[6] LehbabS. et al., 2004 : Contribution à l'étude de l'eau potable .Mémoire d'ingénieur d'états en écologie végétale et environnement, Université de Sidi Bel Abbés.

[7] DesjardinsR., 1997 : Traitement des eaux ; Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2éme édition revue et améliorée.

[8] Les études de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne., 2005 : Connaissance et maitrise des pertes dans les réseaux d'eau potable (www.eau-adour-garonne.fr).

[9] BenkhaledA.et ZitouniW., 2011 : Diagnostic de la qualité de l'eau dans le réseau et de l'état de propreté des conduites ; Mémoire de licence en science et technique de l'eau, Département d'Hydraulique, Faculté deTechnologie, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.

[10] Boumediene M., 2011 : Cours de traitement des eaux ; Master 2 en Hydraulique. Option:Eau, Sol et Aménagement.

[11] Saïd Ouali M., 2001 : Cours de procédés unitaire biologique et traitement des eaux ; Office des publications universitaires ; 1 place centrale de Ben-Aknoun(Alger).

[12] Eau: Généralité http://sixpiedssurterre.over-blog.com/article-eau-generalites-68730704.htmlés: les états de l'eau .consulté le 19/03/2012.

[13]http://www.ecosociosystemes.fr/eau_proprietes_physicochimiques.html consulté le 19/03/2012.

[14] AdjimH., 2004 : Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna, Mémoire de Magister en Hydraulique, Département

d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, juillet 2004.

[15] www.cap-sciences.net. Consulté le 12/05/2012.

[16] http://www.u-picardie.fr/. Consulté le 19/03/2012.

[17] DEGREMENT., 2005 : Mémento technique de l'eau, Tome I, Lavoisier, Paris.

[18] *Gérard Copin-Montégut ; Propriétés physiques de l'eau de mer.*

http:// www.obs-vlfr.fr/ enseignement/enseignants/copin/prophy_imp.pdf .consulté le 23/03/2012

[19] DEGREMENT., 1972 : Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris.

[20] RodierJ. et coll., 2005 : L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8éme édition. Dunod, Paris.

[21]http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eaux.souterraines.html .Consulté le 19/03/2012.

[22] http://membres.multimania.fr/valerian88/aqua01.htm; Consulté le

19/03/2012.

[23] BantonO. et Bangoy L.M., 1997 : Multi science environnementale des eaux souterraines. Presses de l'Université du Québec/AUPELF.

[24] Schoeller.Henri J., 1975 :Groundwater Pollution - Symposium -; Actes du Colloque de Moscou, Août1971: IAHS-AISH Publ. No. 103.

[25] Bordet J., 2007 :L'eau dans son environnement rural ; éditio Johanet.

[26] BachiM. et AbdelliR., 2005 :L'influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation- floculation et décantation, Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, juillet 2005.

[27] Chabni L., 2005 :mémoires de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Option :conception des systèmes d'alimentation en eau potable. Thème : Etude de la propagation des polluantsdans les eaux souterraines. Ecole Nationale Supérieure de L'hydraulique ENSH-BLIDA.

[28] Lallemand B., 1995 : Méthodes de dépollution des eaux souterraines. Édition BRGM.

[29] http://www.actu environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/degrillage.php4 consulté le 7/04/2012

[30] MetmicheM., 2004: Environnement. Phénomènes de pollution et techniques de protection. Publication : Centre Universitaire de Béchar. Octobre 2004.

[31] SouikniN. et Seghiouer N., 2006 : Contribution à l'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans le grand Tlemcen (Tlemcen-Mansourah-Chetouane), Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur,Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen.

[32] http://WWW.goodplanet.info/goodplanet/index.php/fre/Societe/Sante/Sante

-et- environnement%28theme%29/290. Consulté le 26/03/2012.

[33] http//cerea.enpc.fr/fich/doc ENPC transport.pdf .Consulté le 25/01/2012.

[34] Bessedik M., 2010 : Coursde Développement durable et gestion intégrée des ressources en eau .Licenceen Hydraulique. Option : science et technique de l'eau.

[35] Christian N., 2004 : Déchets et pollution impact sur l'environnement et la santé. Edition Dunod, paris.

[36] HamidiM., 1997 : Etude de la vulnérabilité à la pollution et la propagation des polluants dans la nappe de Magnia. Ingénieur d'état en hydraulique urbain. Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen,

[37] JESTIN E.,La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires, Agence de l'eau seine-Normandie, Direction des bocages Normands 1, rue de la pompe ;(Jestin.emmanuel@aesn.fr)

[38] http://www.cipel.org/sp/IMG/pdf/Eaux-potables-camp-02.Consulté le 24/12/2011

Chapitre II :
Les procédés de traitement des eaux potables

II.1. Introduction

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée [1].

Pour parvenir aux résultats recherchés depuis l'obtention d'un liquide clair et limpide pour la consommation humaine jusqu'à celle de l'eau extra pur, il faudra appliquer seuls ou en combinaison différents types de traitements [2].

II.2. L'objectif du traitement des eaux :

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

L'agrément du consommateur. Qui est différent du premier point car une eau peut être agréable à boire toute en étant dangereuse (source polluée…) il s'agit des qualités organoleptiques, c'est-à-dire ce qui est perçu par les sens olfactifs de l'homme à savoir la couleur, l'odeur et le goût :

Un autre objectif de traitement est la protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usages (robinetterie, chauffe-eau…) contre l'entartrage (et/ou) la corrosion [3].

II.3. Procédés de potabilisation des eaux de surfaces :

Le processus de potabilisation des eaux de surface comprend généralement plusieurs étapes pour garantir que l'eau est sûre à boire. (Figure II.1)

Figure II - 1 : Chaîne de traitement de l'eau. (1- Captage, 2- Dégrillage, 3- Tamisage, 4- Floculation, décantation, 5- filtration, 6- désinfection, 7- traitement spécifique, 8- chloration, 9- stockage)

II.3.1. Prétraitement :

Les étapes de prétraitement sont appliquées aux eaux chargées de composés spécifiques ou en particules de grande taille susceptibles de perturber les procédés de traitement ultérieurs.

Les techniques de prétraitement sont multiples et varient selon la qualité de l'eau brute. À noter que ces procédés sont installés seulement s'ils sont nécessaires. Les principales formes de prétraitement sont présentées ci-dessous [4] :

II.3.1.1. Le dégrillage et le tamisage :

Avant son entrée dans la station de potabilisation, l'eau passe au travers de grilles qui arrêtent les corps flottants et les gros déchets. Il arrive parfois que des tamis soient installés pour retenir les déchets plus petits, le sable et le plancton. Les tamis sont espacés de plus de 40 mm pour un pré- dégrillage, et de 6 à 10 mm pour un dégrillage fin. Le tamisage présente quant à lui un écartement de 0,5 à 6 mm2.

Figure II - 2 : Dégrilleur automatique.

II.3.1.2. La préfiltration :

Le préfiltre est souvent utile pour protéger le compteur du volume d'eau brute entrant dans la station. Il doit permettre d'arrêter les particules supérieures à 200 µm.

II.3.1.3. Les filtres grossiers :

Ils sont utilisés pour le prétraitement d'eaux très turbides, avant que celles-ci ne soient acheminées vers d'autres procédés de traitement.

Ils fonctionnent en retenant les matières en suspension grâce à un lit filtrant composé de matériaux granulaires

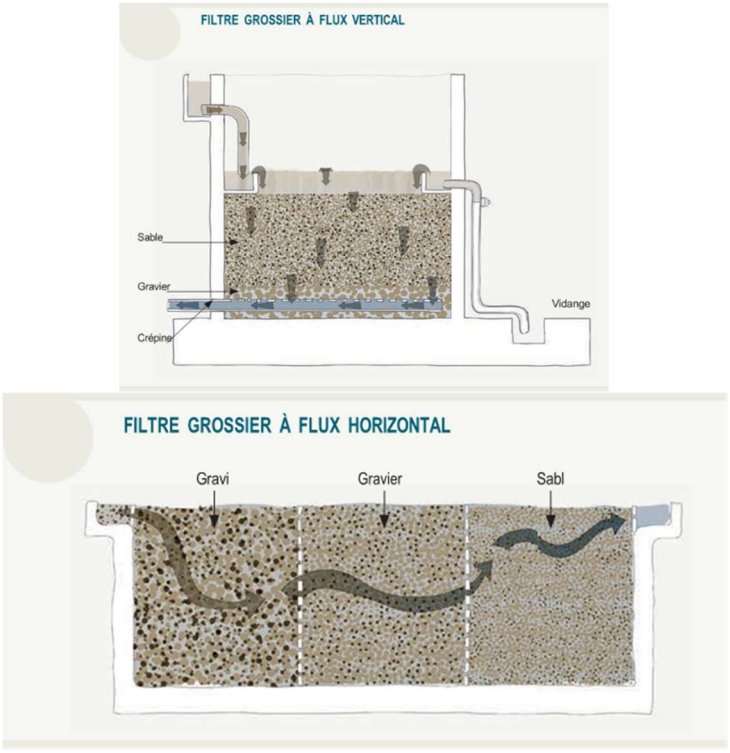


Figure II - 3 : les deux filtres grossiers

II.3.1.4. La pré-décantation :

Elle peut être nécessaire pour les eaux fortement chargées en MES (supérieures à 5 g/litres). Elle consiste à laisser se déposer ces particules (limons, argiles, etc.) en fond d'un réservoir sous l'effet de la pesanteur.

II.3.1.5. La pré-oxydation (aération) :

Elle a pour objectif l'élimination d'une partie de l'azote ammoniacal, du fer et du manganèse, ainsi que la réduction des goûts, couleurs et odeurs de l'eau. Elle s'effectue à travers l'extraction de certains gaz dissous, l'oxygénation de l'eau brute et la réduction des composés volatiles. Cette technique permet d'améliorer les performances du traitement ultérieur et de maintenir la propreté des installations.

II.3.2.Clarification :

C'est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organique. La clarification comprend les opérations de coagulation, floculation, de décantation et de filtration [5].

II.3.2.1. La coagulation :

Est définie théoriquement comme l'opération conduisant à la déstabilisation des particules colloïdales « stables » pour permettre enfin leur agrégation quand le contact a lieu et pour rendre ainsi la décantation ou la flottation plus performante. Techniquement, on la définit plus

simplement par « agitation rapide» ou « flash mixing ». Donc la coagulation permet également d'éliminer les matières organiques sous l'effet d'un coagulant [6]

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, et…) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1µm [7].

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le type de coagulant et la dose ont une influence sure :

- La bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée.
- Le bon ou mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration.
- Le cout d'exploitation [8].

Coagulants utilisés : les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et produire des flocs sont :

- Le sulfate d'Aluminium $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$.
- L'aluminate de sodium $NaAlO_2$.
- Le chlorure ferrique $FeCl_3.6H_2O$; Le sulfate ferrique Fe2(SO4)3.9H2O.
- Le sulfate ferreux $FeSO_4.7H_2O$ [8].

II.3.2.2. La floculation :

La floculation est l'opération conduisant à l'agglomération des particules déstabilisées par coagulation. C'est aussi le terme utilisé pour définir l'étude de la cinétique de cette agglomération. Techniquement, on la définit plus simplement par« agitation lente». Cette opération se situe donc toujours après une coagulation. [6]

Types de Floculant :

Pour choisir un floculant, il faut considérer la taille, la cohésion et la vitesse de décantation du floc. Comme pour les coagulants, le taux de traitement à mettre en œuvre est donné par essai de floculation [8].

- Polymères minéraux :

Tels que la silice activée (SiO_2), généralement associé au sulfate d'aluminium en eau froide. Polymères naturels : extraits de substances animales ou végétales : amidons, alginates (obtenus à partir d'algues marines).

- Polymères de synthèse :

Plus récents en apparition, ils ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation. Ils conduisent souvent à un volume de boue très réduit [8].

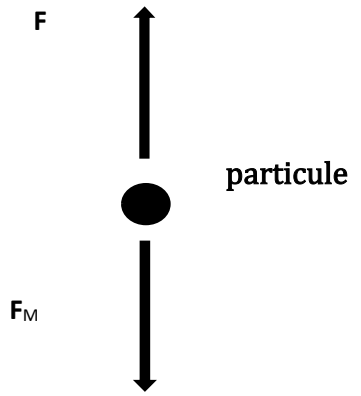
II.3.2.3. La décantation et la flottation :

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les flocs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux flocs. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur [9].

II.3.2.3.1. Principe de la décantation :

C'est un procédé utilisé pratiquement dans toutes les stations de traitement des eaux. Elle a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau.

Lorsqu'une particule grenue est laissée dans un liquide au repos, elle est soumise à une force motrice de viscosité et d'inertie. [13]



$F_L = C.S.\delta_f.v^2/2$

$F_M = ((\delta_s - \delta_f)\, gV$

C : coefficient de trainée.

V : vitesse de la particule.

V : volume du liquide.

S : surface de particule.

δ_S , δ_f : Masse volumique de la particule de fluide.

II.3.2.3.1.1. Loi de stokes

Loi de stokes permet de définir la vitesse relative de chute d'une particule sphérique donnée dans un fluide (eau) :

$$Vs = d^2\, g\, /18\mu\, (\delta_p\, /\delta_f\, - 1)$$

Ou :

Vs : vitesse de stokes.

μ : viscosité cinématique de fluide.

δ_p: la masse volumique de particule.

δ_f : la masse volumique de fluide.

II.3.2.3.2. Condition de capture des particules

II.3.2.3.1. Décantation a flux horizontale

Soit un décanteur horizontal simple, on appelle

S = L. l la surface utile du radier.

Les particules dont la vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascendante du liquide sont retenues.

L : longueur du bassin

l :largeur du bassin

H :hauteur du bassin

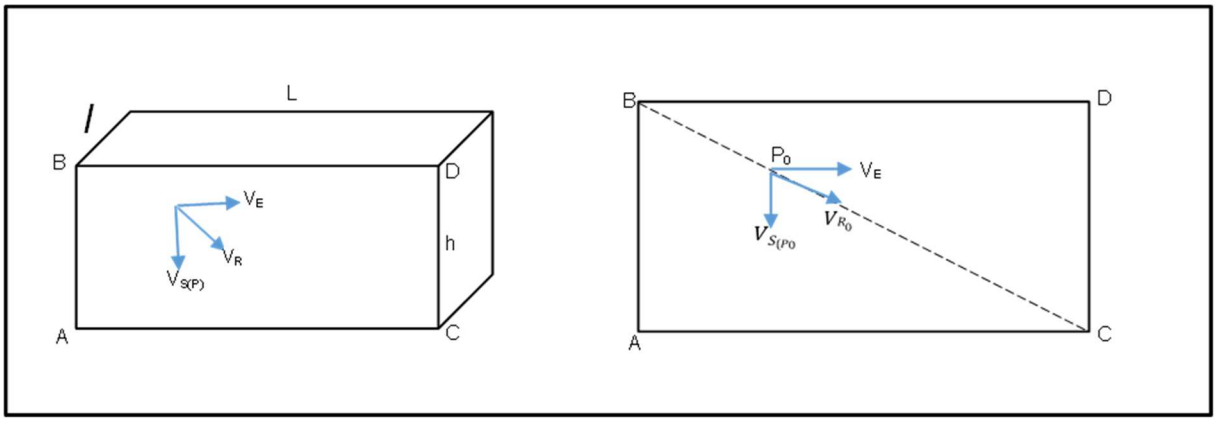


Figure II - 4 : décantation horizontale

II.3.2.3.2. Décantation a flux vertical

Dans le décanteur vertical simple, la vitesse de Hazen est égale à la vitesse ascensionnelle. La vitesse ascensionnelle est la vitesse de circulation de l'eau vers le haut dans la partie supérieure cylindrique de l'ouvrage.

La chute d'une particule obéit donc au schéma de la (figure N°4) [15] .

$$V_C = V_S - V_H$$

Avec

V_S : Vitesse de Stokes ou vitesse de chute théorique en statique.

V_H : Vitesse de Hazen dans l'ouvrage.

V_C : Vitesse de chute réelle.

Si $V_S > V_H \Rightarrow V_C$ Entraîne la particule vers le bas. Si $V_S < V_H \Rightarrow V_C$ Entraîne la particule vers le haut.

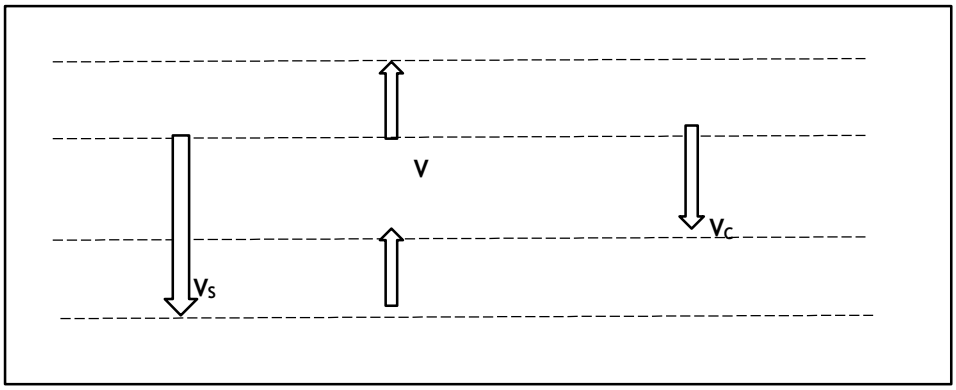


Figure II - 5 : Décantation verticale.

II.5.4.Les décanteurs :

Les décanteurs sont des appareils dans lesquels l'eau circule d'une manière continue, très lentement, de façon qu'elle puisse abandonner ses matières en suspension et colloïdales rassemblées dans les flocons formés dans le floculateur.
Les boues sont recueillies à la partie inférieure puis évacuées périodiquement ou par raclage continu si leur volume est important [15].
D'après leur forme extérieure et le sens de l'écoulement de l'eau, on peut distinguer deux types de décanteurs [16] :

-Décanteurs à écoulement horizontal, ou décanteurs couloirs :

L'eau circule sensiblement horizontalement et les flocons se déposent au fur et à mesure de la progression du floc vers la sortie de l'appareil. Les installations très importantes sont parfois équipées de décanteurs horizontaux à étages dans le but de multiplier les surfaces de décantation tout en maintenant une surface projetée au sol relativement faible. On trouve le décanteur : Rectangulaire et circulaire

-**Décanteurs à écoulement vertical** :

Dans les décanteurs verticaux, l'eau circule de bas en haut, c'est-à-dire en sens inverse de la chute des particules : la vitesse de chute de ces derniers doit donc être supérieure à celle de la vitesse ascensionnelle de l'eau. Ces types de décanteurs conviennent plutôt pour les faibles débits, à moins que l'eau à traiter ne renferme des flocons de fortes densités [15].

Il existe différents types de décanteurs parmi ceux il y a **les décanteurs classiques** et **les décanteurs lamellaires.**

- **Les décanteurs classiques** sont caractérisés par la surface de décantation égale la surface de base ;

- **Les décanteurs lamellaires :**

Un décanteur lamellaire est un décanteur à flux horizontal. L'inclinaison et la succession des lamelles dans la partie supérieure du décanteur permettent de diminuer la surface d'occupation du sol en augmentant la surface de décantation.
Les matières de vidange et les graisses sont généralement floculées avant d'être admises en décantation. L'eau et les « boues », par effet de densité, circulent en sens inverse : l'eau remonte le long des lamelles, et les boues s'accumulent dans le fond[17].

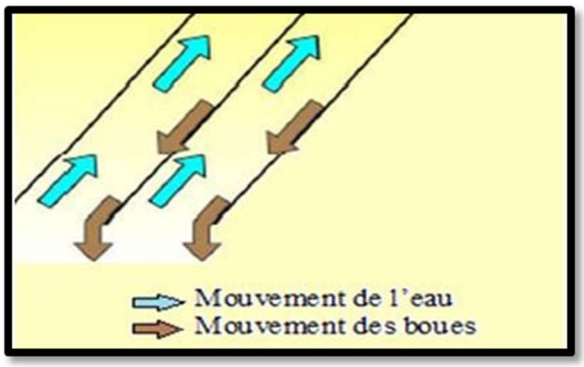


Figure II - 6 : Décanteur lamellaire à contre-courant [18].

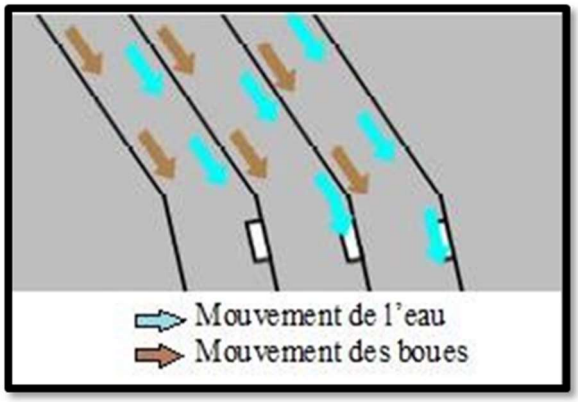


Figure II - 7 : Décanteur lamellaire à Co-courant [18].

Décantation lamellaire

La séparation lamellaire a permis une évolution importante de la technologie de décantation avec la conception d'installations beaucoup plus compactes.

La conception de ces appareils met à profit le fait que le rendement de séparation des matières en suspension ne dépend, en réalité, que de la surface du décanteur. Sa profondeur a peu d'influence sur ses capacités de décantation[19].

Dans ces conditions, si on considère un décanteur rectangulaire ou circulaire de surface Set de hauteur H, l'installation de N cloisons horizontales, le divisant en N compartiments superposés de hauteur (H/N), permettra de traiter dans chaque décanteur élémentaire le débit Q, soit au total un débit de N × Q [19].

La décantation lamellaire consiste donc, à multiplier dans un même ouvrage les surfaces de séparation eau-boue. Ainsi le positionnement de faisceaux lamellaires (tubes ou plaques parallèles) dans la zone de décantation crée un grand nombre de cellules élémentaires de séparation. Afin d'assurer l'auto-curage des matières sédimentées sur les plaques, il est nécessaire d'incliner les lamelles d'un angle par rapport à l'horizontale. L'inclinaison des plaques est généralement de 45 à 60°, leur espacement de 10 à 20 cm. Par conséquent, la surface effective ou équivalente de décantation du séparateur lamellaire sera égale à NS, c'est- à-dire à la somme de la projection de chaque plaque (de surface élémentaire S) sur l'horizontale (Figure II.7)[20].

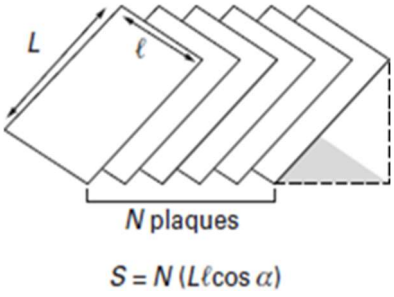


Figure II - 8 : Principe de la décantation lamellaire. Calcul de la surface équivalente

Pour le dimensionnement de ces ouvrages, le concept de la charge hydraulique superficielle reste applicable. On la définit comme étant le rapport entre le débit horaire Q(en m^3/h) passant dans l'installation et la somme des surfaces horizontales projetées des N décanteurs élémentaires constitutifs.

D'où : La vitesse limite de décantation V dans un élément est :

$$Vp = \frac{Q}{S.n.cos\alpha} = \frac{Q}{(Lxl).n.cos\alpha}$$

Avec :

L : longueur de la lamelle.

l : largeur de la lamelle.

N : nombre de lamelles.

α : angle d'inclinaison des lamelles par rapport à l'horizontale.

La décantation lamellaire fonctionne, pour des rendements d'élimination équivalents à la décantation classique, avec des charges hydrauliques superficielles très élevées de 10 à15 m/h. Le temps de séjour de l'eau est réduit à environ 10 à 12 min contre 2 h dans un décanteur classique[20].

De nombreux modèles de faisceaux lamellaires (ou lamelles) sont disponibles : plaques planes, plaques ondulées, tubes ronds, tubes carrés, chevrons, modules hexagonaux[21].

Selon la conception technologique des circuits hydrauliques, c'est-à-dire la circulation relative de la boue déposée et de l'eau clarifiée, on peut distinguer trois grandes familles de décanteurs à lames minces :

- **Contre-courant :** boue et eau circulent en sens inverse (Figure8).
- **Courants croisés :** boue et eau circulent perpendiculairement (Figure 9).
- **Co-courant :** boue et eau circulent de haut en bas (Figure 10).

Il est particulièrement important de signaler que, quelle que soit la conception technologique des appareillages, il est nécessaire d'implanter en amont des décanteurs à lames minces, des prétraitements de tamisage efficaces pour éviter tout risque de colmatage des plaques[19].

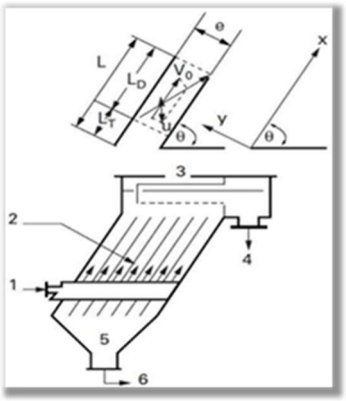


Figure II - 9 : Décantation lamellaire à contre-courant

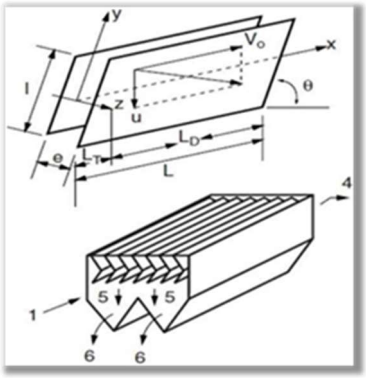
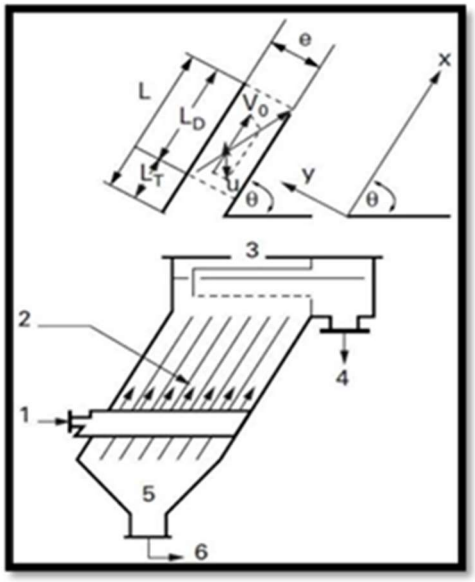


Figure II - 10 : Décantation lamellaire à courants croisé



1 - Entrée de l'eau floculée.

2 - Zone de distribution.

3 - Récupération de l'eau décantée.

4 - Sortie de l'eau décantée.

5-Fosse à boue.

6 Évacuation des

Figure II - 11 : Décantation lamellaire à co-courant

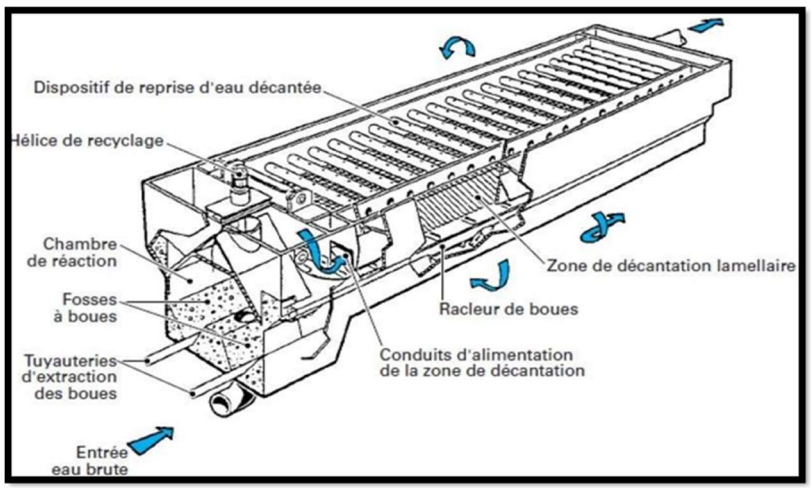


Figure II - 12 : Décanteur lamellaire (Degrémont)

II.3.2.4. Filtration

La filtration est un procédé physique disposé généralement après la décantation ou la flottation (notamment dans le cas des eaux de surface). Ce procédé peut être toutefois situé directement après une coagulation (cas des eaux souterraines karstiques) ou après une pré-oxydation (cas des eaux souterraines contenant du fer, du manganèse ou de l'arsenic). Il permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de la pré-oxydation. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines **karstiques**). La plus répandue est la filtration sur lit de sable (lit filtrant) [9].

II.3.2.4.1.Les types de filtration :

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement :

A) Filtres à sables rapides :

Ces filtres sont généralement les plus utilisées en traitement des eaux, ils sont appliqués après coagulation floculation et décantation. Ils sont caractérisés par leur débit spécifique important, par contre le colmatage des filtres se fait très rapidement. Lors d'une filtration rapide l'eau traverse la couche filtrante à des vitesses de 5 à 25 m/heure. Vu cette grande vitesse, il faut fréquemment laver les filtres sous peine de voir exagérément augmenter la perte de charge. C'est pourquoi ces filtres comportent toujours un système de lavage rapide et énergétique [10].

Figure II - 13 : filtre à sable

B) Filtres à sables lentes :

La filtration rapide a pour inconvénient qu'elle est une opération relativement complexe, nécessitant du personnel qualifié. D'autre part, la surface nécessaire à l'installation d'un filtre rapide est très réduite et les débits d'eau filtrée très élevés. La filtration lente assure l'épuration des eaux de surface, sans coagulation ni décantation préalable quand l'eau n'est pas trop chargée en matière en suspension. Elle consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de

matériau filtrant å une vitesse de 0,l à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. Un filtre de ce type est un filtre ouvert, constitué le plus généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier. Ce procédé a un avantage de produire une bonne qualité d'eau, par contre elle a plusieurs inconvénients :

- Elle occupe une grande superficie.
- Elle produit un débit de traitement faible.
- Elle est sensible au colmatage.
- Elle n'arrête pas la turbidité très élevée [10].

II.3.2.4.2. L'écoulement à travers le filtre à sable : [14]

La filtration étant l'écoulement d'un liquide dans un milieu poreux est régie, pour les vitesses usuellement appliquées en traitement d'eau, par la loi de DARCEY :

$Q = K * A * \Delta P / \eta \Delta H$

Avec :

Q : le débit traversant la couche filtrante (m3/s)

K : le coefficient de perméabilité (m/s)

ΔP: la perte de charge à travers la couche filtrante(m)

ΔH : hauteur de la couche considérée (m)

η : viscosité dynamique de l'eau (pa.s)

Donc l'écoulement à travers le filtre dépend à la fois, des caractéristiques du sol et du liquide.

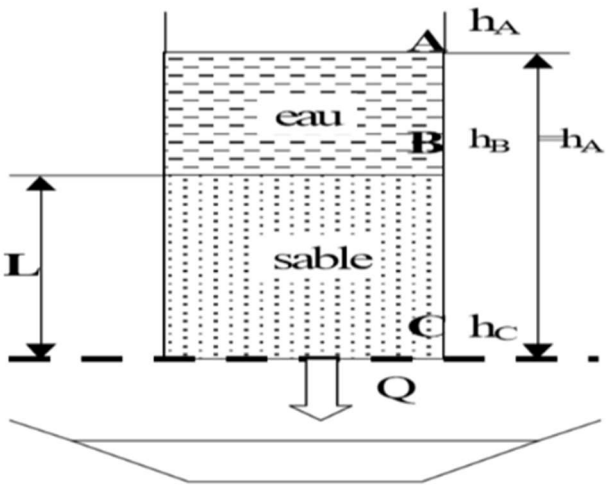


Figure II - 14 : L'écoulement à travers le filtre

II.3.2.5. Adsorption

L'adsorption c'est un phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour "récupérer" des molécules indésirables de fluide (liquides ou gazeuses) dispersées dans un solvant et qui sont responsables de la couleur, les goûts et les odeurs. La fixation provient de l'établissement, entre le solide et les molécules, de liaisons de Van Der Waals (liaisons de type électrostatique de faible intensité avec des énergies d'interaction entre 5 et 40 kJ mol). L'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif d'origine végétale ou minérale que nous retrouverons lors de l'étude de traitement des eaux destinées à la consommation humain [10].

II.3.3. Désinfection

II.3.3.1. Principe :

La plupart des microorganismes pathogènes est éliminée de l'eau lors des précédentes phases de traitement. Cependant, la désinfection de l'eau est encore nécessaire afin d'empêcher que l'eau potable soit nocive pour notre santé. La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies ; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides.

Les produits chimiques les plus utilisés sont :

- Le chlore
- Le dioxyde de chlore
- L'ozone
- Le brome
- L'iode
- Le permanganate de potassium.

On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques :

- Ébullition,
- Ultrasons,
- Ultraviolets
- Les rayons gamma [11].

1. La chloration

a) Usage du chlore :

Le chlore est l'un des désinfectants les plus utilisés. Il est facilement applicable et très efficace contre la désactivation des microorganismes pathogènes. Le chlore peut être facilement appliqué, mesuré et contrôlé.

Le chlore a été utilisé pour des applications telles que la désactivation des organismes pathogènes dans l'eau destinée à la consommation, dans les piscines, et dans les eaux usées, pour la désinfection dans le ménage des maisons ou pour le blanchissement des textiles.

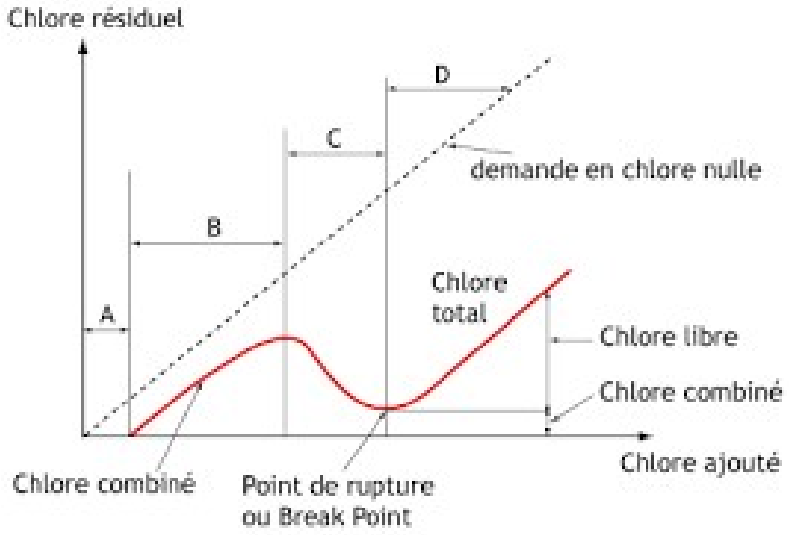


Figure II - 15 : courbe de désinfection

a) Définitions importantes :

Avant de présenter la théorie de la désinfection par le chlore, il est utile de définir les expressions ci-dessous [11].

Chlore résiduel libre: Chlore demeurant dans l'eau à la fin d'une période de contact déterminée, et qui peut réagir chimiquement et biologiquement comme acide hypochloreux ou ion hypochlorite.

***Chlore résiduel combiné*:** Partie du chlore résiduel total dans l'eau à la fin d'une période de contact donnée, qui réagit chimiquement et biologiquement en tant que chloramine.

***Chloramine* :** Produit résultant de la combinaison du chlore et de l'ammoniac d'origine organique ou inorganique. C'est un antiseptique que l'on préfère employer dans certains cas à la place du chlore pour la désinfection des eaux, notamment dans le cas où celles-ci contiennent des traces de phénols : il ne se produit pas de goûts de chlorophénols.

***Chlore résiduel total* :** Quantité totale de chlore, libre ou combiné, subsistant après le temps de réaction normal de l'eau à la chloration.

***Demande en chlore* :** Quantité de chlore pouvant être consommée par l'eau pour sa désinfection et pour la destruction des matières organiques. La demande pour une eau donnée varie avec la quantité de chlore ajoutée, le temps de contact et la température

Chloration au point de remontée ou chloration au point critique : Addition de chlore à l'eau jusqu'à ce que la demande de chlore soit satisfaite et que toute addition subséquente entraîne une teneur résiduelle directement proportionnelle à la quantité ajoutée au-delà du point de remontée.

Chloration marginale **:** Chloration assurant, après un temps de contact réduit, une certaine quantité de chlore résiduel ne respectant pas les normes de désinfection (pratique abandonnée).

Surchloration **:** Chloration au-delà du point critique, faite à des dosages délibérément élevés pour produire des concentrations résiduelles de chlore libre au combiné assez élevées pour exiger la déchloration.

Déchloration **:** Réduction partielle ou complète du chlore résiduel d'une eau par tout procédé physique ou chimique.

a) Aspects chimiques de la chloration :

Le chlore gazeux et les hypochlorites réagissent rapidement dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux, HOC1, qui est le produit actif dans la désinfection.

- **Réaction du chlore gazeux**

$C1_2 + H_2O \rightarrow HOCl + Cl^- + H^+$

- **Réaction de l'hypochlorite de sodium**

$NaOCl + H_2O \rightarrow HOCl + Na^+ + OH^-$

- **Réaction de l'hypochlorite de calcium**

$Ca(OCl)_2 + 2H_2O \rightarrow 2HOCl + Ca^{2+} + 2OH^-$

Les équations des réactions chimiques ci-dessus montrent que la différence principale entre les hypochlorites et le chlore gazeux concerne les produits secondaires. En effet, l'addition de chlore gazeux libère des ions hydrogène, H^+, ce qui abaisse le pH de l'eau, alors que l'addition d'hypochlorites libère des ions hydroxydes. OH^-, ce qui augmente le pH de l'eau.

d) Dosage de chlore :

Quand on dose le chlore on doit prendre en compte le fait que le chlore réagit avec des composés dans l'eau. La dose doit être assez importante pour qu'une quantité significative de chlore reste dans l'eau et permette la désinfection. La demande en chlore est déterminée par la quantité de matière organique dans l'eau, du pH, le temps de contact et la température. Le chlore réagit avec la matière organique pour donner des sous-produits de désinfection, tels que les trihalométhanes et les acides acétiques halogénés.

Le chlore peut être ajouté pour la désinfection de différentes manières. Quand une chloration ordinaire est appliquée, le chlore est simplement ajouté à l'eau et aucun traitement antérieur n'est nécessaire.

Un pré ou une post chloration peuvent être effectuées en ajoutant du chlore à l'eau avant ou après d'autres étapes de traitement. Rechlorination signifie l'addition de chlore à l'eau traitée dans un ou plusieurs points du système de distribution afin de préserver la désinfection. Pour tuer des bactéries peu de chlore est nécessaire; environ 0.2-0.4 mg/l. Les concentrations en chlore ajoutées à l'eau sont habituellement plus hautes, en raison de la demande en chlore de l'eau [11].

E) Efficacité du chlore :

Les facteurs qui déterminent l'efficacité de la désinfection au chlore sont les suivants : concentrations en chlore, temps de contact, température, pH, nombre et types de micro-organismes, concentrations en matière organique dans l'eau.

Tableau II - 1 : Temps de désinfection pour différents types de microorganismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de 1 mg/l (1 ppm) alors que pH = 7.5 et T=25°C

E. coli bacterium	< 1 minute
Hepatitis A virus	Environ 16 minutes
Giardia parasite	Environ 45 minutes
Cryptosporidium	Environ 9600 minutes (6-7 jours)

Désinfection par l'ozone :

L'ozone est un gaz extrêmement instable et un oxydant très puissant. Il n'a pas de pouvoir rémanent et donc ne dispense pas d'un ajout de chlore sur le réseau pour une action bactériostatique. L'ozone est fabriqué sur place à partir d'oxygène au travers d'un champ électrique créé par une différence de potentiel entre deux électrodes de 10 à 20 KV. L'oxygène provient soit d'air sec, soit d'oxygène pur de commerce. L'ozone est certainement l'oxydant le plus efficace sur les virus, le fer et le manganèse. Il ne donne pas de gout à l'eau, contrairement au chlore, qui oxyde fortement les matières organiques. Pour obtenir un effet désinfectant, les dosages recommandés sont de 2 à4 mg/l avec des durées de contact de 8 minutes. L'inconvénient majeur de l'ozone est son instabilité qui laisse l'eau sans protection contre les développements des bactéries et autres micro-organismes [13].

Désinfection par le rayonnement UV :

L'irradiation par une dose suffisante de rayonnement UV permet la destruction des bactéries, virus, germes, levures, champignons, algues, etc. les rayonnements UV ont la propriété d'agir directement sur les chaines d'ADN des cellules et d'interrompre le processus de vie et de reproduction des micro-organismes. Comme pour l'ozone, elle n'est pas caractérisée par un

effet rémanent. Chacun de ces produits possède un pouvoir désinfectant différent que l'on peut classer dans cet ordre : UV > Ozone > Chlore [13].

II.3.4. Affinage:

La présence de micropolluants, existant à la prise d'eau ou qu'ils se sont formés en cours du traitement, nécessite, en fin de chaine, un affinage qui, dans l'état actuel de la technique, fait appel soit au charbon actif seul, en poudre ou sur lit, ou en granulés, soit et c'est ce qui est préférable, aux actions associées du charbon actif et de l'ozone [12]

a) L'ozone

Outre son grand pouvoir désinfectant (élimination des virus et des spores bactériennes), permet l'oxydation de certains micropolluants organiques (pesticides, composés aromatiques …) et transforme les matières organiques naturelles (qui sont ensuite éliminées par le charbon actif biologique) en augmentant leur biodégradabilité [9].

b) Le charbon actif

Est un matériau poreux qui possède une très grande surface spécifique qui permet l'adsorption et la dégradation par voie microbiologique des matières organiques
Naturelles et des micropolluants organiques (notamment pesticides) [9].

Figure II - 16 : charbon active

Références Bibliographiques
Chapitre II

[1]- http://www.cnrs.fr. Consulté le 23/12/2011

[2] -EzzianeS., 2007: Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT «TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur: Université Hassiba Ben Bouali, Chlef. http://www.ing-dz.com.

[3] -Kettab A., 1992: Traitement des eaux (les eaux potables); Office des publications universitaires (OPU). Alger

[4]- Francois Enten,MarieCamus ,potabilisation des eaux de surfaces en afrique de l'ouest,guide pratique , la France , janvier 2020 .

[5]-Ayad.w, évaluation de la qualité physico-chimique d'el-Harouch (wilaya De Skikda),Thase,microbiologie appliquée, Université Badji Mokhtar-Annaba,2017.

[6] - Legube. B, production d'eau potable: Filières et procédés de traitement. Dunod, 2015.

[7]-Dahmanech, Zidoune. R, Utilisation des bio-coagulants pour le traitement des eaux potables. Master, Aménagement Hydro-agricole, Université Mohamed El Bachir El IbrahimiB.B.A.2020.

[8]-Hadjali. Y, impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station Plage EL Hilel (Ain Témouchent), Master, Ecologie et Environnement, Universite Aboubekr Belkaid Tlemcen, 2012.

[9]- Nesrine. B, analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia, Hydraulique, Master, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2017.

[10]: Selka. M, influence des particules argileuses sur la coagulation-floculation, Master, Hydraulique, Université Aboubekr Belkaid, 2013.

[11] :Dr.Bessedik Madani, traitement de l'eau, Université tlemcen alegerie

[12]: Sebih. W, Prétraitement des eaux moyennement saumâtre par filtration sur sable et filtration sur support, Master, hydraulique, Université Aboubekr Belkaid, 2013.

[13] : « DEGREMONT » 2005 mémento technique de l'eau 8ème Edition paris.

[14] : Yamina GHERAIRI, "Contribution à l'étude de l'efficacité de la filtration biologique sur sables de dunes filtration biologique sur sables de dunes", Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 21/02/2008.

[15] : DupantA., 1983 : Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles.

[16] : EzzianeS., 2007 : Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur ; Université Hassiba Ben Bouali, Chlef. http://www.ing-dz.com.

[17] : http://www.fnsa-vanid.org/docs/fnsa/publications/guide-traitement/traitement-des- dechets-assainissement.pdf .Consulté le 02/01/2012.

[18] : Ayse Tosun-Bayraktar. Traitement des eaux usées. http://industriesdesprocedes.perso.sfr.fr/mcme/EAUX USEES/1./pdf. Consulté le 23/03/2012.

[19] : Boureghda ., 2023 : Cours de traitement des eaux potables ; Master 2 en Ingénierie et gestion des eaux.UMBB.

[20] :Benrachdi K.,2022 : Cours de traitement des eaux ; Master 1 en Ingénierie et gestion des eaux.UMBB.

[21] : Raymond Desjardins,ing N., 1997 : Le traitement des eaux ., édition de l'école Polytechnique de Montréal, Canada 1997.

Chapitre III :
Coagulation-Floculation

III.1. Introduction :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très Faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En Effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir l m en chute libre peut être de plusieurs années. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste les déstabiliser.

IL s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La Floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ où filtration [1].

III.2. Les particules en suspension :

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois groupes suivants :

1. Les matières en suspension qui regroupe les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à1μm leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité ;

2. Les matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre 2,65 alors que celles d'origine organique ont unedensité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1, 1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 66600 années pour décanter de un mètre.

3. Les matières dissoutes, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre [2].

III.3. Les particules mise en jeu ; colloïdes :

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, etc.…) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1µm [3].

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles [1].

III.3.1. Les type de colloïdes :

Les particules colloïdales sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles [4].

III.3.1.1. Les colloïdes hydrophiles :

Les hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique [5].

Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules [6].

Parmi les substances de cette nature, on peut citer les protéines, les savons, la gélatine et la matière organique naturelle. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération [4].

III.3.1.2. Les colloïdes hydrophobes :

Les hydrophobes sont des micelles ou agrégats de molécules simples, dissoutes et qui comprennent la plupart des corps de la chimie minérale [5].

Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée. On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques [6].

Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles [3].

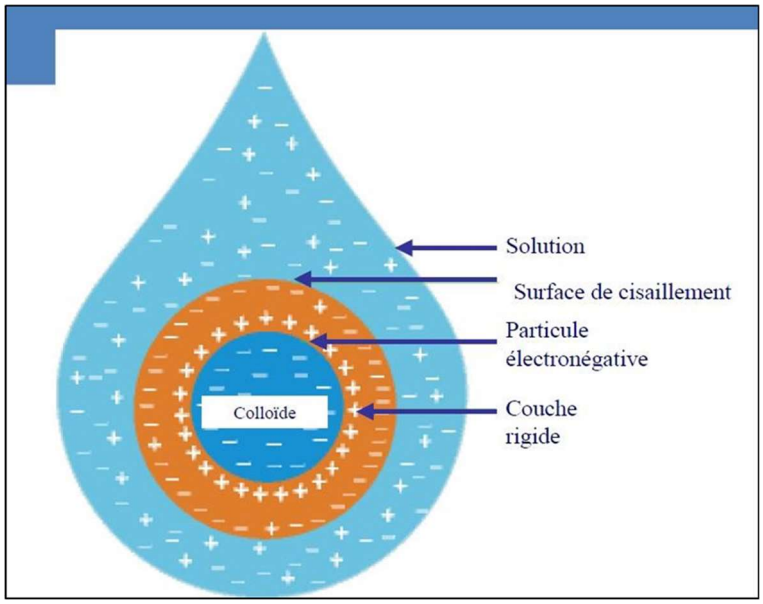


Figure III - 1 : La présence de charges à la surface de la particule

III.3.2. La théorie de la double couche :

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser

cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou

ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde.

Diverses théories expliquent ce phénomène [7] :

1- **théorie de Helmholtz** : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la

surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée) ;

2- **théorie de Gouy-Chapman** : la couche d'ions positifs est inégalement

répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande

distance (couche diffuse) ;

3 - **théorie de Stern :** est un compromis des deux précédentes. Elle considère la formation de la double couche. La première adhère à la particule et le potentiel décroit rapidement. La seconde est plus diffuse et le potentiel décroit plus lentement [17].

Un colloïde est caractérisé par 2 potentiels :

- Potentiel thermodynamique : appelé potentiel de Nernst présent à la surface même du colloïde [8].
- Et potentiel électrocinétique [8]: Ce potentiel mesuré au plan de cisaillement et appelée le potentiel Zêta.

Le plan de cisaillement est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule [4].

Pour une particule hydrophobe, ce plan est situé à la limite de la couche liée, alors que pour une particule hydrophile, il est situé à la limite extérieure de la couche d'eau liée à la particule [11].

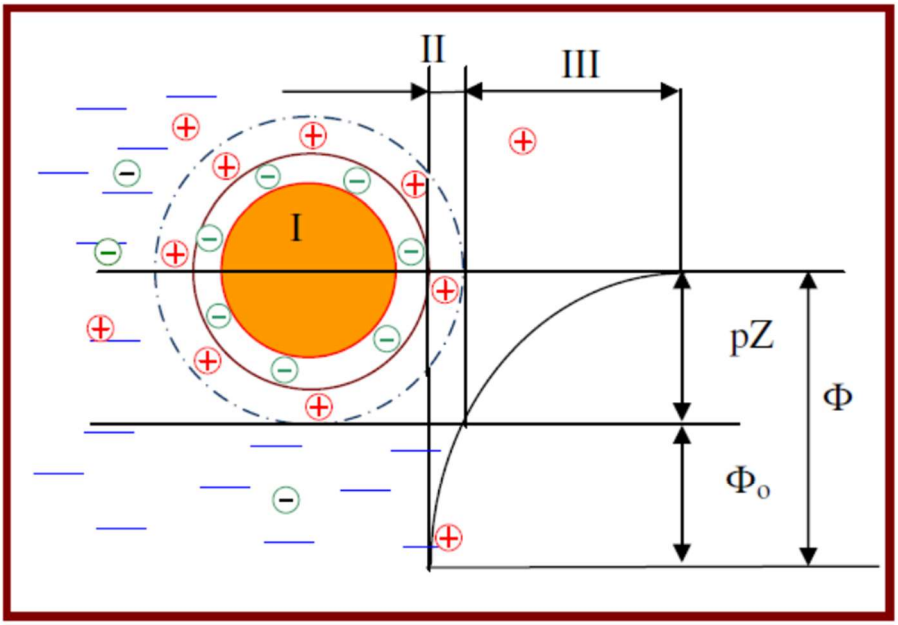


Figure III - 2 : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale [4].

I - Particule colloïdale

II - Couche adhérée de Stern

III- Couche diffuse de Gouy-Chapman

Φ : Potentiel total à l'interface

Φo : Potentiel différentiel dans la couche adsorbée

pZou Z : Potentiel zéta

Lorsque deux particules sont sur le point d'entrer en contact, elles sont essentiellement soumises à deux forces: la force d'attraction de van der Waals, et la force de répulsion électrostatique. Le potentiel de répulsion est défini par EB, et le potentiel d'attraction est défini par EA. La résultante des deux potentiels, E, traduit l'interaction énergétique nette qui existe entre les deux particules : E=EA+EB[2].

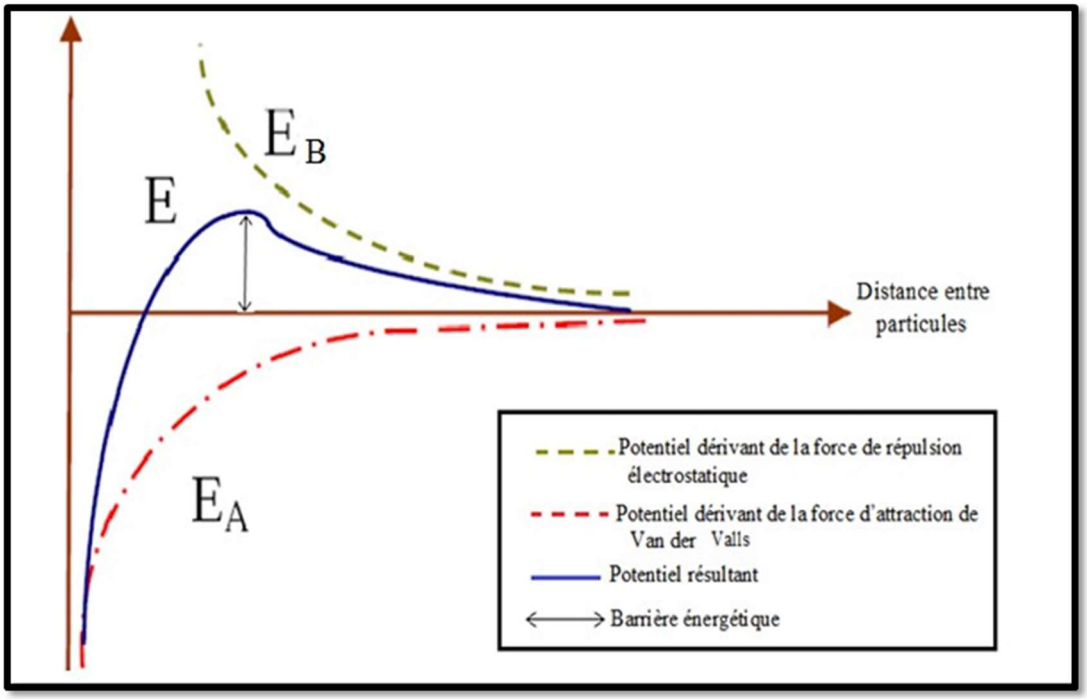


Figure III - 3 : Stabilité d'une suspension colloïdale

III.3.3. Le potentiel Zêta :

Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée [2].Ce potentiel est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale dû à la charge effective de l'ensemble particule-double couche. Quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuent [4].

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations [2].

On a le potentiel Zêta(Z) :

Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée [2].Ce potentiel est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale dû à la charge effective de l'ensemble particule-double couche. Quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuent [4].

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations [2].

On a le potentiel Zêta(Z) :

$$Z = \frac{k * \mu * me}{\varepsilon}$$

Avec :

k : fonction du diamètre de la particule ;

μ : viscosité dynamique (Pa.s) ;

me : mobilité électrophorétique ($\mu m .s^{-1}.v^{-1}$) ;

Ɛ : constante diélectrique du milieu.

On mesure ce potentiel par le Zétamètre [8].

III.4. La coagulation-floculation :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années [9].

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdales présente dans l'eau [4], puis formation de flocs par absorption et agrégation. Les flocs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [9].

III.4.1. La coagulation :

III.4.1.1. Le principe de phénomènes :

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer » [9].

Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants [9].

L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes [10].

Le procédé nécessite une agitation importante [9].

III.4.1.2. Les modes de déstabilisation des particules colloïdales :

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leurs agglomérations :

- Compression de la double couche ;
- Adsorption et neutralisation des charges ;
- Emprisonnement des particules dans un précipité ;

- Adsorption et pontage entre les particules [3].

III.4.1.2.1. La compression de la double couche :

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de van der Waals ne sont pas affectées. La force ionique est représentée par l'équation suivante:

$$\mu = \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{n} C_n Z_n^2$$

Avec :

μ= force ionique ;

Cn=concentration de l'ion n (mol/l) ;

Zn=valence de l'ion n [2].

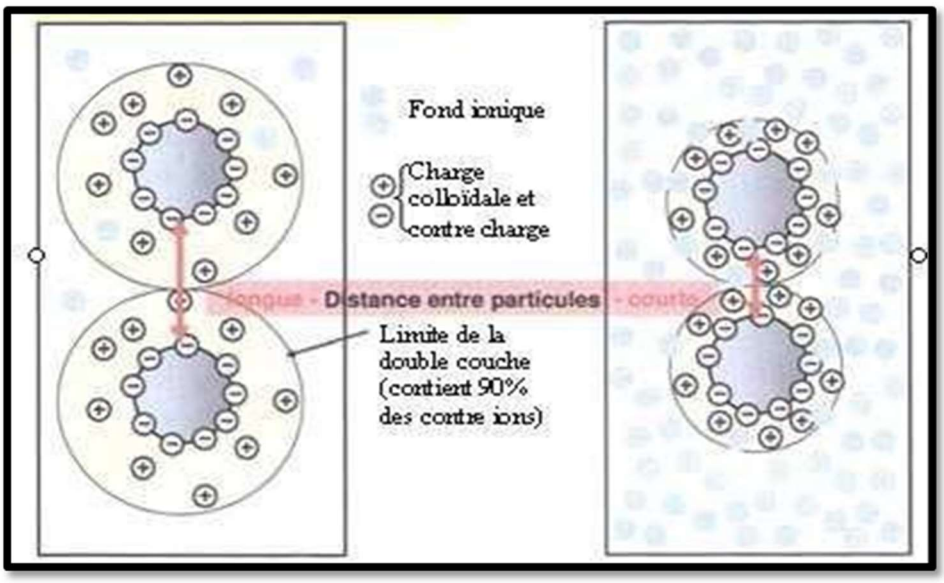


Figure III - 4 : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse [4].

III.4.1.2.2. L'adsorption et neutralisation des charges :

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées [3].

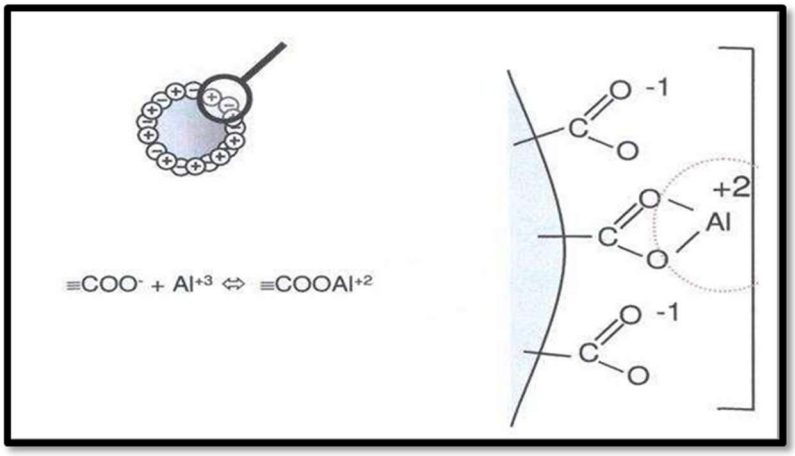


Figure III - 5 : Représentation schématique de neutralisation des charges [4].

III.4.1.2.3. L'emprisonnement des particules dans un précipité :

Pour déstabiliser les particules colloïdales. On peut en outre les emprisonner dans une particule de floc. Lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, Al2(SO4)3 ou FeCl3, on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc constitué de molécules de Al(OH)3 ou le Fe(OH)3 , possède habituellement une charge positive, la présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc, ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant nécessaire [11].

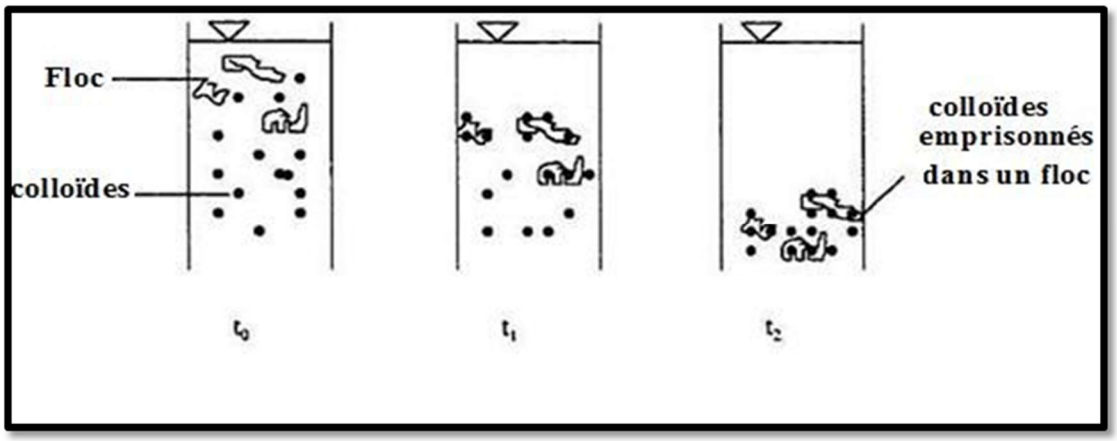


Figure III - 6 : Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation [4].

III.4.1.2.4. L'adsorption et pontage :

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non anioniques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale [3].

Ce phénomène, inexplicable à l'aide de la théorie électrique peut toutefois être expliqué par le pontage. Les molécules de polymères, très longues constituent des groupes chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales. Les molécules de polymères peuvent ainsi adsorber une particule colloïdale à une de ses extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules. On dit alors que les molécules de polymères forment des ponts. Entre les particules colloïdales, il peut y avoir réstabilisation de la suspension, réstabilisation imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule- molécule de polymère ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales, ce qui est encore contraire au but recherché [11].

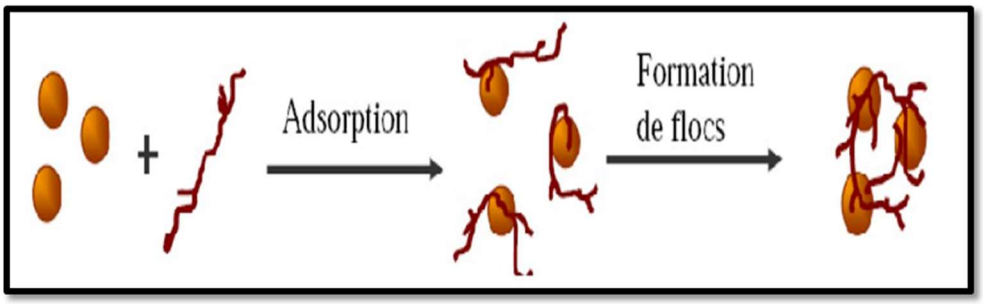


Figure III - 7 : Adsorption et pontage à l'aide de polymères [12].

III.4.1.3. Les coagulants utilisés :

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales. Les coagulants principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales [4].

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer [12]

Ils sont cités dans le tableau ci – dessous [7] :

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de Fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium (alun)	$Al_2(SO_4)_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

III.4.1.3.1. Les sels d'aluminium :

A. **Le sulfate d'aluminium** :

Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide $Al_2(SO_4)_3$ $18H_2O$ il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau [4].

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 15 à 100 g/m3 [13].

En effet, l'ion aluminium réagit sur l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la forme d'un floc volumineux

$$Al_2(SO4)_3 + 6H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

Il se forme un acide qui réagit avec le bicarbonate présent dans l'eau.

$$3\,H2SO_4 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 3CaSO_4 + 6H_2O + 6CO_2$$

La réaction globale est :

$$Al2(SO4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$ [4].

B. Le chlorure d'aluminium :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40 g/m3. La formule de réactif commercial de chlorure d'aluminium est $Al\,Cl_3, 6\,H_2O$

$$2Al\,Cl_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3\,CaCl_2 + 6\,CO_2$$ [13].

C. L'alumine de sodium seul :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 5 et 50 g/m3. La formule de réactif commercial d'aluminate de sodium est à 50% de Al_2O_3

$$Na\,AlO_2 + Ca(HCO_3) + H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + CaCO_3 + NaHCO_3$$

$$2Na\,AlO_2 + 2CO_2 + 4\,H_2O \longrightarrow 2NaHCO_3 + Al(OH)_3$$[13].

III.4.1.3.2. Les sels de fer :

En général, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces, grâces au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables [4].

A. Le sulfate ferrique :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferrique sera comprise entre 10 et 50 g/m3

$$Fe_2(SO_4)_3 + Ca(HCO3)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3Ca\,SO_4 + 6CO_2$$[13].

B. Le chlorure ferrique :

La dose de chlorure ferrique sera comprise entre 5 et 150 g/m3, pour la clarification des eaux de surface, et entre 50 et 300 g/m3t pour la clarification les eaux résiduaires.

$2Fe\ Cl_3 + 3Ca\ (HCO_3) \longrightarrow 2Fe\ (OH)_3 + 3CaCl_2 + 6CO_2$ [13].

C. Le sulfate ferreux :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferreux sera comprise entre 5 et 25 g/m3.

$Fe2\ (SO_4)_3 + Ca\ (HCO_3)_2 \longrightarrow Fe\ (OH)_2 + CaSO_4 + 2CO_2$ [13].

III.4.2. La floculation :

III.4.2.1. Le principe de phénomènes :

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers.

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules [11].

Ce phénomène est pour la formation de flocs de taille plus importante. On utilise, pour ce faire, des floculants.

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les flocs engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les flocs risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes [9].

L'expression de SMOLUCHOWSKY permet de comprendre ce phénomène. La formulation est la suivante [9].

$$\ln \frac{N}{N_o} = -\frac{4}{\pi}\ \alpha\ \Omega G t$$

Avec :

N et N_0 : nombre de particules colloïdales libres à l'instant t et t_0,

α : facteur de fréquence de collision efficace,

Ω: volume de particules par volume de suspension,

G: gradient de vitesse,

t: temps de contact .

III.4.2.2. Les types de floculation :

Pour arriver à la décantation des particules colloïdales coagulées, il est nécessaire de les passer par une opération de floculation. Cette floculation peut être faite à l'aide d'une de ces deux méthodes suivantes [3] :

- La floculation physique ;
- La floculation chimique.

III.4.2.2.1. La floculation physique :

Elle consiste à augmenter par la création d'une différence de vitesse entre les particules colloïdales déstabilisées, la probabilité des contacts entre ces particules afin de les agglomérer en flocs denses ensuite de les décanter. [3].

Deux mécanismes assurent la mobilité des particules : le mouvement brownien (floculation péricinétique); et le brassage mécanique (floculation orthocinétique) [2].

A. La floculation péricinétique :

Durant ce type de floculation, les contacts entre les particules sont causés par le mouvement brownien qui est en fonction de la température de l'eau [2 ; 11].

Le taux de variation du nombre des particules est exprimé par l'équation suivante :

$$F_p = \frac{dN}{dt} = -4\frac{\Gamma k\theta \ (N)^2}{3\eta}$$

Avec :

N : nombre de particules par m2 ;

Γ : facteur tenant en compte l'efficacité de collisions ;

K : constante de Boltzmann (1,38*10-23 J*K-1) ;

θ : température (K) ;

η : viscosité dynamique de l'eau (Pa*s).

Le taux de variation du nombre de particules, lors de la floculation péricinétique est important

lorsque la taille des particules est inférieure à 1 micron [2].

B. La floculation orthocinétique :

Ce type de floculation est fonction de l'énergie dissipée dans le fluide. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules. La vitesse du fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par le gradient de vitesse, G.

L'efficacité du processus est exprimée selon l'équation suivante lorsque le régime est turbulent :

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{2}{3}\,\Gamma\, G\, d^3\, N^2$$

Où :

G : gradient de vitesse (s^{-1}) ;

d : diamètre des particules (m).

Le gradient de vitesse est défini selon l'équation suivant :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Où

P : puissance réellement dissipée (W) ;

V : volume du bassin (m^3) ;

μ : viscosité dynamique de l'eau (kg/m*s) [2].

III.4.2.2.2. La floculation chimique :

C'est la floculation qui est provoquée par l'agitation de l'eau. Cette agitation facilite l'agrégation des particules par augmentation de la probabilité de collisions entre ces particules.

Elle consiste en une agglomération par pontage des particules colloïdales déchargées à l'aide de certains produits chimiques appelés floculants.

Lorsque la turbidité de l'eau est très élevée, la floculation peut être réalisée aussi par recirculation des boues déjà formées par le traitement antérieur pour que les particules colloïdales déstabilisées puissent s'accrocher avec ces boues et par conséquent puissent décanter. La floculation dans ce cas est dite par voile de boue [14].

III.4.2.3. Les floculants utilisés :

Les floculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé [9].

Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocs [15].

Les floculants peuvent être de trois natures différentes :

- Les floculants minéraux ;
- Les floculants organique ;
- Les floculants de synthèse [3].

A. Les floculants minéraux :

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les floculants connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certains hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et le sable fin (micro sable) [3].

B. Les floculants organique :

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent voir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides.

C. Les f floculants de synthèse :

Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire (entre 105 et 107). Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels. Ils sont classés suivant leur ionicité :

• Anionique : conçu à partir de polymère d'acrylamide et de l'acide acrylique ;

• Neutre : conçu à partir de polycrylamides ;

• Cationique : conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de dimethylamino-ethyle ou d'acrylate de dimethlamino-ethyle [3].

III.4.3. Les facteurs influençant la coagulation-floculation :

Afin d'optimaliser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation [11].

Ces variables sont liées à la qualité de l'eau à traiter : le pH, la turbidité, la couleur, les sels dissous et la température. D'autres sont liés au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection [4].

Les interrelations complexes entre ces facteurs interdisent actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants [11].

III.4.3.1. L'influence du pH :

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation sera faite rapidement qui est en fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. En cas où la coagulation produit hors de cette plage optimale, on propose soit à augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité [11].

Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont présentées dans le tableau suivant : [4]

Tableau III - 1 : Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium.

Forme prédominante	PH
$Al(OH)_3$	5,8 à 7,2
$Fe(OH)_3$	5,5 à 8,3

Une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes [9].

III.4.3.2. L'influence du la minéralisation :

- Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation et la floculation :
    - Modification de la plage de pH optimale ;
    - Modification du temps requis pour la floculation ;
    - Modification de la quantité de coagulant requis ;
    - Modification de la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent [11].

III.4.3.3. L'influence de la température de l'eau :

La température est un facteur physique important qui joue un rôle non négligeable lors la coagulation [16].

En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons [9].

On dispose de peu d'informations en ce qui concerne l'influence de la

température de l'eau sur la coagulation. Toutefois, l'expérience révèle que

durant l'hiver, lorsque la température de l'eau avoisine 0°C, le floc se décante

plus difficilement et a tendance à pénétrer plus profondément dans les filtres.

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de

sa viscosité; c'est ce qui explique les difficultés de décantation du floc. De plus,

pour une même vitesse de filtration, les force de cisaillement qui s'exercent sur

le floc sont plus important, ce qui en favorise le bris et l'entraînement dans le

filtre , ainsi que un retrisisement dela plage de PH optimale .On peut

surmonter de diverses manières les difficultés dues à une diminution de la température de l'eau:

a) On effectue la coagulation dans la plage de pH optimale pour cette eau à

cette température.

b) On augmente la quantité de coagulant, ce qui a pour effet d'accroître la probabilité de collisions entre les particules et d'élargir la plage de pH

optimale.

c) On augmente la turbidité de l'eau (par addition de glaise), afin d'alourdir le

floc, ou on ajoute un aide-coagulant (silice activée ou polyélectrolyte) pour

alourdir et renforcer le floc[18].

III.4.3.4. L'influence du coagulant :

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter [3].

On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale pour une eau donnée, qui après avoir effectués des essais en laboratoire la théorie qui explique les différents mécanismes de déstabilisation des particules colloïdales n'est pas suffisamment développée pour qu'on puisse résoudre un problème aussi complexe. Cette théorie est cependant très utile aux moments de la planification des essais de laboratoire et de l'interprétation des résultats obtenus.

Ainsi, même si le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimal plus large que celle due à l'alumine. De plus pour un même pH élevé, le sulfate ferrique est moins soluble que l'alun [1].

III.4.3.5. L'influence de l'agitation :

Le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes [4] :

La première étape c'est l'agitation énergique rapide de courte durée (2 minutes au maximum). Elle a pour but de favoriser la dispersion et l'homogénéisation des produits injectés dans la totalité du volume d'eau à traiter ; mais une agitation intense peut empêcher l'agrégation des particules.

La deuxième étape c'est l'agitation lente (30 à 60 min) et elle a pour but de provoquer les contacts entre les particules pour former des flocs décantables [16].

III.4.3.6. L'influence de la turbidité :

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation [45]. Elle est principalement due à la présence de particules de diamètre de 0,2 à 5 μm. Il s'agit donc là de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. [11].

L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie tout fois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile [13].

III.4.3.7. L'influence de la couleur :

Des études ont révélé que 90% des particules responsables de la couleur avaient de diamètre supérieur à 3,5 nm ; Ces particules sont donc des particules colloïdales les beaucoup plus petites que les particules responsables de la turbidité.

La plupart des particules responsables de la couleur possèdent des charges négatives à leur surface.

La quantité de coagulant requise est fonction de la couleur initiale ; pour un pH optimal, la couleur résiduelle décroit proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de coagulant utilisée. Le pH optimal pour l'élimination de la couleur varie entre 4 et 6 [11].

En général, la couleur d'une eau est due à la décomposition de matières organiques contenues dans l'humus des sols. Elle dépend donc d'une grande variété de composés organique, dont les substances humiques, lesquelles sont des polymères dont la masse moléculaire varie de 800 à 50000[19].

Des études ont révèle que 90% des particules responsables de la couleur avaient un diamètre supérieur à 3.5 nm ; ces particules sont donc des particules colloïdales beaucoup plus petites que les particules de glaise responsable de la turbidité (rappelons que le diamètre des

particules de glaise est de l'ordre 1µm). La plus part des particules responsable de la couleur possèdent des charge négatives à leur surface, dont l'intensité dépend du degré d'ionisation et du pH de l'eau [19].

On peut dire que les particules responsables de la couleur sont de natures organiques, hydrophiles, petites et chargées négativement. Les mécanismes qui permettent l'élimination de la couleur ne sont pas les mêmes que ceux utilisés pour celle de la turbidité. La quantité de coagulant requise est fonction de la couleur initiale : pour un pH optimal, la couleur résiduelle décroît proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de coagulant utilisée. Le pH optimale pour l'élimination de la couleur varie entre 4 et 6, alors que le pH optimal pour celle de la turbidité varie entre 6,5et 7,5 .Le pH optimal pour l'élimination de la couleur étant faible, on doit, dans certains cas , le rehausser avant la filtration , afin de faire précipiter les composés de fer et d'aluminium, qui sont solubles à des pH faibles [19].

III.4.4. La mise en œuvre de la coagulation- floculation :

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles. En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celles de la floculation. On distingue les deux phases suivantes :

- 1 ère phase : mélange rapide et vigoureux ;
- 2 éme phase : mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence crée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pâles ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de flocs sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différents de vitesse dans le bassin nécessaire à la rencontre des particules [1].

III.4.5. Les avantages et les inconvénients de la coagulation- floculation :

III.4.5.1. Les avantages [15] :

- L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, il y a donc beaucoup d'équipement déjà existant et une multitude d'agents chimiques disponibles ;
- Les systèmes de coagulation-floculation chimique sont généralement automatisés et demandent donc peu de surveillance et d'entretien. Une main-d'œuvre hautement qualifiée n'est souvent pas nécessaire ;
- Contrairement aux systèmes biologiques, ce système requiert moins d'espace et les coûts d'installation sont moins importants ;

- Une réduction significative est obtenue en terme de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus ;
- Les systèmes chimiques de coagulation-floculation peuvent être conçus afin d'obtenir un produit à valeur ajoutée.

III.4.5.2. Les inconvénients[15] :

- Puisqu'il y a plusieurs réactions en compétition dans ce type de système chimique et plusieurs degrés d'alcalinité en plus des autres facteurs influençant le procédé, il est particulièrement difficile d'établir les bons dosages. Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont donc nécessaires pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système;
- Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs, des normes de sécurité doivent être respectées afin que les travailleurs manipulent ces substances avec précaution;
- La présence d'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer et autres pathologies de ce genre. Il est donc toxique pour les écosystèmes. Le fer aussi est toxique pour la faune. Cette toxicité génère plusieurs inquiétudes au niveau du grand public;
- En eau froide, le processus est peu efficace;
- Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux .

Références Bibliographiques
Chapitre III

[1]: Cadot Ge 2005: Génie de Environnement Les traitements de l'eau Procédés Physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse février 2005.

[2]: Desjardins C_ 1999 :Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à

l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire pour l'obtention du diplôme de maitriseès

sciences appliquées, Ecole polytechnique de Montréal, Canada.

[3] : BoursaliI., 2011 :Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension .Mémoire d'ingénieur d'états en géologie ; Département des sciences de la terre et de l'univers. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers ; Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.

[4] : EzzianeS., 2007 : Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur ; Université Hassiba Ben Bouali, Chlef. http://www.ing-dz.com.

[5] : Kettab A., 1992 : Traitement des eaux (les eaux potables); Office des publications universitaires (OPU), Alger.

[6] : DesjardinsR., 1997 : Traitement des eaux ; Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2éme édition revue et améliorée.

[7] : BENHAMOU Abdellah DJEDIAI.h université des sciences et de la technologie d'ORAN ,2016, mohamed boudiaf Faculté de chimie département de génie chimique

[8] : DEGREMENT., 2005 : Mémento technique de l'eau, Tome I, Lavoisier, Paris.

[9] : Hernández De León H.R., 2006 : Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, Mémoire pour l'obtention de diplôme deDocteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.

[10] : Brahmi Z. et BenaissaN., 2010 : Influence de la coagulation floculation et décantation sur la qualité des eaux épurées de la station de Ain El Houtz ; Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique ; Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou BekrBelkaid,Tlemcen.

[11] : DesjardinsR., 1997 : Traitement des eaux ; Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2éme édition revue et améliorée

[12] LakhdariB., 2011 : Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz .Mémoire de magister en Chimie Inorganique et Environnement ;Département de Chimie ; Faculté des Sciences, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Décembre 2011.

[13] : Ahmed Ammar Y. et Benhaddou M., 2010 : Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate d'alumine des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie ; faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers. Département des sciences de la terre et de l'univers. Université AbouBekrbelkaid. Tlemcen.

[14] : DEGREMENT., 1972 : Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris.

[15] : Colin L et all., 2008 :Évaluationd'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles. Université du Québec; Ecole de technologie supérieure

[16] : BachiM. et AbdelliR., 2005 :L'influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation- floculation et décantation, Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, juillet 2005.

[17] : DELTALAB : Bultin technique du pilote de coagulation-floculation et décantation(TE 600).

[18] : kharifi,W 2009 ;Etude de la sinitique sédimentation des matières de suspension dans le calcul de décanteur ;Mémoire Faculté des sciences de l'ingénieur Année 2009 Département d'Hydraulique ; UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA

[19] : Raymond Desjardins, Le traitement des eaux, Édition de l'École Polytechnique de

Montréal, 317 pages,1997.

Chapitre IV

Présentation de la station de traitement de l'eau SEAAL, BOUDOUAOU

IV.1 Introduction

Mon stage pratique a été effectué chez la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), au niveau de son centre de traitement Boudouaou qui appartient à l'Unité EST de production, pour une période allant de 18 Février 2024 jusqu'à 20 Avril 2024, ce stage est déroulé et développé sur le laboratoire de contrôle de process de la station de potabilisation de centre de Boudouaou, cette étude porte sous un thème : « Etude comparative de l'efficacité de deux coagulants sulfate d'alumine ($Al_2(So_4)_3$) et le chlorure ferrique ($FeCl_3$) pour le traitement de l'eau station Boudouaou SEAAL.

IV.2 Présentation de la société SEAAL

IV.2.1 Profil

La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), est une Société Publique par actions dans la Capitale.

- SEAAL : « Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger »
- • Forme juridique : Société Par Actions (SPA) au capital de 1.741.000.000DA
- • Siège social : 97 Parc Ben Omar, Kouba, Alger
- • Actionnaires : 70% Algérienne des Eaux (ADE) et 30% office National de l'Assainissement (ONA).

La principale mission de SEAAL est de : « Production et Distribution d'Eau Potable, Collecte et Traitement des effluents, Gestion Clientèle pour le périmètre SEAAL », produire et de desservir en Eau potable les wilayas d'Alger et de Tipasa, et de collecter et traiter les Eaux usées au niveau de ces deux périmètres. Dans le périmètre défini, les produits et services destinés aux clients sont conformes aux attentes et aux spécifications internes et externes. Les produits et services de SEAAL sont :

Processus	Produit	Service
EAU POTABLE	Eau Potable	Services de Production / Distribution
ASSAINISSEMENT	Effluent traité	Services de Collecte/ Traitement
CLIENTELE	Facture	Accès aux services d'écoute

Afin de satisfaire les clients d'ALGER et TIPASA, le périmètre a été élargi aux Wilayas limitrophes, à savoir :

1- TIZI OUZOU avec la station de traitement en EP de Taksebt, ainsi que le système de transfert SPET ;

2- BOUMERDES avec la station de traitement en EP de Boudouaou, ainsi que la SP de Beni Amrane et les conduites de transfert SPIK et SPET ;

3- BLIDA avec les deux champs de captage Mazfran1 et Mazafran2, exploités par SEAAL, refoulent vers les 03 réservoirs de 10 000 m3 chacun, situés au domaine Reguieg Kaddour dans la commune de Mahelma.

Le management de l'entreprise a été confié, pour une durée déterminée à un leader international de la gestion des services de l'Eau et de l'Assainissement, " SUEZ Environnement " :

- *Le contrat 1 a été signé le 28 novembre 2005, en présence de Mr Jean-Louis CHAUSSADE, Directeur Général de SUEZ Environnement, et des Autorités Algériennes. Le contrat est opérationnel du 1er mars 2006 au 31 août 2011* ***;*** *et a été renouvelé à plusieurs foins ; le 1er renouvelé étais en septembre 2011 :* ***Contrat_2 SEAAL : (2011 - 2016), et les Avenants de SEAAL_2 ;*** *La troisième :* ***Contrat_3 SEAAL*** *qui été expirée en mois d'août 2021.* La SEAAL a désormais entièrement les commandes de la gestion de la distribution de l'eau après l'expiration du contrat de gestion des services publics de l'eau et de l'assainissement avec le groupe français Suez, renouvelé à trois reprises, mettant ainsi fin à la gestion déléguée**.**

Figure IV - 1 : Profil de la SEAAL avant : Août 2021

IV.3 Présentation de lieu de stage

IV.3.1 Description générale du centre de traitement Boudouaou

Située à l'Est de la capitale, se localisé dans la wilaya de BOUMERDES entre la ville de BOUDOUAOU et d'OULED MOUSSA. Le centre de traitement eau potable BOUDOUAOU,

appartiens à l'Unité EST de périmètre de la production de la SEAAL, qui fait partie du système appelé SPIK (Système de production ISSER-KEDDARRA) se compose des structures suivantes :

- Une station de traitement des eaux potables : Capacité 6.25 m^3 /s ;
- ✓ Une station de pompage d'eau traitée SPIK vers une certaines localités de wilaya de Boumerdes;
- ✓ Un laboratoire process *(son rôle est le Suivi de process de traitement)*, pour le suivie et le contrôle d'eau quotidien à l'entrée et à la sortie de la station avant d'être distribué aux consommateurs.
- Une station de pompage BENI AMRANE : capacité 7 m^3 /s ; qui pompe l'eau brute soit :
  - ✓ Directe vers la station de traitement.
  - ✓ Vers Barrage de KEDDARA.
- Deux autres réservoirs de 25.000 m^3 chacune qui accueillent les eaux de TAKSEBT *(traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou)*, qui arrive à ce réservoir *(implanté sur le site de Boudouaou)* par le billet d'un réseau de transfert.
- ✓ Un réseau d'adduction PK0 (Sortie de la station de traitement) à PK25 [gué de Constantine et EL HARRACHE], géré et exploité par le service réseau de centre de Boudouaou.

IV.3.1.1 Objective de centre et ses principaux services

La station de traitement des eaux potables BOUDOUAOU, doit assurer et fourniture une eau en quantité et de qualité à un coût acceptable, pour desservir les besoins du grande Alger et BOUMERDES, la SEAAL en tant que producteur d'eau potable et dans l'objectif de fournir à la fois la quantité et la qualité demandées, a mis en place des services dans différents métier et gestion visant à améliorer la performance et l'efficacité de centre, afin d'assuré la quantité et la qualité de l'eau traitées tel que : Service exploitation, Service Maintenance, Service laboratoire et qualité, Service Réseau d'adduction d'eau (brute et traitées) ; service santé et sécurité au travail

IV.3.2 Considérations générales de la station de potabilisation de Boudouaou

Mise en service avril 1987, la station de traitement d'eau de Boudouaou est, historiquement, la plus importante infrastructure de production des eaux conventionnelles alimentant la Capitale. Elle fait partie du système SPIK (Système de Production Isser- Keddara) et est alimentée à partir du barrage de Keddara (capacité 142 Millions m^3), lui-même principalement alimenté par pompage depuis le barrage de Beni Amrane (capacité 16 Millions m^3), approvisionné par l'oued Isser et, et l'eau de Barrage HAMIZ, Ce barrage construit pour l'irrigation permettrait de transférer théoriquement et par gravité 20 millions m^3/an vers le barrage de Keddara. Et en dépannage, par délestage du barrage de Koudiat Accerdoune (capacité 640 Millions m^3).

IV.3.2.1 Localisation géographique

La station de production d'eau potable de Boudouaou, se situe à 7 Km du barrage de KEDARRA, se localisé géographiquement dans la wilaya de BOUMERDES entre la ville de BOUDOUAOU et d'OULED MOUSSA, précisément à 8 km au sud de BOUDOUAOU et 40 km à l'est d'Alger. Cette station est délimitée par :

- ✓ CORSO : au nord.
- ✓ KEDDARA : au sud.
- ✓ THENIA : à l'est.
- ✓ REGHAIA : à l'ouest

Figure IV - 2: Photo sur Google de la station de traitement.

IV.3.2.2 Les principales caractéristiques de la station de potabilisation

- Année de mise en service : avril-1987.
- Capacité de traitement/production : 540.000 m³/j.
- Superficie de : 17 Hectares.
- Capacité de stockage : 100.000 m³. (et deux autres réservoirs de 25.000 m^3 chacune qui accueillent les eaux de TAKSEBT (traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou), via un réseau de transfert : Tizi-Ouzou---→Boumerdes--→Boudouaou).

- L'eau Brute *(l'eau de surface de barrage KEDDARA)* d'appoints de la station subie une chaine de traitement conventionnelle *(clarification conventionnelle)*, suivie d'un contrôle quotidien à l'entrée et à la sortie de la station avant d'être distribué aux consommateurs.

- La chaine de traitement elle est composée de deux filières de traitement identiques. Chaque filière comporte 3 Décanteurs lamellaires type pulsator et 8 filtres à sable Aquazur V double cellules. Ressources de la station de Boudouaou

IV.4 Ressources de la station de Boudouaou.

IV.4.1 Captage et Origine des eaux brutes superficielles du système SPIK

La station de Boudouaou peut être alimentée à partir des eaux provenant de trois barrages à savoir :

IV.4.1.1 Barrage de Hamiz

Ce barrage construit pour l'irrigation permettrait de transférer théoriquement et par gravité via une galerie : 20 millions m3/an vers le barrage de Keddara. A noter qu'afin de palier la baisse alarmante du niveau de remplissage du barrage de Keddara en l'année de 2021, Un projet de raccordement d'une conduite ONID DN400 a été réalisé en Avril.2021, par piquage sur la conduite d'irrigation qui passe près de l'usine Boudouaou, cette conduite va Transfert et amener l'eau de ce barrage sur l'ouvrage d'arrivé de de la station de traitement : Avec un débit allant de [1005 m^3/h, à 1200 m^3/h, qui passe à l'ordre de 1700 m^3/h]. Cette réalisation a comme objectif l'augmentation du volume d'eau brute arrivée station de Traitement Boudouaou.

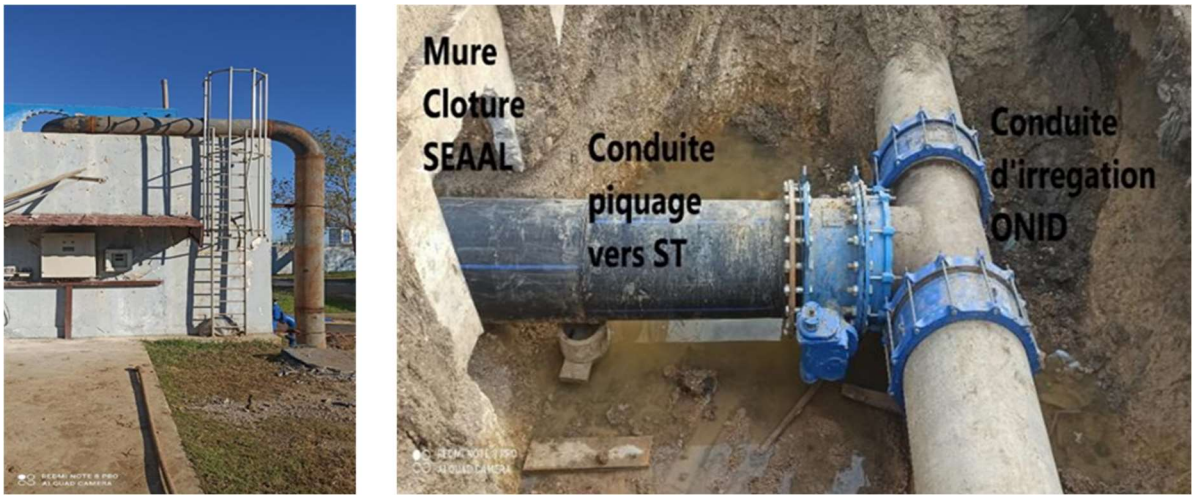


Figure IV - 3 : Photo illustré le projet ONID-SEAAL

IV.4.1.2 Barrage de Beni-Amrane

L'oued Isser alimente le barrage de Beni-Amrane qui possède une capacité de 16 millions de m^3. Ce barrage comporte une station de pompage permettant de relever 7 m^3/s *(composée de 6 pompes, Chaque pompe a une capacité de 1,17 m^3/s)* vers le barrage de Keddara. Il est théoriquement possible de court-circuiter le barrage Keddara pour alimenter directement la station de Boudouaou à partir du Barrage Beni Amrane via sa station de pompage.

IV.4.1.3 Barrage de Keddara :

D'une capacité de 142 millions de m^3, le barrage de Keddara constitue la réserve principale en recevant les eaux de :

- Son propre bassin versant 20%, La structure du bassin versant est composée de 02 queux (oueds), oued EL HAD et L'oued KEDDARA.
- Eaux du barrage Beni-Amrane.
- Le trop-plein du barrage Hamiz.
- Et en dépannage, par délestage du barrage de Koudiat Accerdoune (capacité 640 Millions m^3) :

Le barrage de Koudiat Acerdoune est un barrage de type poids, sur l'oued Isser au niveau de la commune de Maala, dans la wilaya de Bouira, qui lâché environ 30 000 000 millions m^3/an, via le Cours d'eau d'Oued Isser vers barrage de BENI-AMRANE qui sera pomper soit vers Keddara, soit directe vers la station.

Le barrage Keddara alimente par gravité la station de traitement située à 7 kms environ via deux conduites de 2000 mm au départ du barrage, puis 1500 et 1200 mm à l'arrivée de la station en servers via les 4 conduites 1000 mm qui portes la vanne obturatrice à disque sur l'ouvrage d'arrivée. Le barrage Keddara fait office de pré-décanteur et améliore sensiblement la qualité des eaux grâce à sa capacité épuratoire naturelle.

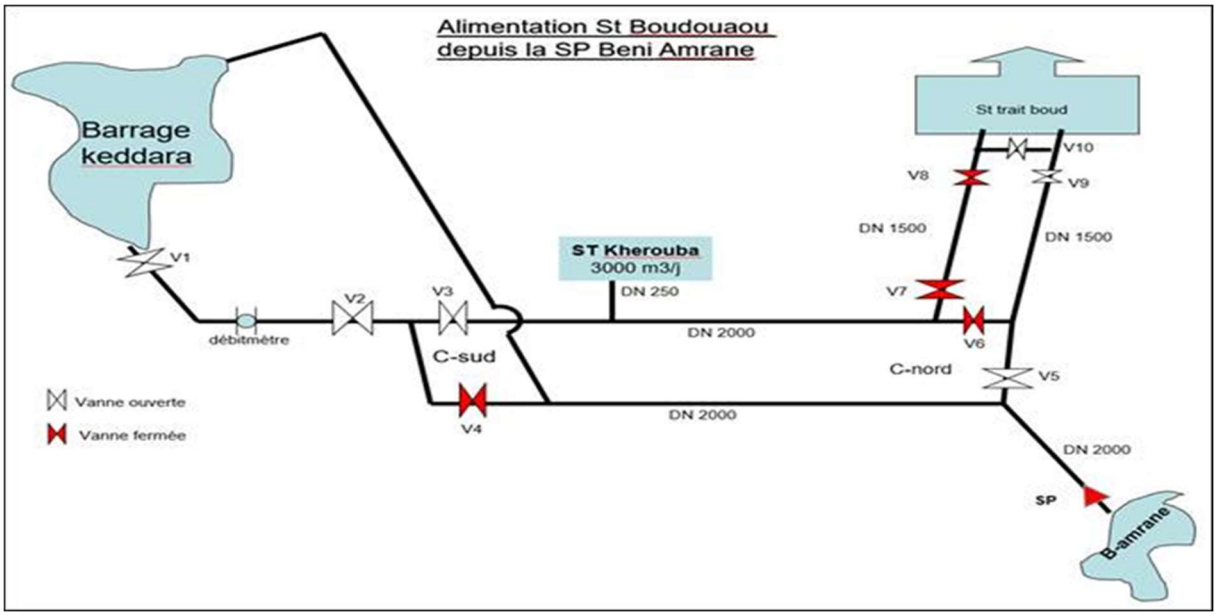


Figure IV - 4 : Schéma générale système SPIK / pompage directe Béni Amrane-station de traitement

IV.5 Transfert d'eau brute vers la station via Barrage Keddara

L'alimentation de la station est assurée par les eaux du Barrage KEDDARRA principalement, la station est implantée à la côte 87.50 m NGA (Arrivée Eau brute). Le barrage de KEDDARRA Situé à 7 km au sud de la station de traitement. Le point de départ vers l'usine de traitement est composé de 03 prises via le barrage Keddara, qui sont exploités selon le taux de remplissage, et qualité admissible sur le barrage.

a) 88.08 mètres prise inférieur.
b) 117.08 mètres prise intermédiaires.
c) 131.07 mètres prise supérieur.

Le transport de l'eau brute vers l'usine se fait via deux conduites *(Nord et Sud)* :

- Diamètre de départ 2000 mm *(Une conduite départ Barrage)*.
- Diamètre du long de réseau 1500 mm.
- Diam ètre entré station de traitement 1200 mm.

Figure IV - 5 : Photo Google illustré les prises de barrage Keddara

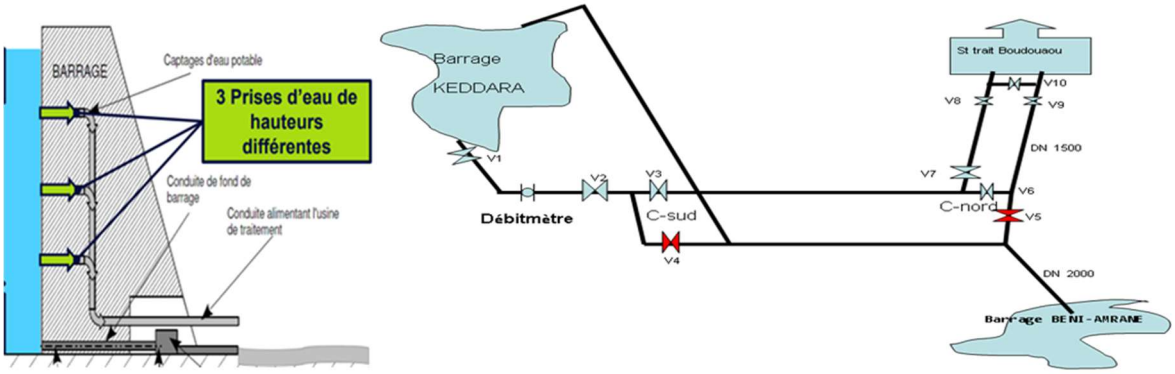


Figure IV - 6 : Schéma générale système SPIK / Transfert Barrage Keddara vers la station

IV.6 Principaux installations et ouvrages de la station

La station de Boudouaou comporte :

- **Un ouvrage d'arrivée d'eau brute**

L'ouvrage d'arrivée est constitué de l'amont vers l'aval de 3 chambres à savoir :

- ✓ Une Chambre des obturateurs doté de quatre obturateurs a disque *(vannes a disques motorisée : régulation de débit)*,
- ✓ Une chambre de mélange (addition des différents réactifs chimiques nécessaire au traitement de l'eau).

- ❖ Une chambre de répartition permet de répartir l'eau sur deux filières de traitement hydrauliquement équilibrées chaque filière reçois un débit maximal : 270 000 m^3/j. **Deux lignes de traitement**

La station Comporte 2 filières de traitement identiques chacune comporte 3 décanteurs lamellaires type PULSATOR et 8 filtres à sable AQUAZUR V, en outre deux lignes de by-pass des décanteurs (si la qualité des eaux brutes sont légèrement dégradées : Coagulation-floculation-filtration).

- ❖ **Deux réservoirs semi-enterrés chicanés**

Chacun a une capacité 50000 m^3 /j pour stocker l'eau traitée de la station.

- ✓ Une chambre de répartition d'eau traitée vers les deux compartiments du réservoir : sur laquelle on trouve un point d'injection de la chaux pour l'ajustement du pH *(pH d'équilibre : calco-carbonique)*.

- ❖ **Bâtiments chimiques**

Comportent les préparations et dosage de : coagulant ---→Sulfate d'alumine, floculant ---→ Poly-électrolyte anionique et permanganate de potassium.

- ➢ D'autres ouvrages et bâtiments à titre indicatif tel que : Bâtiment d'exploitation, bloc administrative, salle de contrôle, laboratoire de process, Hangar de stockage des produits de traitements, TGBT et groupe électrogène, ateliers maintenance, bâtiment chlore gazeux, bâtiments compresseurs d'air et surpresseurs …etc. ;

- ❖ **Des installations de stockage et de préparation et dosage des différents produits de traitement**

Tel que : L'acide sulfurique, chlore *(chlore gazeux, l'hypochlorite de calcium et l'hypochlorite de sodium)*, charbon actif en poudre, la chaux.

Ci-après le **Tableau 4.1 :** qui récapitulatif les produits de traitements mise en œuvre dans le traitement d'eau potable de la station de Boudouaou.

Tableau IV - 1 : Les produits de traitements mise en œuvre dans la station traitement

Nom usuel	Forme chimique	Rôles dans la filière de Traitement
Chlore gaz	Cl_2	Pour le traitement de : Pré-chloration, désinfection ; Assurer une oxydation chimique (algues, ammonium, fer, Mn ...) Désinfection : rôles bactéricide et bactériostatique

Permanganate de potassium	$KMnO_4$	Pour le traitement d'oxydation de fer et manganèse en cas de présence en fortes concentration
Hypochlorite de calcium	$Ca(ClO)_2$	Pour le traitement de: Pré-chloration, désinfection; Assurer une oxydation chimique (algues, ammonium, fer, Mn….) Désinfection : rôles bactéricide et bactériostatique
Hypochlorite de sodium	$NaClO$	
Charbon Active en Poudre		Pour traitement d'adsorption afin de faire face à une pollution accidentelle. Son emploi c'est étendu à l'élimination de nombreux polluants et micropolluants tels que : Phénol, Hydrocarbures, Détergents, Pesticides De plus, il sert à améliorer les quantités organoleptiques d'une eau en éliminant les matières organiques responsables de goût, d'odeur et de couleur.
Sulfate d'Alumine	$Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$	Comme coagulant pour Assuré la coagulation (déstabilisation des particules en suspension)
Acide sulfurique	H_2SO_4	Corriger la valeur du pH de l'eau brute (diminution), ramené le pH de l'eau brute au pH optimale de coagulation –floculation
Poly-électrolyte anionique	Industriel, Synthétique	Comme floculant pour le traitement de floculation/ Augmenter la taille du floc Augmenter la vitesse de décantation Augmenter la cohésion des boues Injection en aval de la coagulation
La Chaux Hydraté (Eteinte)	$Ca(OH)_2$	Lait de chaux (Solution concentrée de chaux utilisée directement) : pour Corriger la valeur du pH de l'eau brute (diminution), ramené le pH de l'eau traitée au pH d'équilibre

IV.6.1 Les différents ouvrages de traitement

A. Les principaux ouvrages de la station d'eau potable de Boudouaou sont divisés en 4 grandes parties. **Chambre des obturateurs**

L'eau brute est admise par gravité sur deux conduites fermée *(Nord et Sud)* par l'intermédiaire de deux canalisations Ø 1 200, d'arrivée d'eau brute sur la station de traitement, la pression peut atteindre les 06 bars, qui est en fonction du niveau des eaux du barrage ainsi que des débits prélevés Chaque conduite aboutit dans un ouvrage unique d'admission de l'eau brute par l'intermédiaire de quatre obturateurs à disque motorisés (deux par conduite) qui permettent :

- De dissiper l'énergie acquise par les eaux,

- De réguler les débits selon les besoins de production,
- D'oxygéner les eaux.

Tableau IV - 2 : Les données technique de la chambre des obturateurs à disque motorisés

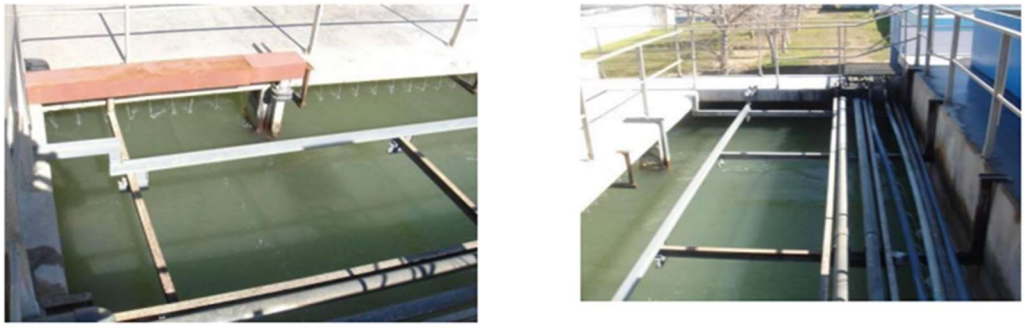
Chambre	Données de dimensions	Conditions opérationnelles	Remarques
Obturateurs à disque motorisés	1 Chambre commune avec 4 obturateurs à disque Neyrtec Longueur = 16,2 m Largeur = 8,4 m Hauteur surverse = 5,44 m Volume = 740 m^3	Tps séjour = 2,7 min – 2,1 min	Régulation des débits sur disques Oxygénation de l'eau **A noter que le chlore gazeux est injecté sur cette chambre pour le traitement de pré-chloration par le chlore gazeux.**
Obturateurs à disque			

B. Chambre de mélange

Dans la chambre de mélange, l'injection des réactifs est assurée dans la largeur des canaux, par des tubes en PVC perforés posés sur des support, dans le travers de l'ouvrage.

Tableau IV - 3 : Les données techniques de la chambre de Mélange de produits de traitement

Chambre de Mélange	Données de dimensions	Conditions Opérationnelles	Remarques
Pré-oxydation Correction pH Adsorption sur CAP	1 chambre de mélange Longueur = 8,4 m Largeur = 6,2 m Hauteur surverse = 4,95 m Volume = 257,8 m^3	Tps séjour = 56 s – 44 s	Injection des Hypochlorite de sodium et /ou de sodium, $KMnO_4$; H_2SO_4, CAP, coagulant sulfate d'alumine en sortie



Chambre de mélange

C. Chambre de répartition

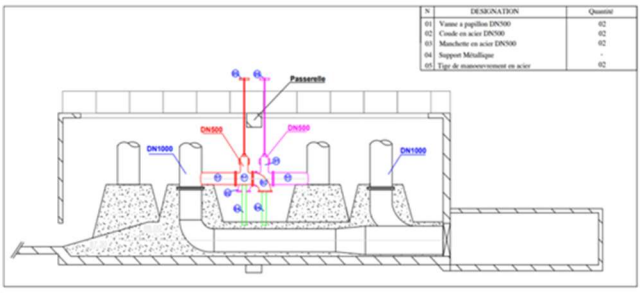
La chambre de répartition est prévue pour répartir l'eau mélangée avec les réactifs de traitement vers les deux filières de traitement. Cette chambre équipée de six lames déversantes fixes, et de six vannes murales pour distribuer et répartit l'eau vers les six décanteurs *(ou l'isolement des décanteurs)*, L'injection du polymère est réalisée au niveau de chaque lame déversante.

Tableau IV - 4 : Les données techniques de la chambre de Répartition

Chambre de répartition	Données de dimensions	Conditions opérationnelles	Remarques
Coagulation-floculation	1 chambre de répartition Longueur = 12,5 m	Tps séjour= 1,7 min	Injection floculant sur 6 lames déversant en sortie vers les décanteurs

	Largeur = 8,4 m Hauteur surverse = 4,7 m Volume = 493,5 m^3	– 1,4 min	
Réparation de débit : Alimentation les 2 filières de traitement	2x3 conduites DN 1100 desservent les 2 filières	Vitesse = 0,81 – 1,03 m/s	

- A noter que l'année de 2021 est caractérisée par un stress hydrique assez remarquable où le niveau de Barrage Keddara été à une côte qui ne permettre pas d'alimenter la station de traitement de Boudouaou. Donc en 23 et 24/06/2021 la SEAAL à Réaliser des ouvertures sur les conduites DN 1000, qui porte Les vannes obturateurs à disques [arrivée eau brute Keddara et surverse sur l'ouvrage d'arrivée) un Piquages par des vannes DN 500, ont été réalisées sur les obturateurs les plus proches à la passerelle comme schématisée dans le plan ci-après, l'un sur l'arrivée Nord et l'autre sur l'arrivée Sud.



IV.6.2 Décanteurs Pulsator Lamellaire

La station comporte six décanteurs type polsator lamellaire non couverts, trois par file de traitement, Chaque décanteur est équipé de :

- ✓ D'une conduite d'amenée de l'eau coagulée dans la cloche centrale de l'ouvrage,
- ✓ D'un réseau ramifié en amiante-ciment, en fond d'ouvrage, pour la distribution de l'eau coagulée sur l'ensemble du radier,

✓ De tranquillisateurs en V, également en amiante-ciment, au-dessus du réseau ramifié,

✓ De packs lamellaires en partie supérieure de l'ouvrage,

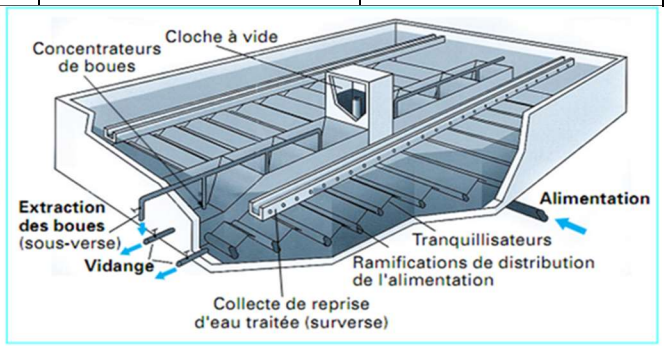
✓ D'un réseau de collecte (caniveaux béton) de l'eau décantée,

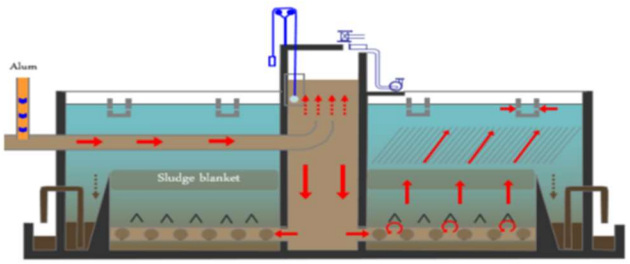
✓ D'une cloche abritant un ventilateur de mise sous vide et de vannes automatiques assurant les pulsations (mise sous vide puis cassage du vide),

✓ D'un réseau de purges de boues à partir des concentrateurs à boues, de vannes de vidange de la cloche.

Tableau IV - 5 : Les données techniques de de décanteurs PULSATOR lamellaire

Etape de traitement	Données de dimensions	Conditions opérationnelles	Remarques
Décantation	6 décanteurs lamellaires Pulsator degrémont Dimensions unitaires : Longueur = 37 m Largeur = 19,3 m Surface = 714,1 m2 Hauteur = 4,75 m Volume = 3392 m3	Tps séjour = 73,2 min – 57,5 min Vitesse au miroir V = 3,89 – 4,96 m/h Vitesse ramenée à la surface des lamelles V = 0,39 – 0,49 m/h	Zone de décantation lamellaire avec lit de boue pulsé. Extraction des boues via des concentrateurs





IV.6.3 Filtres à sable 'AQUAZUR V'

Le système est composé de 16 filtres type AQUAZUR V, huit par file de traitement. Il s'agit des filtres rapides à lit filtrant à sable et à ciel ouvert, à régulation de débit et à plan d'eau constant. Chaque filtre est schématiquement constitué :

- D'une cuve en béton séparée en deux parties par un plancher de dalles en béton de faible épaisseur, dans lequel sont vissées des buselures longue queue D20 (50 m^2),
- En partie supérieure, de quatre arrivées d'eau décantée : équipées d'une vanne à vessie,
- D'un lit de sable reposant sur un lit de gravier et sur un radier constitué de dallettes à crépines,
- Dans la galerie filtrante, de trois vannes à commande pneumatique :
  - ❖ Une vanne de régulation sur le départ de l'eau filtrée,
  - ❖ Une vanne d'admission de l'air de lavage,
  - ❖ Une vanne d'admission de l'eau propre de lavage,
- A l'extérieur, une vanne d'évacuation de l'eau sale de lavage,
- D'une sonde de contrôle de la hauteur d'eau sur le filtre et d'une mesure de la perte
- de charge entre l'entrée et la sortie du filtre.

Tableau IV - 6 :

Etape de traitement	Données de dimensions	Conditions opérationnelles	Remarques
Filtration	16 filtres monocouches AQUAZUR V double cellules Dimensions unitaires : Longueur = 16,3 m Largeur = 2 x 5m Surface = 163 m^2 Support Gravier type A Hauteur = 5 cm Volume = 8,15 m3 Sable type TEN 0,95 Hauteur = 1,15 m Volume = 187,5 m^3	Tps séjour = 6,1 min – 3,7 min Vitesse filtration (8 filtres) = 6,4 m/h – 8,1 m/h (7 filtres) = 7,3 m/h – 9,31 m/h	Fréquence de lavage 2/3 j Lavage air + eau puis eau Q air= 58 $Nm^3/h/m^2$ Q eau= 15 $m^3/h/m^2$ Recyclage des eaux de lavage vers l'ouvrage d'arrivée eau brute

IV.6.4 Réservoirs de stockage

La station dispose de deux (02) réservoirs semi-enterrés dont deux (2) avec une capacité de 50.000 m^3 chacune qui sont destinés à stocker l'eau traité de la station de Boudouaou.

- Et deux (02) autres réservoirs de 25.000 m^3 chacun qui accueillent les eaux de TAKSEBT (traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou).

Tableau IV - 7 : Les données hydrauliques des Réservoirs de stockage

Etape de traitement	Ouvrage	Conditions opérationnelles	Remarques
Désinfection finale et stockage des eaux traitées	Deux compartiments de contact chicané Volume = 2 x 50 000 m^3	Tps séjour = 6 h – 4,7 h	Injection de chlore (Injection chaux sur la chambre de répartition vers les deux compartiments de réservoir)

IV.7 Description de la filière et procédés de traitement

L'eau brute captée au Barrage de KEDDARA n'est pas potable. Elle doit alors être traitée, pour la rendre potable c'est à-dire consommable sans risque. La station de traitement peut être de construction très différente les unes des autres. Ces spécifiés sont fonction de la taille des stations, de la nature des eaux à traiter, des technologiques adoptées.

IV.7.1 Schéma synoptique de traitement

L'eau brute provenant du barrage de KEDDARA à la station de BOUDOUAOU par deux conduites fermées Nord et Sud de diamètre 1500 mm chacune sur le long de réseau de transfert *(Départ Barrage une conduite diamètre 2000 mm)* et de diamètre 1200 mm de chacune arrivée à la station de traitement. Cette eau subit différents traitements avant d'être livrées et injectée dans le réseau d'adduction pour la distribution vers wilaya d'Alger *(par gravité via deux conduites fermée diamètre 1500 mm)* et vers la wilaya de *Boumerdes (par refoulement vers quelques localités via une station de pompage)*.

- La station de traitement de Boudouaou constitue l'une de l'alimentation du grand Alger en eau potable, sa filière de traitement date de 1987 et consiste en une clarification conventionnelle pour un débit nominal de 540000 m^3/jour. En deux files identiques de 270 000 m^3/jour. Les étapes de procédé de traitement adapté à la station sont :
  - Une pré-aération,
  - Pré-oxydation /oxydation au chlore *(chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium)* et ou au permanganate de potassium ---→ $KMnO_4$
  - Correction du pH de l'eau brute pour le ramené au pH optimal de coagulation par le sulfate d'alumine avec l'acide sulfurique ---→ H_2SO_4
  - Adsorption sur charbon actif en poudre
  - Coagulation au sulfate d'alumine ---→ $Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$
  - Floculation à l'aide d'un polymère anionique
  - Décantation lamellaire avec lit de boue
  - Filtration sur sable
  - Désinfection finale au chlore pour l'effet ramenant

Remise à l'équilibre calco-carbonique ---→ chaux Hydraté (avec lait de chaux) avant le stockage des eaux traitées

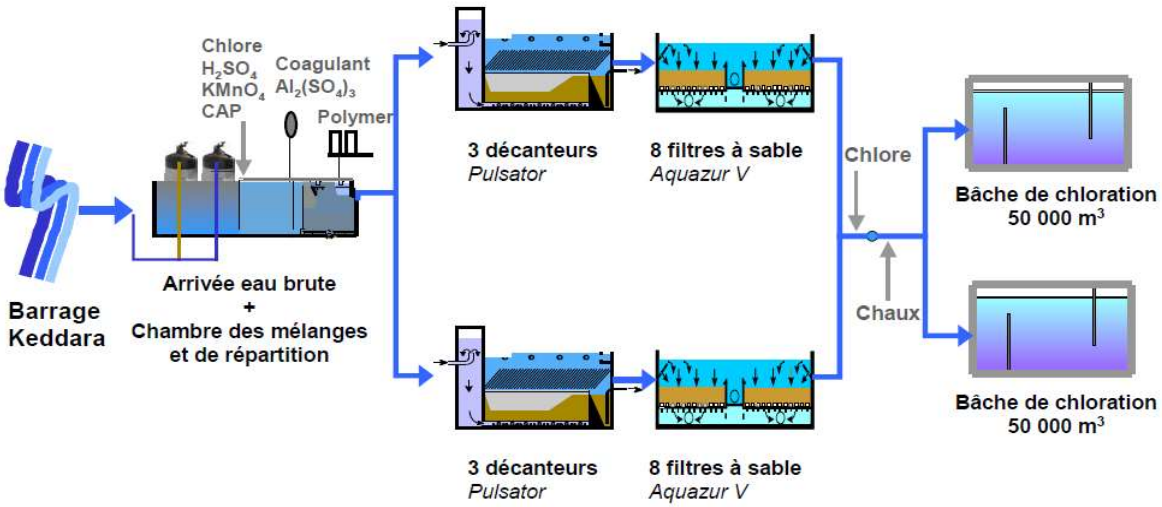


Figure IV - 7 :Représentation schématique de la filière de traitement de la station Boudouaou.

IV.7.2 Enchainement et fonctionnement du processus de traitement

IV.7.2.1 Dissipation, Aération et oxygénation

L'eau brute s'écoule par gravité via les deux conduites de diamètre 2000 mm au départ du barrage Keddara et 1200 mm à l'arrivée de l'usine. L'eau est admise dans l'ouvrage d'arrivée avec une pression d'entrée de 5-6 bars qui est fonction du niveau des eaux du barrage ainsi que des débits prélevés. L'eau dissipé et coulé sur la chambre des obturateurs *(voir photos : **Figure 4.9**),* par l'intermédiaire de quatre (04) obturateurs à disque Neyrtec motorisés (deux par conduite) qui permettent :

1. Briser la charge et dissiper l'énergie acquise par les eaux brutes,
2. De réguler les débits d'entrée : *D'ajuster le débit de traitement à la valeur souhaitée*,

- A ce niveau l'eau brute subit un premier traitement qui est l'aération (oxydation par l'air) et en parallèle augmenter l'oxygène dissous de l'eau brute.

3. Aération de l'eau Brutes : L'aération sert à :
   - ✓ L'enrichissement de l'eau en oxygène.
   - ✓ L'élimination de CO_2 en excès.
   - ✓ L'oxydation partielle les composés aisément oxydables *:(les ions ferreux et manganeux).*

Figure IV - 8 : Chambre des Obturateurs à disque motorisées

IV.7.2.2 Mélange hydraulique des produits de traitements et répartition

Après la chambre d'admission, les eaux pénètrent dans la chambre des mélanges (siphoïdes) où les réactifs de traitements tels que : chlore *(chlore gazeux, Hypochlorite de calcium et de sodium)*, permanganate de potassium, charbon actif en poudre, acide sulfurique et sulfate d'alumine sont injectés. Ces réactifs sont dosés en fonction des besoins déterminés par le débit et la qualité de l'eau brute.

Les eaux sont ensuite tranquillisées dans la chambre de répartition qui permet de diriger l'eau mélangée avec ces réactifs via les déversoirs de répartition *(au niveau desquels du polymère anionique est ajouté)*, à partir de laquelle 6 vannes murales sont installées permet de desservent :

- Les 6 décanteurs de l'usine de type Pulsator lamellaires.
- Les filtres AQUAZUR V directement, via les canaux de by-pass des décanteurs : Les canaux de by-pass sont utilisés lorsque la qualité de l'eau brute ne nécessite pas l'utilisation de la décantation pour atteindre les critères de qualité d'eau traitée.

IV.7.2.3 Pré-chloration

Cette étape se fait au niveau de l'ouvrage d'arrivée à l'aide de l'injection du chlore *(soient : chlore gazeux, Hypochlorite de calcium ou de sodium)*. Elle permet d'obtenir une meilleure filtrabilité en aidant la coagulation et une meilleure qualité d'eau.

La pré-chloration répond à de nombreux objectifs et présente de nombreux avantages notamment :

- ✓ La destruction des micro-organismes (algues, bactérie, planctons) qui sont susceptibles de se développer dans les différents ouvrages de traitement,
- ✓ Une oxydation du Fer et du Manganèse, de nitrates en nitrites, l'ammoniaque. les matières organiques,
- ✓ Une décoloration de l'eau, La diminution du seuil de goût,
- ✓ Une amélioration de la décantation à travers la décomposition de la matière organique,
- ✓ Un Empêchement de la prolifération des algues et des micelles sur la partie des bassins et permet leur élimination par coagulation-floculation.

Figure IV - 9 : Chambres de gauche à droite : de Mélange Hydraulique des réactifs

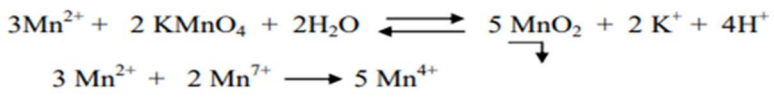
IV.7.2.4 Correction de pH

Lorsque le pH de l'eau brute est élevé (pH > 8), une injection d'acide sulfurique $H2SO_4$ permet d'obtenir un pH optimal de la coagulation par le sulfate d'alumine compris entre 7.4 et 7.6 en amont de cette opération, elle permet ainsi de réduire la consommation en sulfate d'alumine. La conduite d'injection d'acide sulfurique est immergé et pénétré sous l'eau a une certaine hauteur au fond de cette chambre de mélange d'injection des réactifs à cause du danger qu'il présente. La dose injecter dépend du pH de l'eau brute.

IV.7.2.5 Oxydation par $KMnO_4$

Cet oxydant fort est utilisé tout particulièrement lorsque l'eau brute contient du manganèse et de fer avec des concentrations fortes. Il y a oxydo-réduction des ions manganèse et celle de fer.

- Exemple d'oxydo-réduction des ions manganèse :



L'utilisation du $KMnO_4$ en pré oxydation exige le contrôle de la dose à injecter car un excès de taux de traitement peut provoquer la présence d'une coloration rose de l'eau, due à la présence de Mn^{7+} soluble.

IV.7.2.6 Adsorption sur charbon actif en poudre (CAP)

La station de Boudouaou a créé un poste dosage de charbon actif en poudre (CAP) car il représente un traitement de sécurité appréciable pour faire face à une pollution accidentelle. Son emploi c'est étendu à l'élimination de nombreux polluants et micropolluants tels que : Phénol, Hydrocarbures, Détergents, Pesticides. De plus, il sert à améliorer les quantités organoleptiques d'une eau en éliminant les matières organiques responsables de goût, d'odeur et de couleur. Ce traitement est mis en place lors de la dégradation des gouts qui sont générer par les métabolites d'algues (saisonnier).

IV.7.2.7 Traitement de Clarification

La clarification permet l'élimination des particules en suspension *(MES)*, C'est au cours de cette étape que sont extraits de l'eau brute les matières colloïdales, principal responsable de la turbidité de l'eau. Dans sa forme la plus complète, la clarification fait appel à deux types de processus tel que :

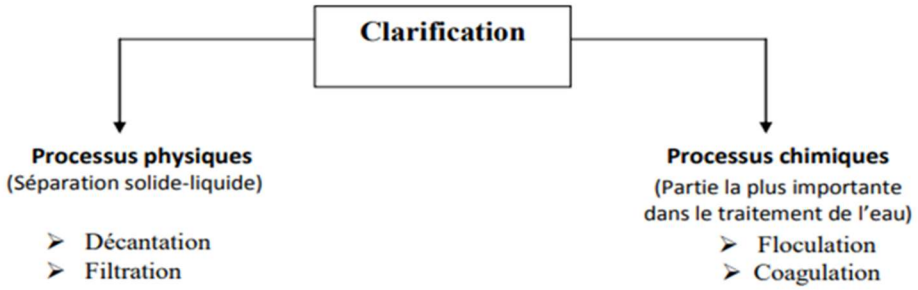


Figure IV - 10 : Schématisation de traitement de clarification

1) Processus chimiques

Coagulation-floculation Les MES de très petites tailles (colloïdales) peuvent très difficilement décanter par l'action de la gravité seule. Elles sont rassemblées en floc de taille plus importante par l'action de réactifs :

- ✓ Un coagulant (Sulfate d'Alumine) permet de neutraliser les forces de répulsion existantes entre les particules colloïdale, et ainsi de former des flocs
- ✓ Un floculant (Polymère anionique) permet de créer des liaisons entre les flocs pour augmenter considérablement leur taille

❖ **Coagulation – Floculation**

Les eaux contiennent des particules en suspensions colloïdales ou pseudo-colloïdales, très fines qu'il est nécessaire d'agglutiner en un floc volumineux et lourd afin d'assurer leur sédimentation ; L'opération de coagulation-floculation a donc pour but la croissance des particules par déstabilisation des particules en suspension puis formation de flocons par absorption et agrégation. L'action s'effectue en deux stades :

- ➢ Les sulfates d'alumines + le poly-électrolyte anionique + les particules colloïdales = Bons flocs

❖ **Coagulation**

L'eau brute de KEDDARA contienne des particules colloïdales, sont des particules très petites qui ne peuvent pas s'agglomérer naturellement, Le but principal de la coagulation est la déstabilisation de ces particules colloïdales en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Cette opération est caractérisée par l'injection des de coagulant a base des sels d'aluminium qui est le sulfate d'alumine $[Al_2(SO_4)_3, 18H_2O]$. Le procédé nécessite une agitation importante qui sera assuré hydrauliquement sur la chambre de mélange.

❖ **Floculation**

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. La floculation au niveau de la station de Boudaoud est réalisée par l'injection d'un polymère anionique pour la formation de flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes déstabilisées et déchargés). Ce phénomène nécessite une agitation lente qui sera réalisé en cours d'acheminement de l'eau coagulée et floculée par une conduite d'alimentation DN 1118 mm vers les décanteurs pulsatubes lamellaire. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers.

2) Processus physiques

Une fois le floc formé, il faut réaliser la séparation solide-liquide qui permettra d'obtenir l'eau clarifiée d'une part et d'autre part les boues (particules colloïdales initiales + floc). Les flocons ainsi formés seront éliminés soit par le processus de la décantation soit par la et filtration.

❖ **Décantation sur les décanteurs POLSATOR lamellaires *(Pulsatube)* à lit de boue**

L'objectif de la décantation sur Boudouaou est de clarifier l'eau brute de Keddara, par séparation physique des Matières en Suspension (MES) présente dans l'eau brute. Elle a pour but d'éliminer les flocs issus de la coagulation floculation afin d'améliorer la qualité de l'eau.

➢ **Fonctionnement général des décanteurs lamellaire à lit de boue pulsé**

Le Pulsatube est un décanteur lamellaire à lit de boue pulsé qui permet de réaliser les opérations de coagulation, floculation et décantation dans un seul et même ouvrage. Sa conception particulière permet de garantir une qualité parfaite de l'eau décantée, grâce à l'installation de modules lamellaires, quelles que soient les variations de qualité et de débit d'eau brute. Les boues formées par la floculation constituent une masse en expansion. Cette masse est un lit de boue, dont l'homogénéité est maintenue par des cycles pulsatoires, mis en œuvre grâce à une cloche à vide. L'eau préalablement coagulée circule de bas en haut de manière régulière et uniforme au travers de ce lit de boue, et ressort clarifiée à la surface du

décanteur. La présence de modules lamellaires dans la zone d'eau claire au-dessus du lit de boue optimise en outre la vitesse de décantation.

L'eau brute préalablement coagulée-floculée est acheminée au décanteur par une conduite d'alimentation de diamètre DN 1118 mm, cette est introduite dans la cloche à vide puis elle entre dans le décanteur par des conduites trouées (perforée) au fond de d'ouvrage et monte vers la surface en passant au travers du lit de boues. Les flocs, produits avec le sulfate d'alumine et le polymère anionique par la coagulation -floculation, restent coincés sous le lit de boues poussant celui-ci vers le haut. L'excédent de boue au-dessus du lit s'accumule dans les concentrateurs de boue qui sont purgés à intervalle régulier. Cette boue est envoyée vers un réseau d'égouts de la station de traitement. Des lamelles inclinées aident le floc à rester dans le décanteur. L'eau ainsi débarrassée des flocs sort du décanteur par des conduites trouées (goulottes) sous la surface de l'eau.

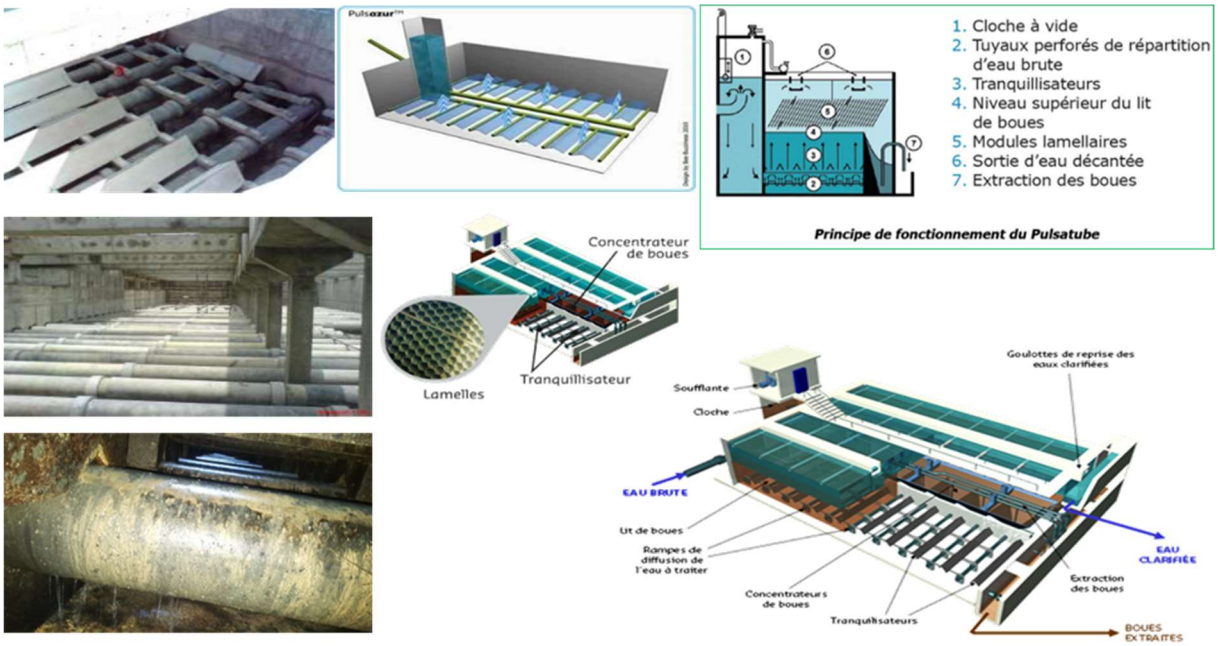


Figure IV - 11 : Schéma de décanteur pulsatube

❖ **Filtration sur sable par les filtres AQUAZUR V**

La filtration est un procédé de séparation physique qui utilise le passage d'un mélange solide liquide à travers un matériau poreux appelé filtre. La phase liquide traverse le matériau poreux. La phase solide est retenue par celui-ci. Les particules solides vont donc s'accumuler progressivement dans le filtre et conduire au colmatage inéluctable de ce dernier, Il faut donc envisager périodiquement des opérations de lavage du filtre. Le processus de la filtration sur la station de potabilisation de Boudouaou est réalisé par les filtres de type AQUAZUR L'eau

clarifiée issue des décanteurs PULSATUBES, soit filtrée sur une batterie de 16 filtres (08 filtres par ligne de Traitement) à double cellule de type AQUAZUR V c'est un séparateur solide-liquide : il s'agit des filtres à sable de granulométrie homogène, et à courant descendant fonctionnant par gravité, lavables simultanément à l'air et à l'eau. Avec maintien du courant de balayage, jusqu'à ce que l'eau évacuée à l'égout soit claire. Ils peuvent fonctionner dans un domaine de vitesse de filtration de 7 à 20 m^3.

Figure IV - 12 : Filtre AQUAZUR type V

- **Fonctionnement en filtration**

L'eau est admise dans le filtre depuis le canal d'eau décantée. Un déversoir dénoyé permet la répartition équitable des débits entre les filtres en service. L'eau traverse le filtre, est ensuite filtrée d'une manière gravitaire à travers un matériau filtrant (sable). L'eau filtrée est ensuite collectée par des buselures traversant la dalle planchée qui supporte les matériaux filtrants. Elle est évacuée par la vanne de sortie d'eau filtrée. L'ouverture de la vanne de sortie est régulée de façon à maintenir un niveau constant *« consigne niveau régulation filtres »* au-dessus du filtre. Ces vannes régulatrices augmentent ou diminuent le débit de manière à garder un niveau d'eau stable au-dessus du filtre, quel que soit le niveau de colmatage. L'eau est ensuite dirigée vers le canal d'eau filtrée pour les étapes ultérieures du traitement (désinfection et neutralisation de pH- --→correction de pH par lait de chaux).

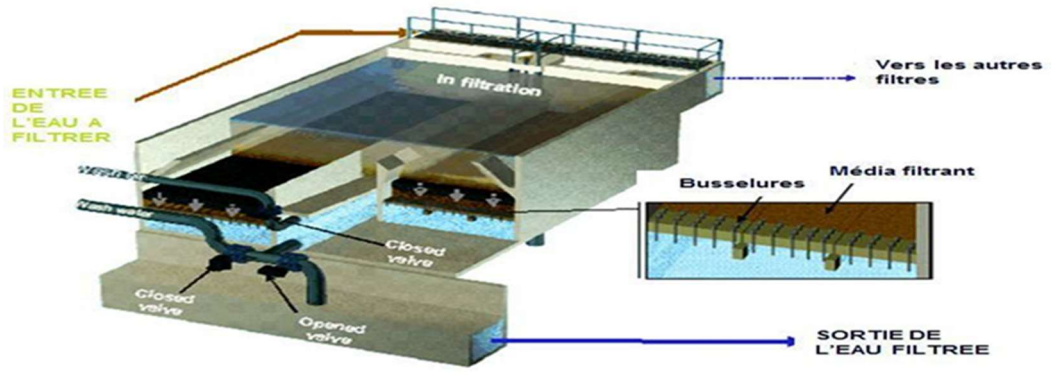


Figure IV - 13 : Schéma du Filtre AQUAZUR V en phase de filtration

- **Fonctionnement en lavage**

La rétention des matières solides contenues dans l'eau provoque une obstruction progressive des interstices existant entre les éléments constitutifs de la matière filtrante. Ce phénomène est désigné sous le nom de "colmatage du filtre". La qualité et le débit d'eau passant à travers un filtre excessivement colmaté se dégradent fortement (« crevaison » du filtre).

Comme tout filtre se colmate au fur et à mesure que son lit se charge en matières retenues, il est essentiel de procéder périodiquement au lavage du lit filtrant lorsque la qualité de l'eau se détériore ou que la perte de charge atteint une valeur prédéterminée. Il est indispensable que les lavages permettent de redonner au lit ses qualités initiales faute de quoi le filtre deviendrait de moins en moins efficace.

- **Sequence de lavage**

On utilise le mode de lavage à contre-courant à l'air et à l'eau simultanément. Un lavage en semi-automatique sera lancer par l'opérateur. Elle consiste principalement en l'injection d'air et d'eau au travers du filtre, à contre-courant. L'eau permet d'entraîner les particules capturées par le sable. L'air permet de fluidiser et de brasser la couche de sable. Un matelas d'air est formé sous le plancher de manière à distribuer uniformément l'air sur toutes les buselures.

- **Opération de lavage des filtres**

  - Chaque filtre est lavé lors de l'une des conditions suivantes :

a. La perte de charge à travers le lit filtrant atteint la valeur prédéterminée. Un filtre est doté de raccord piézométrique afin de déterminer le gradient de perte de charge dans le milieu filtrant.
b. Le filtre est mis en service pendant 05 Jours sans lavage.
c. La turbidité à la sortie d'un filtre atteindra 1,5 NTU.

  - La séquence de lavage est la suivante :

1ère : Arrêt de la filtration et abaissement du plan d'eau

2ème : Détassage à l'air et à l'eau avec balayage de surface à l'eau décantée,

3ème : Rinçage à l'eau seule avec balayage de surface à l'eau décantée pendant

Figure IV - 14 : Filtre AQUAZUR V-Boudouaou en phase de lavage

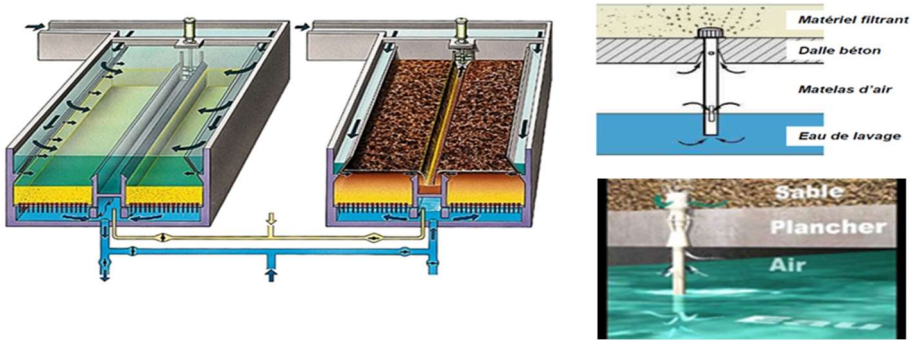


Figure IV - 15 :

IV.7.2.8 Désinfection

Après filtration l'eau subit une désinfection finale, Le chlore est dosé tout de suite après la filtration cette eau filtrée et désinfectée sera dirigée vers les réservoirs de stockage d'eau traitée, cette désinfection sert à maintenir tout au long de son séjour dans le réseau de distribution un résiduel de [1.00 mg/l, 2.00 mg/l], selon les besoin et objectifs. La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle comporte deux étapes importantes, correspondants à deux effets différents d'un désinfectant donné.

- Effet bactéricide : capacité de détruire les germes pathogènes.
- Effet rémanent : c'est un effet du désinfectant qui se maintient dans le réseau de distribution et qui permet de garantir la qualité bactériologique de l'eau. On doit chlorer l'eau dans le réseau pour la protéger contre de nouvelles pollutions par des bactéries (chloration de sécurité). Pour cela, la station de Boudouaou procède à l'utilisation de chlore gazeux, l'hypochlorite de sodium ($NaOCl$) ou bien l'hypochlorite de calcium [$Ca\ (OCl)_2$].

IV.7.2.9 Neutralisation à la chaux

C'est l'étape finale du traitement, elle a pour but d'obtenir une eau équilibrée et neutralisée. Cette opération est assurée par l'ajout des réactifs alcalins, Au niveau de la Station de traitement de Boudouaou le produit utilisé est la chaux vive (CaO) qui est une poudre blanche, cette dernière est injectée sous forme de lait de chaux, « Chaux éteinte $Ca(OH)_2$ ». La neutralisation se faite lorsqu'il y a un ajustement du PH de l'eau brute au départ par l'acide sulfurique (H_2SO_4).

❖ **Ajustement du pH**

Le dosage des différents produits chimiques tout au long du traitement (sulfate d'alumine, le polymère anionique, chlore, l'acide sulfurique) a pour effet de diminuer le pH de l'eau le rendant plus acide. L'eau de brute de Barrage KEDDARA a un pH d'environ 7,5 à 8,11 le traitement à la station l'acidifie pour le réduire à un pH entre 6,9 et 7,60. Une eau ayant ce pH est un peu trop agressive pour les conduites du réseau de distribution, il faut donc remonter le pH à un niveau légèrement plus haut que le pH neutre (7) soit environ 7,2 à 7,5. Pour y arriver, nous ajoutons de la chaux. La chaux est fabriquée à partir de poudre de chaux vive qui est hydratée sur place par l'hydrateur de chaux formant un lait de chaux. Celui-ci est dosé à l'aide d'un doseur à godets. Un mélangeur assure que le lait de chaux est bien mélangé avec l'eau de la réserve.

IV.7.2.10 Stockage de l'eau traitée

L'eau traitée est stockée dans deux réservoirs semi-enterrés, avec une capacité de 50.000 m^3 chacun qui sont destinés à stocker l'eau produite par la station. L'eau produite est ensuite mélangée avec celle provenant de l'usine de TAKSEBT, puis elle sera livrée par gravité vers Alger via le réseau d'adduction DN1500mm.

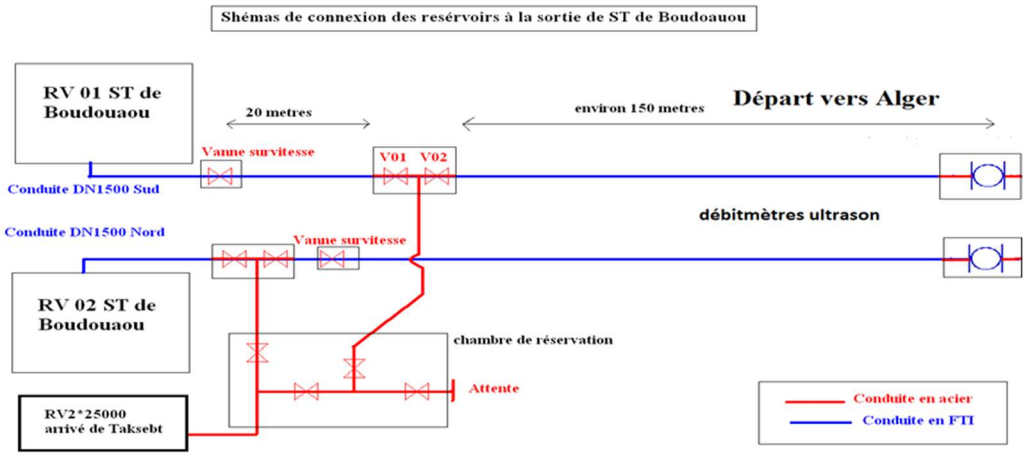


Figure IV - 16 : Schéma de Connexion Eau Traitée TAKSEBT+ BOUDOUAOU

IV.7.3 Les surveillances et les contrôles de la qualité de potabilisation

L'eau produite et distribuée doit répondre à tout instant aux normes de qualité fixées par la Réglementation Algérienne, elle-même calée sur les normes internationales. Des analyses systématiques sont réalisées sur les sites de production et de stockage, Le laboratoire de process de la station de traitement réalise des contrôles sur les points ci-après *(Voir le programme auto-surveillance de la qualité en **Annexe №3**)* :

IV.7.3.1 Point de contrôle à l'entrée du processus

Point	Contrôle	Méthode de détection / processus/activité
Entrée station de traitement (Eau brute)	Faisabilité du traitement	Analyse selon les exigences prévues

IV.7.3.2 Points de contrôle de la conformité du produit dans le processus

Point	Contrôle	Méthode de détection / processus/activité
En sortie de la station de traitement	Potabilité (Chlore/paramètres organoleptiques/paramètres de potabilité)	Analyse selon les exigences prévues, La responsabilité de SEAAL et le programme d'analyse s'arrête aux bornes du domaine Public
Entrée station de pompage	Potabilité (Chlore/paramètres organoleptiques/paramètres de potabilité)	Analyse selon les exigences prévues, La responsabilité de SEAAL et le programme d'analyse s'arrête aux bornes du domaine Public

Le laboratoire de process de la station de traitement réalise des contrôles sur des échantillons issus des différentes phases de traitement inclus celle de l'eau brute et celles provienne de Taksebt *(y compris le mélange Eaux traitées Boudouaou + Eaux traitées Taksebt arrivées a Boudouaou)*. A cet effet, des échantillons des différentes phases de traitement à la station de BOUDOUAOU sont arrivés au laboratoire par billet des pompes d'échantillonnage qui fonctionnent en continue 24H/24. Ces échantillons collectés *(illustrés sur la Tableau II.7)*, à partir de plusieurs robinets de Gauche au Droite (L'eau brute : eau du barrage de Keddara, Eau Décantée, Eau Filtrée, Eau Traitée, Eau Traitée Taksebt arrivée à Boudouaou et le mélange).

Tableau IV - 8 : Points d'échantillonnage des différentes étapes de traitement de laboratoire BOUDOUAOU

Prise d'échantillons	Il existe Sept prises d'échantillons d'eau au niveau de laboratoire

- A l'entrée de l'usine au niveau de l'Ouvrage d'Arrivé pour l'eau brute ;
- A la sortie des décanteurs Filière N°1, N°2 : pour l'eau décantée ;
- A la sortie des filtres Filière N°1, N°2 : pour l'eau filtrée ;
- A l'entrée de chambre de répartition vers les réservoirs pour l'eau filtrée désinfectée ;
- En sortie de station pour l'eau traitée réservoir N°1 ; réservoir N°2,
- Eau traitée Taksebt arrivées et sortie Réservoir 2x25000 m^3 sur Boudouaou,
- Eau de mélange (Eau de Boudouaou, eau traitée de Taksebt arrivées sur Boudouaou)

L'étude analytique de l'eau est réalisée dans le cadre de contrôle et suivi de la qualité de la potabilisation des eaux produites au niveau de la station ces contrôles sont d'ordre plusieurs prestations analytiques : Analyses bactériologiques, analyses biologiques, algologiques, analyses physicochimiques et organiques en outre des essais de traitabilité sur l'eau brute *(Détermination des Taux de traitement)*, essais de contrôle de conformité des produits de traitement sont également effectuées.

- Le laboratoire de contrôle de process de la station de traitement de Boudouaou est subdivisé en 2 salles, un réservé aux contrôles physico-chimiques et l'autre réservé aux contrôles bactériologique et algologique, y'compris Salle de pesage.

Figure IV - 17 : Photo illustré la Salle bactériologique

Figure IV - 18 : Photo illustré la Salle Physico-chimiques

IL est à noter qu'en plus de ces contrôles réalisés au niveau de laboratoires, le centre de traitement BOUDOUAOU a mis en place des contrôles de la qualité en continues par la mise en place des Instruments de mesure en continu et on line de la qualité de l'eau ; Il existe un certain nombre de capteurs mis en place le long de la filière de traitement de l'usine. La localisation de ces capteurs au sein de la filière de traitement est reportée sur le tableau ci-après. Il existe de dispatching et de reportant des données au logiciel de la supervision Topkapi.

Tableau IV - 9 : Emplacement des différents capteurs de qualité on line

Paramètres	Eau Brute	Eau Décantée	Eau-Filtrée Désinfectée	Eau Traitée	Capteurs
pH	✚	✚	✚	✚	Capteur de pH
Conductivité	✚				Capteur de Conductivité
Chlore Résiduel		✚	✚	✚	Capteur de Chlore Résiduel
Turbidité	✚	✚	✚		Capteur de Turbidité

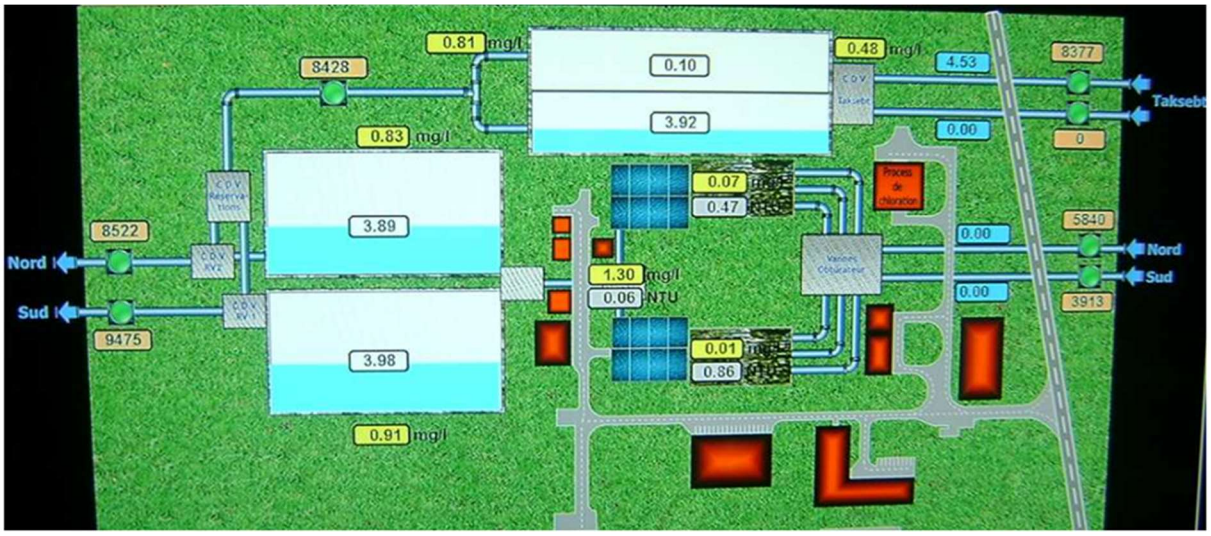


Figure IV - 19 : Schéma synoptique du fonctionnement sur Topkapi

Partie II : partie expérimentale

Chapitre V : Modes opératoires, les appareillages et les réactifs

Chapitre V : Modes opératoires, les appareillages et les réactifs

V.1.Introduction :

L'étude expérimentale de la coagulation-floculation a pour but de déterminer le choix d'un réactif et les concentrations optimales nécessaire à une réduction maximale de la turbidité de l'eau de barrage après une simple décantation. Une étude comparative entre deux sels métalliques, à savoir le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique est présentée. on a choisi le jar-test comme technique expérimental. Le contrôle du degré de clarification de l'eau a été fait à l'aide d'un turbidimètre, afin de nous permettre le suivi du processus de clarification de l'eau brute.

V.2. LES OBJECTIFS DU TRAVAIL :

Les objectifs de ce travail sont :

●Etude comparative de l'efficacité des deux coagulants FeCl3 et Al_3SO_4 pour le traitement.

● L'étude de l'influence de la concentration du coagulant sur le rendement de

L'élimination de la matière en suspension.

● L'étude de l'influence de la concentration du floculant sur le rendement de

L'élimination de la matière en suspension.

Pour réaliser ces objectifs, il faut suivre les étapes suivantes :

➢ Pour la phase de coagulation floculation :

- Trouver la dose optimale du coagulant et/ ou floculant en fonction de la nature

D'eau potable turbide .

Variation de pH :

pH=7.2

pH=7.5

pH=8

V.3.Echantillonnage

Des échantillons des différentes phases de traitement de la station de potabilisation de BOUDOUAOU ainsi que L'eau brute sont acheminés vers le laboratoire par billet des pompes d'échantillonnage qui fonctionnent en continue 24H/24.

Lors de cette étude, Afin de caractériser les paramètres physico-chimiques de l'eau brute, les échantillons des eaux brutes ont été prélevés et collectés de robinet №1 à gauche de la photo.

(L'eau brute : Eau du Barrage de Keddara).

Figure V - 1 : Laboratoire Physico-Chimique

V.4. MODE OPERATOIRE

V.4.1. Mode opératoire de l'influence de concentration de coagulant

Les étapes à suivre lors de l'étude de l'influence de concentration de sulfate d'alumine et le chlorure ferrique sur la coagulation-floculation d'eau brute de barrage sont les suivantes :

- Remplir les béchers par l'eau brute (volume= 1litre)
- Fixer le pH
- Mettre en route les agitateurs avec une vitesse maximale rapide égale à 180tr/min pendant 30s
- Ajouter des doses croissantes de coagulant
- Laisser l'agitation rapide pendant 1,30min
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 40 tr/min et laisser l'agitation lente pendant 18 min puis la décantation pendant 40 min ;
- Prélever à chaque bécher l'eau décantée à l'aide d'un siphonage, et mesurer la turbidité

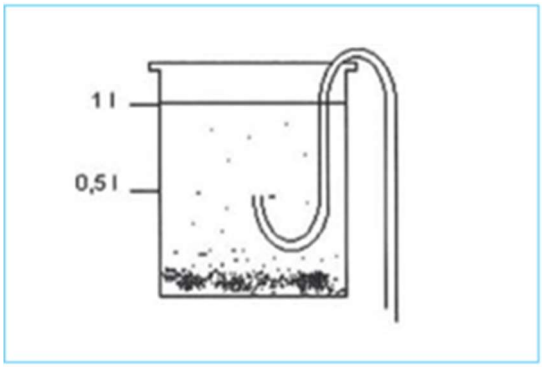


Figure V - 2 : Schéma illustré le siphonage

V.4.2. Mode opératoire de l'influence de concentration de floculant :

Une fois les paramètres mesurer et on trouve la dose optimale de coagulant ; on c'est bon de déterminer la dose optimale de floculant.
Les étapes à suivre lors de l'étude de l'influence de concentration de polyeléctrolite sur la coagulation-floculation d'une eau brute de barrage turbide sont les suivantes :
- Remplir les béchers par l'eau brute
-introduire les doses optimales de coagulant dans tous les béchers
- Mettre en route les agitateurs avec une vitesse maximale rapide égale à 180 tr/min pendent 1 min30sec.
-Ajouter des doses croisant de floculant sou agitation rapide à 180 tr/min pendant 30sec
-Réduire la vitesse d'agitation à 40 tr/min pendant 18min
- Laisser décantation pendant 40min
- Prélever un volume de chaque bécher et mesurer la turbidité.

V.5. DESCRIPTION DES APPAREILLAGES

V.5.1. Description du Jar-test

Le Jar-Test est la méthode la plus ancienne, la moins onéreuse, la plus simple et, de ce fait, la plus utilisée [1]. Depuis plus de 50 ans, le Jar Test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de floculants dans le domaine du traitement de l'eau [2].
Elle consiste à remplir 4 à 6 béchers de l'eau à traiter et à ajouter à chacun d'entre eux une dose croissante de coagulant et à attendre le temps nécessaire à l'eau pour traverser l'installation de traitement [1].
Le Jar-test que nous avons utilisé de laboratoire de la station de BOUDOUAOU, type FLOCUMATIC SELECTA, comporte 6 agitateurs dont la vitesse de rotation peut varier entre 15 et 200 tr/min. Les pales sont de type à hélices (75mm × 20mm) (figure2) et le volume des béchers est de 1 litre.

Figure V - 3 : Floculateur de laboratoire de Boudouaou Type : FLOCUMATIC SELECTA

V.5.2. Le turbidimètre :

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau.
La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques…). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers
Sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension.
La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre [3].
La turbidité est un paramètre important pour analyser, en laboratoire, la qualité de l'eau traitée, pour les eaux destinées à la consommation, une valeur maximale de turbidité a été repérée à 5 UTN (unité de turbidité néphélométrique) [4].
Le turbidimètre permet de mesurer la quantité de lumière diffusée à angle droit par un faisceau lumineux traversant l'échantillon. Les résultats sont directement exprimés en N.T.E par affichage à cristaux liquides.

Tableau V - 1 : Classe de turbidités usuelles (NTU, néphélométricturbidity unit) [3].

Turbidité <5 NTU	**Eau claire**
5< turbidité< 30 NTU	**Eau légèrement trouble**
Turbidité >50 NTU	**Eau trouble**

Figure V - 4 : turbidimètre

V.5.3. Spectrohpotomètre :

Le spectrophotomètre UV-Visible permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène à une longueur d'onde donnée ou sur une région spectrale donnée. Selon la loi de Beer, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration des substances en solution, à condition de se placer à la longueur d'onde à laquelle la substance absorbe les rayons lumineux. Les échantillons sont dissous dans des solvants qui n'absorbent pas dans la région spectrale examinée (éthanol, méthanol,…). La longueur d'onde est réglée en fonction de la substance que l'on étudie.

Le spectrophotomètre UV comprend :

• Une source ou des sources de lumière : lumière blanche pour mesurer dans le spectre visible et/ ou lumière UV. La lampe UV est généralement de type deutérium, la lampe visible est généralement de type halogène, il existe également des spectrophotomètres à lampe xénon.

• Un monochromateur formé d'un réseau diffractant la lumière de la source. Il permet de sélectionner la longueur d'onde de la lumière qui traversera la solution étudiée.

• Une fente de largeur fixe ou variable pour régler la bande passante.

• Un porte cuve pouvant permettre le maintien à température souhaitée de la solution à analyser, cette température est maintenue par un circuit d'eau ou un effet Peltier.

• Une cuve transparente dans laquelle on place la solution à étudier. Suivant la qualité et la quantité d'échantillon, il existe différentes cuves, généralement en plastique (spectre visible, UV proche) ou en quartz (UV). Le solvant utilisé n'étant pas toujours transparent, il est obligatoire de réaliser un blanc ou témoin de compensation, c'est-à-dire une mise à zéro du dispositif, en ne

Plaçant que le solvant utilisé dans la cuve avant la première mesure, et ce pour chaque longueur d'onde étudiée.

• Une cellule photoélectrique, restituant un courant proportionnel au nombre de photons reçus. Sur des modèles récents, le détecteur unique de type photodiode est parfois remplacé par une barrette CCD, ou une barrette de diode.

• Un détecteur électronique dont la réponse est proportionnelle à ce courant électrique et permet une mesure relative de l'intensité lumineuse.

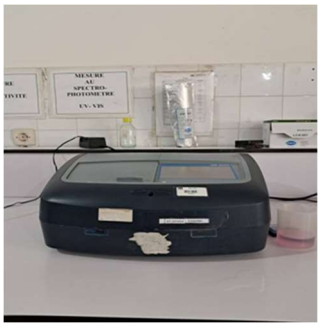


Figure V - 5 : Spectrohpotomètre

Après avoir effectué le siphonage, nous avons procédé à une filtration par sable.

Figure V - 6 : Filtration par sable

Une fois que nous avons terminé avec la filtration sur sable, nous avons déterminé la valeur de l'aluminium et le fer dissout.

- Détermination de la valeur de l'aluminium dissous (dosage par kit LCK301)

1- Introduire 2 ml de la solution A dans le tube LCK301
2- Ajouter 3 ml de l'échantillon et une pincée de produit B
3- Agiter et laisser ou repos pendant 25 min
4- Faire le lecteur à l'aide de spectrophomètre.

Figure V - 7 : Protocole de AL^{3+}

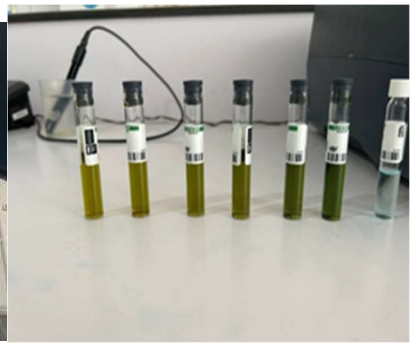


Figure V - 8 : les échantillons AL^{3+}

- Détermination de la valeur du fer dissous (par kit 521) :

1- Injecter 5ml de l'échantillon dans la cuvette
2- Fermer la cuvette par le bouchon qui contient le produit
3- Agiter jusqu'à dissolution le produit et laisser 10 min ou repos
4- Faire lecteur à l'aide de spectrophomètr .

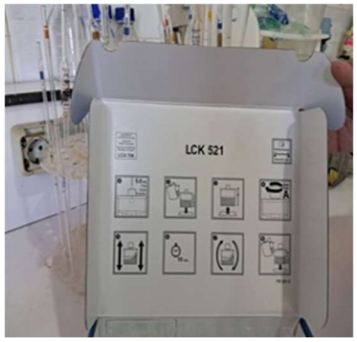


Figure V - 9 : Protocole de Fe^{2+}

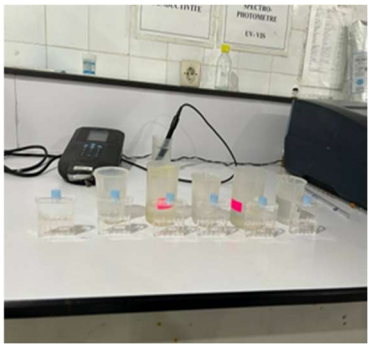


Figure V - 10 : les échantillons de Fe^{2+}

V.5.4. Le pH mètre :

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 (7 étant le pH de neutralité). Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Tableau V - 2 : classification des eaux d'après leur pH [3].

pH <5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7<pH < 8	Neutralité approchée=> majorité des eaux de surface
5,5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par

Colorimétrie.

Le pH-mètre est l'appareil de mesure constitué d'une électrode de pH que l'on plonge

Dans la solution dont on veut connaitre l'acidité son pH s'affiche alors sur l'écran. L'électrode doit être bien rincée à l'eau du robinet, puis eau distillée puis à l'eau analysée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que ces mesures soient justes [3].

Figure V - 11 : pH mètre

V.5.5. Autres équipements :

Nous avons utilisé d'autres matériels accessoires pour les manipulations et la précision des mesures. Ce sont :

- Une balance électronique ;
- Les béchers ;
- Pipette, pissette ;
- Fiole

Figure V - 12 : balance électronique

Figure V - 13 : fiole, pissette, bécher, pipettes

V.6. LES REACTIFS UTILISES

V.6.1.Les coagulants

Les sels métalliques utilisés lors des essais en Jar-test sont le sulfate d'aluminium

($Al_2 (SO_4)_3$,$18H_2O$) et le chlorure ferrique ($FeCl_3$, $6H_2O$).

Figure V - 14 : Sulfate d'alumine **Figure V - 15 :la solution mère $FeCl_3$**

V.6.2. Les floculats

Le polyelectrolite (PE)

Figure V - 16 : Polyelectrolite

V.6.3.Autres réactifs

Pour Diminuer la valeur du pH de l'eau brute nous utilisons l'acide H_2SO_4

Et pour augmenter on ajoute la base NaOH

Figure V - 17 : les solutions NaOH et H_2SO_4

V.7. PREPARATION DES SOLUTIONS

V.7.1.Préparation du coagulant

V.7.1.1. Sulfate d'alumine (SA)

Préparation de la solution mère a 10 (g/l)

Peser 1g de SA compléter a 100ml H_2O

A partir de la solution mère prépare une solution fille (de travail)

Prendre 1ml de la solution mère compléter a 100ml H_2O

Calcule pour injecter des doses de SA en (mg/l) pour injecter 10(mg/l) On a la solution a 10(mg/l) donc :

10000mg ⟶ 1000ml

10mg ⟶ X

X=10000/10000= 1ml

V.7.1.2. Chlorure ferrique

Même calcule pour $FeCl_3$, la concentration de solution mère

C=d*%*10

d=1,4 ; %=40 alors 1,4*40*10= (560g/l)

Préparation solution de travail a 10(g/l)

560g ⟶ 1000ml

10g ⟶ X

X= (10*1000) /560 = 17,85 ml

Prendre 17,85 ml solution mère compléter a 100ml H_2O (solution travail à 10 g/l)

10000mg ⟶1000ml

10mg ⟶X

X= (10*10000) /10000=1ml

V.7.2. Préparation du floculent :

V.7.2.1. polyelictrolite PE

Préparation de la solution mère 5(g/l)

Peser 0.5g de polyélictolite compléter à 100 ml H_2O sous agitation

A partir de la solution mère préparer une solution fille 1 % (0.05g /l ou 50mg/l)

Calcule pour injecter 0.05 (mg/l) on a la solution 0.05 (mg/l)

Donc :

50mg ⟶ 1000ml

0.05mg ⟶ X

X=0.05*(1000/50) =50/50

X=1ml

V.7.3. Autres solutions

V.7.3.1. Préparation des solutions pour déterminer la matière organique

V.7.3.1.1. Solution de permanganate de potassium ($KMnO_4$)

Dans une fiole de 200ml on verse 20ml de permanganate de potassium {solution mère C=($KmnO_4$)=0,02mol,(o,1N)}compléter H2O a trait de jauge (solution de travail 0,01N)

V.7.3.1.2. Solution d'oxalate de sodium ($Na_2C_2O_4$)

Ou bien on dit acide oxalique, dans une fiole de 200ml on verse 20ml d'oxalate de sodium (solution mère 10,1 N ; C=0,05 mol/l) et compléter a trait de jauge (solution fille)

Figure V - 18 : les solutions mère Oxalate de sodium et Permanganate de potassium, Acide sulfurique (solution filleH_2SO_4)

Figure V - 19 : Les solutions de travailles d'oxalate et permanganate de potassium

V.7.3.1.3. Détermination MO

Mode Opératoire

1-Introduire dans les béchers de 250 ml, 100 ml d'eau à analyser ; Ajouter 20 ml d'acide sulfurique

2-poser les béchers sur la plaque chauffante pour ébullition observer jusque le début d'ébullition injecter 20ml de $KMnO_4$ et laisser 10 min d'ébullition.

3- Retirer les béchers et Ajouter ensuite 20 ml d'acide oxalique pour décolorer

4-Titrer pendant que la solution est encore chaude, avec la solution de permanganate de potassium N/80 jusqu'à une coloration rose pâle persistante

Noter le volume V1 de la solution de permanganate consommé ; Faire un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée ; Noter le volume V0 de la solution de permanganate consommé.

Conserver le blanc titre pour la vérification du permanganate de potassium :

-Au blanc titre, ajouter 20 ml de la solution d'oxalate de sodium

Réchauffer la solution une à 2 min et retirer avec le permanganate jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistant

-Noter le volume $\mathbf{v_2}$ de solution de $KMnO_4$ consomme, qui devrait être 19 et 21 ml. Dans le cas contraire, repréparer une solution titrante de $KMnO_4$ et refaire l'analyse . Si le problème persiste refaire la solution mère de $KMnO_4$ 20 ml

-Calcul :

L'indice de permanganate, **IMn**, exprime en milligrammes d'oxygène par litre, est calcule selon la formule :

$$IMn = \frac{V1 - V0}{V2} \times f$$

Avec :

-V_0 : le volume en ml de la solution de $KMnO_4$ consommé dans le dosage de blanc

-V_1 : est le volume en ml de la solution de $KMnO_4$ consommé dans le dosage de la prise d'essai

-V_2 : est le volume en ml de la solution de $KMnO_4$ consommé lors de la vérification de la solution titrante

-f : est le facture correctif utilise, compte tenu des unités pour exprimer le résultat en mg d'oxygène par L est égale à 16

Figure V - 20 : la plaque chauffante

Figure V - 21 : titrage par $KMnO_4$

Chapitre VI : résultats expérimentaux et discussion

VI.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la l'interprétation des résultats expérimentaux, afin de déterminer la dose optimale des deux coagulants à savoir le SA et $FeCl_3$.

L'objectif de ce travail expérimental est de faire le choix technico- économique entre les deux coagulants pour la station de traitement d'eau potable SEAAL Boudouaou.

Tous les analyse et essais sont réalisés au niveau du laboratoire d'analyse physico-chimique de SEAAL.

VI.1.1. Caractéristique de l'eau brute

Les analyses de l'eau brute sur la quelle est basé notre travail, sont effectués au laboratoire de SEAAL au niveau de la station de traitement d'eau potable de Boudouaou.

Le tableau N°1 ci-dessous présente les caractéristiques de l'eau brute (l'eau de barrage) nécessaires pour notre travail de mémoire.

Tableau VI - 1 : caractéristique de l'eau brute

Analyse	Valeur
Turbidité NTU	**48**
Matière organique mg/l	**5**
UV	**0,263**
pH	**7,07**

VI.2. Détermination des doses optimales des coagulants et floculant

La première étape de notre travail expérimental est la détermination de la dose optimale des coagulants (SA et $FeCl_3$) pour notre échantillant de l'eau brute prélevée à l'entrée de la station.

a) Détermination de la dose optimale de coagulant SA

Les résultats du tableau N°2 présentent la variation de la turbidité de l'eau brute en fonction de l'injection des déférentes doses de SA, déterminés par le Jar teste au niveau du laboratoire de la station de Boudouaou.

Tableau VI - 2 : détermination du dose optimale de SA

Nº de bécher	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
SA (mg/l)	90	100	110	120	130	140
Turbidité(NTU)	5,4	3,12	2,31	2,67	2,8	3,18

La représentation graphique des résultats du tableau ci-dessus sont donnés par la courbe de la figure N°1.

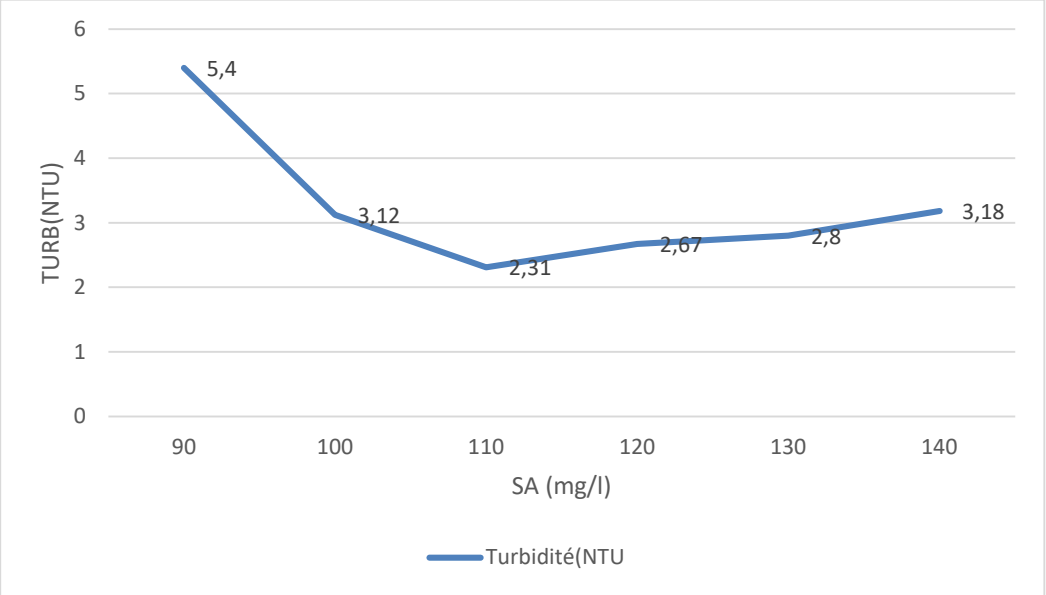


Figure VI - 1 : détermination de la dose optimale de SA

L'allure de la courbe ci-dessus montre que la dose optimale du coagulant SA, est de 110 mg/l.

b) Détermination de la dose optimale de coagulant $FeCl_3$

Les essais sur le Jar teste, nous a donné l'évolution de la turbidité de l'eau brute en fonction des déférentes doses du coagulant FeCl3, présentés dans le tableau N°3.

Tableau VI - 3 : Détermination de la dose optimale de floculant $FeCl_3$

No de bécher	1	2	3	4	5	6
$FeCl_3$ (mg/l)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**
Turbidité (NTU)	**26.2**	**17.4**	**10.6**	**3.8**	**2.7**	**3.6**

Les données du tableau N3 sont présentées sur la courbe de la figure N°2.

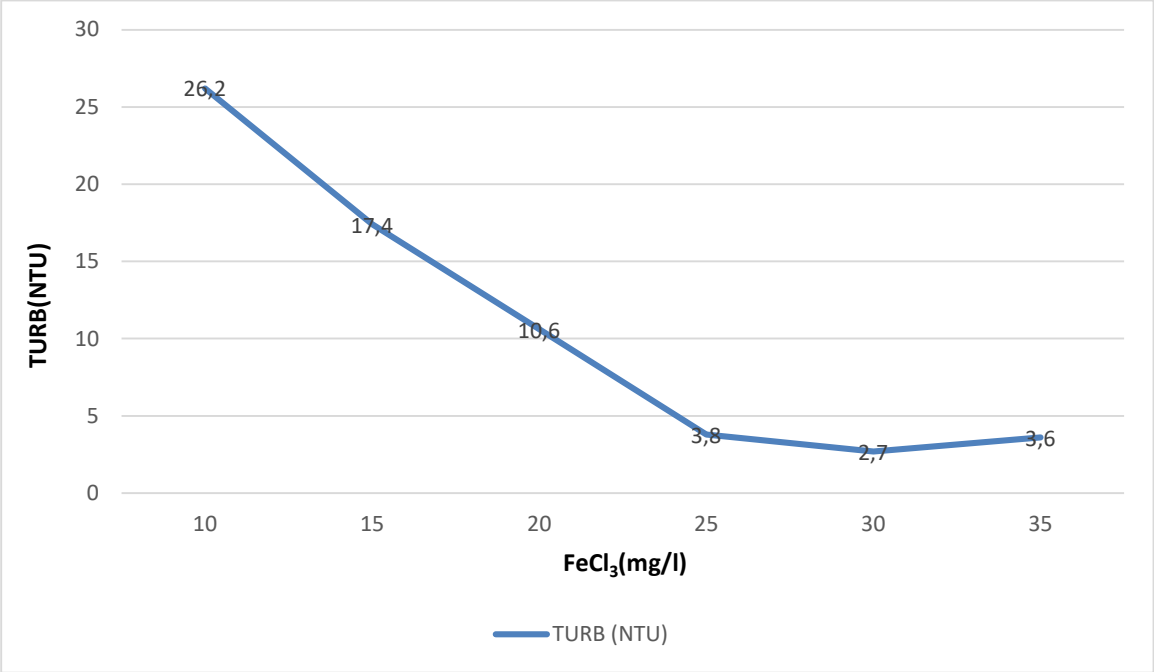


Figure VI - 2 : détermination de la dose optimale de $FeCl_3$

Sur la courbe ci-dessus, on remarque que la dose optimale du coagulant $FeCl_3$ est de 30 mg/l.

VI.3. Détermination de la des optimale du floculant polymère PE

Après coagulation et déstabilisation des colloïdes, leur agglomération et floculation nécessitent l'injection d'un floculant pour une meilleure et bonne décantation.

Le floculant utilisé dans la station de BOUDOUAOU est PE.

La dose optimale du floculant est déterminée sur le Jat teste pour les deux coagulants.

a) Détermination de la dose optimale de floculant polymère PE pour SA

Les résultats sue le Jar teste de l'évolution de la turbidité en fonction des déférentes dose du coagulant SA et du floculant PE, sont présentés dans le tableau N°4, dont le but de déterminer la dose optimale de floculants PE.

Tableau VI - 4 : Détermination de la dose optimale de floculant polymère PE pour SA

SA (mg/l)	**110**	**110**	**110**	**110**	**110**	**110**
PE (mg/l)	0,050	0,100	0,150	0,20	0,25	0,300
TURB(NTU)	1,87	1,75	1,59	1,93	2,36	2,53

Sur la courbe N°3 on peut lire la dose optimale du coagulant pour le SA est de 0,15 mg/l de PE et qui correspond à une turbidité de 1,59 NTU, pour une dose optimale du coagulant de 110 mg/l.

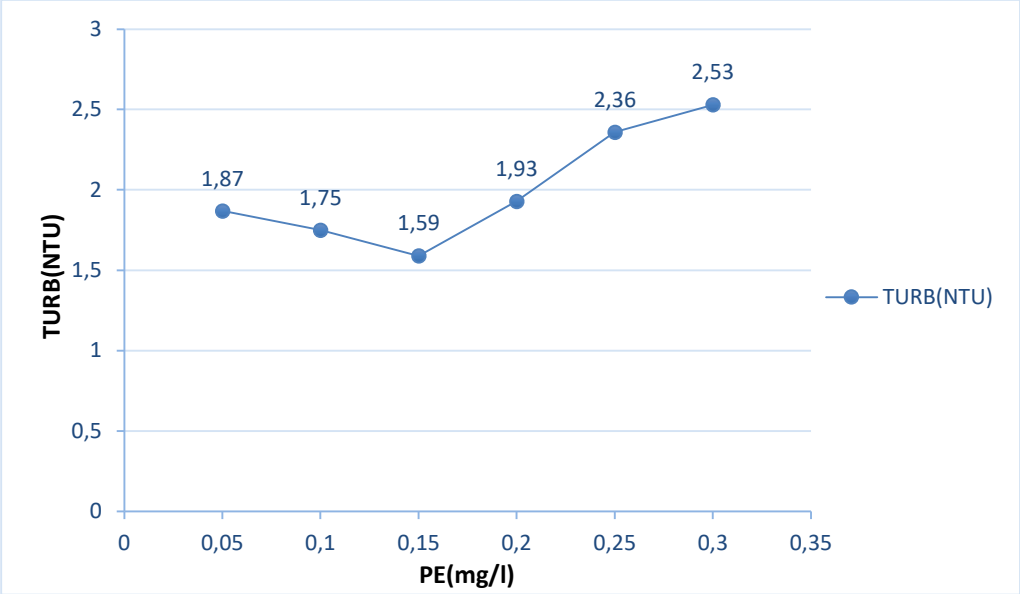


Figure VI - 3 :déterminations de la dose optimale de PE pour le SA

La courbe de la figure N°3 représente la variation de la turbidité en fonction des déférentes doses de PE pour une dose optimale du coagulant déjà déterminée de valeur 110 mg/l de SA.

Sur cette courbe ci-dessus on peut lire la valeur de la dose optimale du floculant et qui égale à 0,15 mg/l de PE.

b) Détermination de la dose optimale de floculant polymère PE pour $FeCl_3$

Le même travail a été effectué sur le Jar teste pour l'évolution de la dose optimale du floculant pour le coagulant $FeCl_3$.

Le tableau N°5 ci-après résume les résultats expérimentaux de la variation de la turbidité en fonction de la dose de floculant PE pour une dose optimale de coagulant de 30 mg/l.

Tableau VI - 5 : Détermination de la dose optimale de floculant polymère PE pour $FeCl_3$

$FeCl_3$(mg/l)	30	30	30	30	30	30
PE(mg/l)	**0.05**	**0.075**	**0.1**	**1.125**	**0.150**	**0.175**
Turbidité(NTU)	**11**	**8.5**	**2.50**	**2.6**	**3.14**	**3.6**

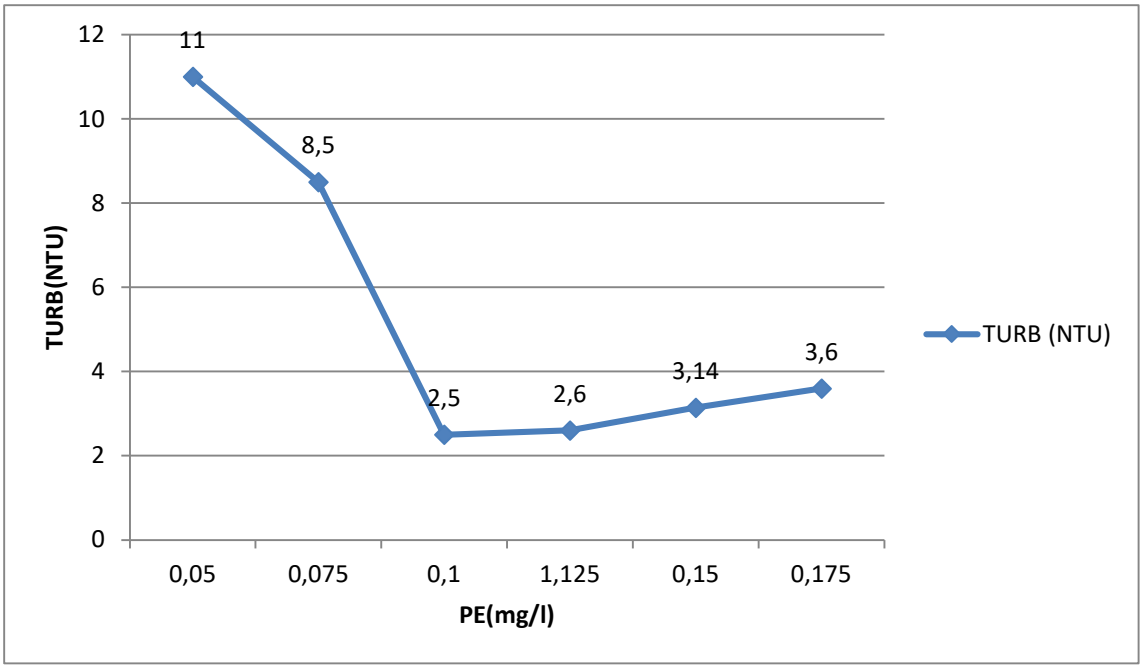


Figure VI - 4 : Détermination de la dose optimale de PE pour FeCl3

La figure N^{0}4 représente graphiquement les résultats expérimentaux du tableau N^{0}5.

Sur cette dernière on peut remarquer que la plus faible turbidité 2,5 NTU, correspond à une dose de floculant de 0,1mg/l.

Donc pour une dose optimale du coagulant $FeCl_3$ de 30mg/l, la dose optimale du floculant PE est de **0,1mg/l.**

VI.4. Effet de pH sur les coagulants sulfate d'alumine et chlorer ferrique

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation sera faite rapidement qui est en fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter.

Après détermination des doses optimales des deux coagulants FeCl3 et SA, ainsi que la dose optimale du floculant PE, pour un pH de l'eau brute de 7,07, et dont le but de tester l'effet de la variation du pH sur la coagulation floculation, des essais et des analyses au laboratoire, ont été effectués afin de déterminer le pH optimal de la coagulation floculation, propre à notre eau brute.

Les valeurs des pH tester dans notre étude sont de l'ordre de pH =7,2, pH=7,5 et pH= 8 (sur la proposition des responsables du laboratoire de la station.)

VI.4.1.SA

a) pH=7,2

Le tableau N^{0}6 illustre les analyses de l'eau brute donnés par le Jar teste pour un pH=7,2

Dans ce dernier l'évolution des caractéristiques de l'eau brute qui sont, la turbidité, la matière organique, Al^{3+}total, Al^{3+}dessous et le taux d'abattement de la matière organique, sont fonction de la dose du coagulant et la dose du floculant pour une dose du PE=0,15 mg/l et un pH=7,2 .

Tableau VI - 6 : analyses de l'eau brute pH=7,2

N^0 bécher	1	2	3	4	5	6
pH	**7,2**	**7,2**	**7,2**	**7,2**	**7,2**	**7,2**
SA (mg/l)	**30**	**50**	**70**	**90**	**110**	**130**
PE **(mg/l)**	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**
TURB(NTU)	**5,8**	**3,43**	**2,51**	**1,99**	**0,74**	**1,62**
MO**(mg/l)**	**4,0**	**3,54**	**3,43**	**3,05**	**2,15**	**3,84**
Al^{3+} $_{TOT}$ **(mg/l)**	**0,41**	**0,33**	**0,24**	**0,33**	**0,36**	**0,37**
Al^{3+} $_{Dessous}$ (mg/l)	**0,051**	**0,054**	**0,078**	**0,104**	**0,020**	**0,034**
MO%	**8%**	**29,2%**	**31,4%**	**39%**	**30,2%**	**23,2%**

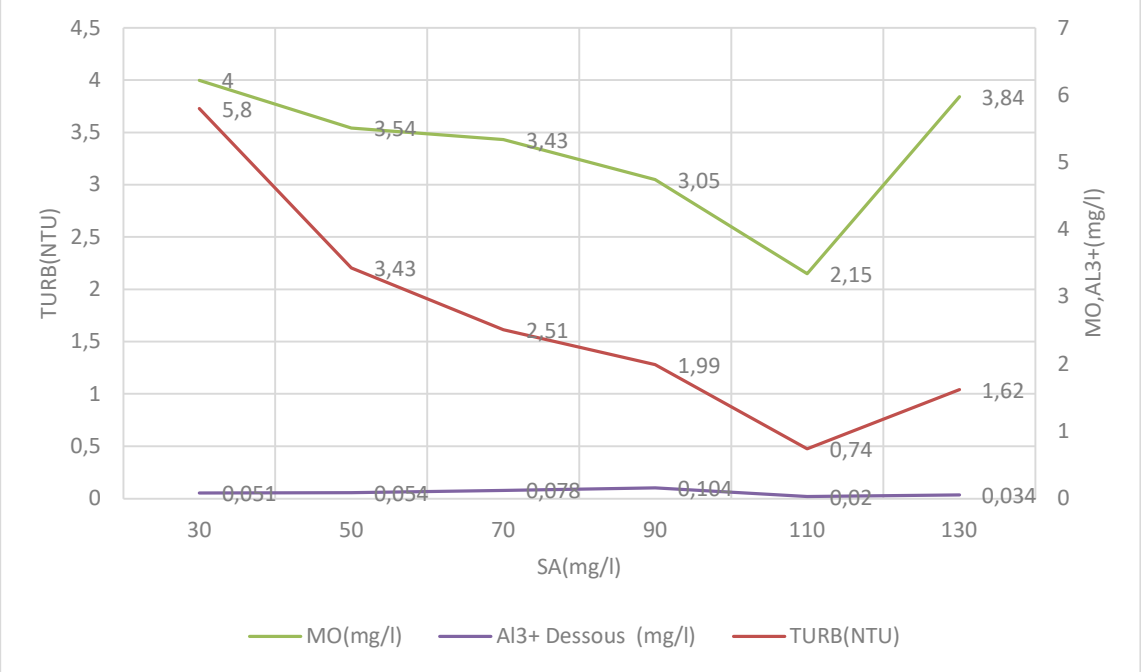


Figure VI - 5 variation des caractéristiques de l'eau en fonction de la dose SA pH=7,2

La figure 5 donne la représentation graphique des résultats d'analyses du tableau N^{0}6 Sur la courbe de la figure N^{0}5. Les plus faibles valeurs de la turbidité (0,74 NTU), de la matière organique (2,15 mg/l) , et de Al^{3+}dessous(0,02 mg/l), sont associés à la même valeur de la dose du coagulant (SA)égale à 110 mg/l. (la dose du floculant est fixée à la dose optimale qu'est de 0,15mg/l).

Une série d'analyse est effectuée sur Jat teste pour déterminer la variation des caractéristiques de l'eau pour déférentes doses du coagulant et une dose optimale du floculant et dans ce cas-là le pH est fixé à 7,5.

b) pH=7,5

Le tableau N^{0}7 affiche les résultats expérimentaux obtenus par le Jar test.

Dans ce cas le pH est fixé, la dose de floculant est optimale (0,15mg/l), on a varié seulement la dose du coagulant.

Tableau VI - 7 : analyses de l'eau brute pH=7,5

N0 bécher	1	2	3	4	5	6
pH	**7,5**	**7,5**	**7,5**	**7,5**	**7,5**	**7,5**
SA (mg/l)	**30**	**50**	**70**	**90**	**110**	**130**
PE (mg/l)	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**
TURB(NTU)	**5,6**	**4**	**2,13**	**1,47**	**0,85**	**0,80**
MO (mg/l)	**4,83**	**3,54**	**3,92**	**2,26**	**4**	**2**
Al3+ TOT (mg/l)	**0,47**	**0,43**	**0,35**	**0,33**	**0,26**	**0,24**
Al3+ Dessous (mg/l)	**0,048**	**0,075**	**0,063**	**0,065**	**0,024**	**0,018**
MO%	**3,4%**	**29,2%**	**21,6%**	**54,8%**	**20%**	**60,8%**

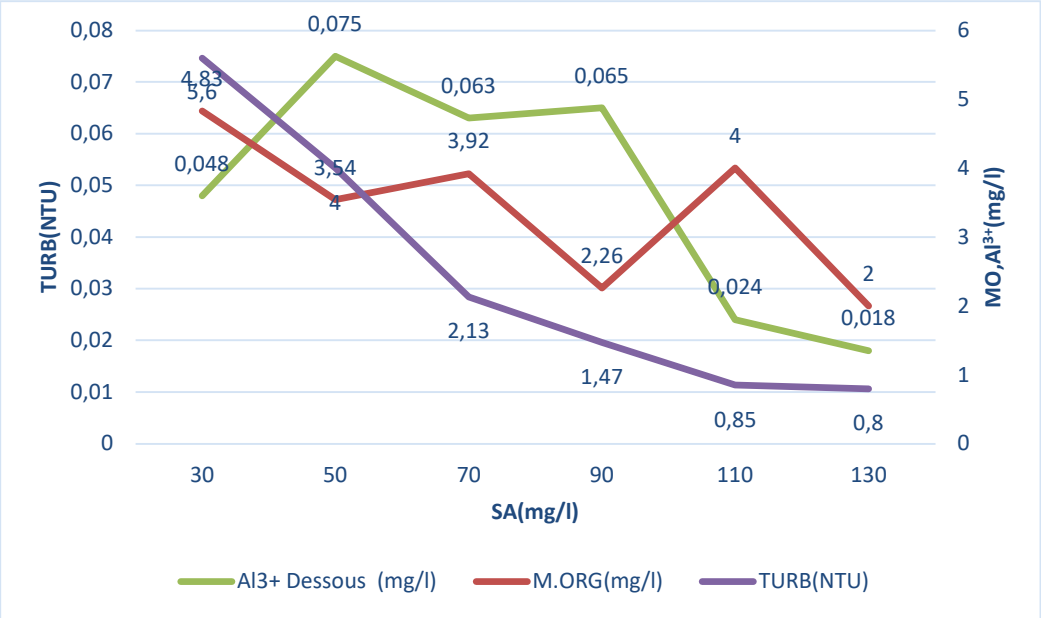


Figure VI - 6 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de la dose SA, pH=7,5

La courbe ci-dessus de la figure N6 trace l'évolution de la turbidité, la matière organique et Al^{3+} dessous, du tableau N7.

Sur cette courbe la dose optimale de coagulant SA, pour la MO est de 90 mg/l

Avec la dose de SA de 110 mg/l, dose de PE 0,15 mg/l et un pH=7,5 les valeurs de la turbidité et de Al^{3+} dessous sont respectivement 0,85 NTU et 0,024 mg/l.

c) pH=8

Dans la troisième série d'expériences sur le Jar teste, effectuée pour un pH=8.
Le tableau N°8 illustre les résultats d'analyses qui montrent la variation des caractéristiques de l'eau, turbidité, matière organique et Al^{3+} en fonction de la dose du coagulant SA et avec une dose optimale fixe du floculant (0,15 mg/l)

Tableau VI - 8 : analyses de l'eau brute pH=8

N0 bécher	1	2	3	4	5	6
pH	8	8	8	8	8	8
SA (mg/l)	30	50	70	90	110	130
PE (mg/l)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
TURB(NTU)	1,48	0,77	0,84	0,8	0,8	0,71
MO (mg/l)	3,14	3,29	2,9	2,6	3,20	2,07
Al3+ TOT (mg/l)	0,35	0,37	0,40	0,36	0,54	0,33
Al3+ Dessous (mg/l)	0,052	0,044	0,055	0,054	0,07	0,056
MO%	37,2%	34,2%	42%	48%	57%	58,6%

La représentation graphique des résultats expérimentaux du tableau N°8 sont donnés par la courbe de la figure N°7

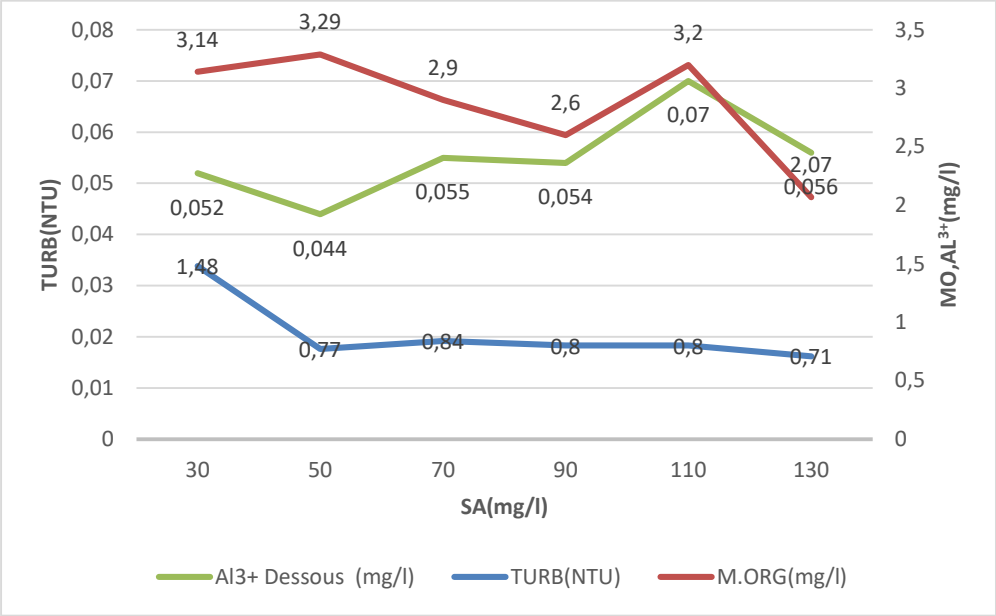


Figure VI - 7 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de SA, pH=8

On remarque sur la figure N°7 que la dose optimale avec un **pH=8** pour le meilleur abattement de la turbidité et de Al^{3+} dessous est égale à 50 **mg/l** de SA qui produit une turbidité **0.77 NTU** et **0.044 mg/l** de Al^{3+}.

L'élimination maximale de la matière organique avec un **pH=8** est assurée avec une dose de SA égale à **90mg/l.**

VI.4.2. $FeCl_3$

a) pH=7,2

Le tableau N9 enregistre les résultats d'analyse de l'eau en fonction des déférentes doses du coagulant pour un pH=7,2 et une dose de PE=0,1mg/l

Tableau VI - 9 : analyses de l'eau brute pH=7,2

N° bécher	1	2	3	4	5	6
pH	**7.2**	**7.2**	**7.2**	**7.2**	**7.2**	**7.2**
$FeCl_3$(mg/l)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**
PE (mg/l)	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**
TURB(NTU)	**5.8**	**3.4**	**2.5**	**2.0**	**1.7**	**1.6**
MO (mg/l)	**3.3**	**3.2**	**3.8**	**3.1**	**1.9**	**3**
Fe^{2+} TOT (mg/l)	/	**0.64**	/	**1.17**	**0.9**	**0.5**
Fe^{2+} dessous (mg/l)	/	**0.031**	/	**<0.02**	**<0.02**	**0.082**
MO %	**34**	**36**	**24**	**38**	**62**	**40**

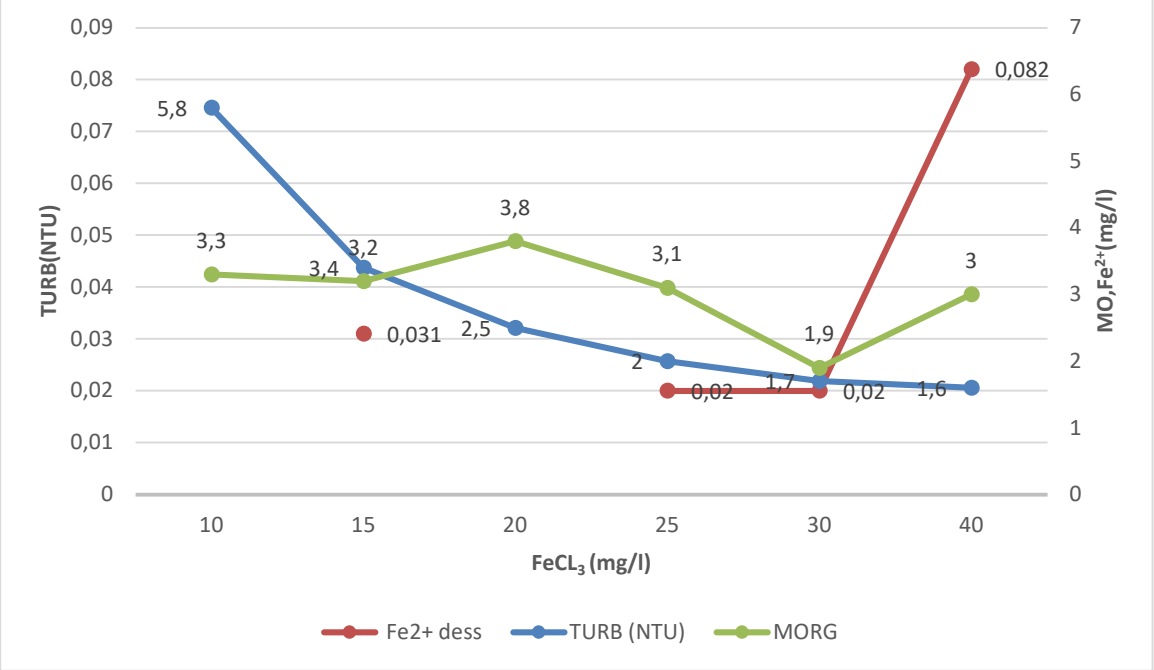


Figure VI - 8 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de $FeCl_3$ pH=7,2

La figure 8 trace la représentation graphique des résultats d'analyses du tableau N°9

On remarque sur la courbe de la figure N 8, que les plus faibles valeurs de la turbidité (1,7 NTU) , de la matière organique (1,9 mg/l) , et de Fe^{2+} dessous(< 0,02 mg/l), ce trouvent à la même valeur de la dose du coagulant ($FeCl_3$)égale à 30 mg/l. (la dose du floculant est fixée à la dose optimale qu'est de 0,1mg/l).

b) pH= 7,5

Le tableau N°10 affiche les résultats expérimentaux obtenus par le Jar test.
Dans ce cas le pH est fixé, la dose de floculant est optimale (0,1mg/l), on a varié seulement la dose du coagulant.

Tableau VI - 10 : analyses de l'eau brute pH=7,5

N° bécher	1	2	3	4	5	6
pH	**7.5**	**7.5**	**7.5**	**7.5**	**7.5**	**7.5**
$FeCl_3$(mg/l)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**
PE mg/l)	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**
TURB(NTU)	**4.3**	**3.6**	**3.2**	**2.5**	**4.7**	**6**
MO (mg/l)	**3.4**	**3.7**	**3.4**	**2.2**	**3.2**	**2.2**
Fe^{2+} TOT (mg/l)	/	**0.58**	/	**1.2**	**0.95**	**0.72**
Fe^{2+} dessous (mg/l)	/	**0.023**	/	**<0.02**	**0.035**	**<0.020**
MO%	**32**	**26**	**32**	**55.2**	**36.8**	**55.2**

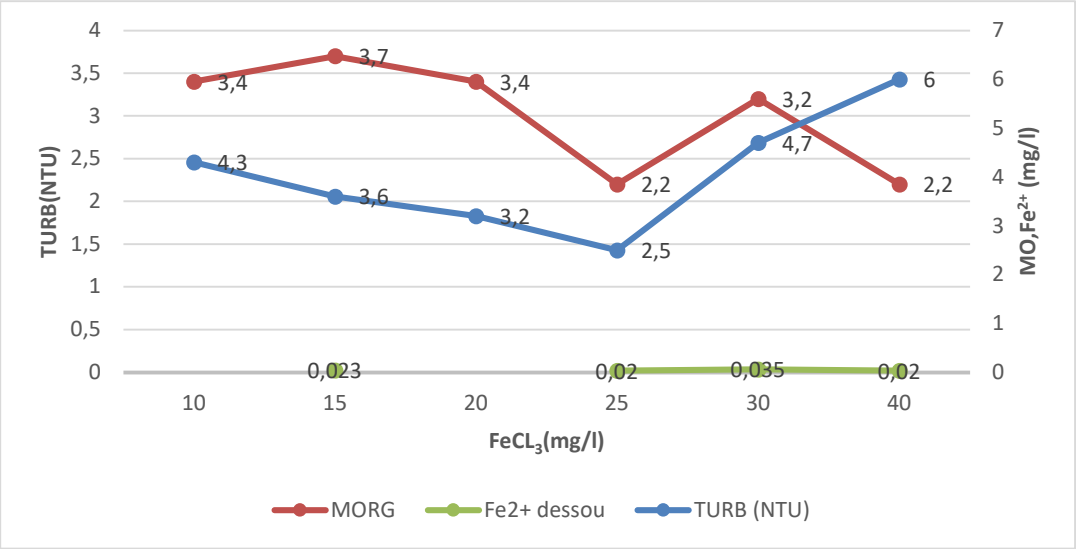


Figure VI - 9 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de $FeCL_3$, pH=7,5

La courbe ci-dessus trace l'évolution de la turbidité, la matière organique et Fe^{2+} dessous, du tableau $N^0$10.

Sur cette courbe la dose optimale de coagulant $FeCl_3$ de 25 mg/l est commune entre la MO, TURB et Fe^{2+} dessous.

Avec la dose de $FeCl_3$ de 25mg/l, dose de PE 0,1 mg/l et un pH=7,5 les valeurs minimales de la turbidité, MO, Fe^{2+} sont respectivement 2,5NTU, 2,2 mg/l et<0,02 mg/l.

Les résultats obtenus montrent l'effet de la variation du pH sur la dose du coagulant ($FeCl_3$) d'où les doses optimales pour un pH=7,5 et un pH=7,2 sont respectivement ,25 mg/l et 30mg/l

pH=8,0

Le tableau N°11 présents les résultats analyses de l'eau en fonction de la dose de $FeCl_3$ pour un pH=8 et une dose du floculant constant de 0.1mg/l.

Tableau VI - 11 : analyses de l'eau brute pH= 8

N0 bécher	1	2	3	4	5	6
pH	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**
$FeCl_3$(mg/l)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**
PE(mg/l)	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**	**0.1**
TURB(NTU)	**5.1**	**8.3**	**8.6**	**7.7**	**6.8**	**6.6**
MO(mg/l)	**3.6**	**2.9**	**2.5**	**1.0**	**2.5**	**2.9**
Fe^{2+} TOT (mg/l)	/	**0.092**	**0.75**	**0.75**	**1.1**	**1.5**
Fe^{2+} dessous (mg/l)	/	**0.098**	**<0.020**	**<0.02**	**0.138**	**0.146**
MO%	**22**	**42**	**50**	**80**	**50**	**42**

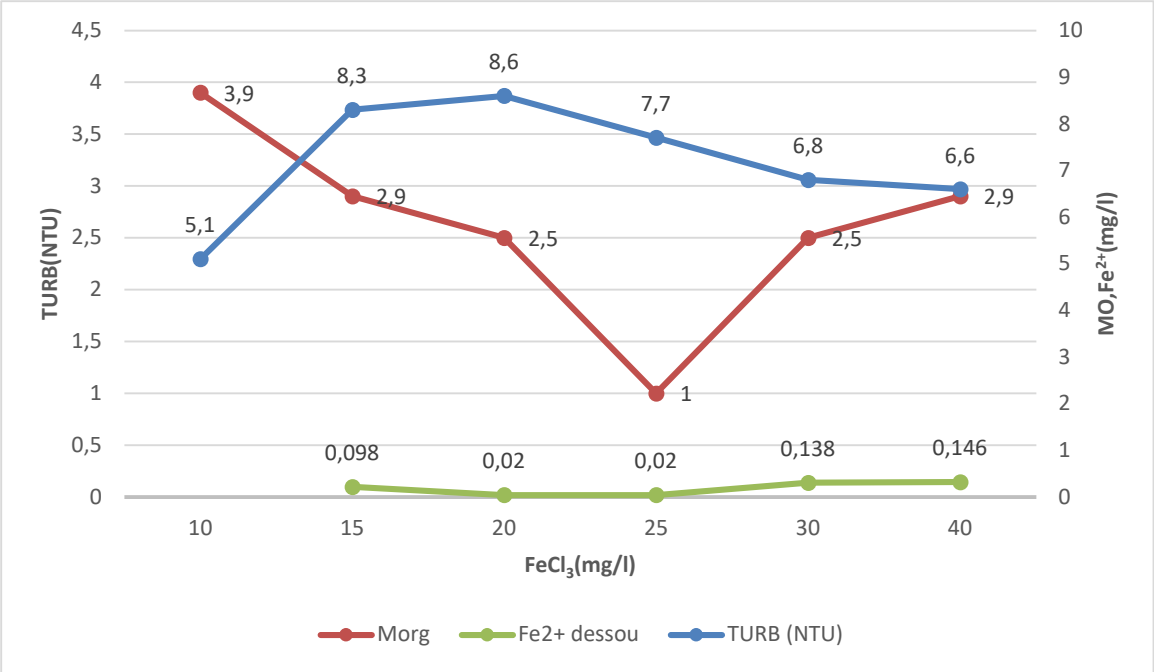


Figure VI - 10 : variation des caractéristiques de l'eau en fonction de FeCL3, pH=8

La courbe de la figure N°10 représente graphiquement les résultats de tableau N°11.

La figure ci-dessus montre que la dose de $FeCl_3$ de **25 mg/l** assure les valeurs minimales de la matière organique et Fe^{2+}, qui sont respectivement **2.5 mg/l** et 0.138 mg/l.

VI.4.3. L'effet de pH sur le rendement d'abattement de l'Al^{3+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimal de coagulant SA.

Le tableau N°12 récapitule les résultats d'analyses pour les déférents pH avec la dose optimale du coagulant (SA) déterminée avec les données des tableaux N°2 égales **110 mg/l.**

Tableau VI - 12 : L'effet de pH sur le rendement d'abattement de l'Al^{3+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimale de coagulant SA.

pH	**7,2**	**7,5**	**8**
SA(mg/l)	110	110	110
PE(mg/l)	0,15	0,15	0,15
TURB(NTU)	0,74	0,85	0,8
Taux d'abattement	98.45	98.22	98.33
MO(mg/l)	2,15	4	3,20
MO%	57	20	36

Al3+ TOT (mg/l)	0,36	0,26	0,54
Al3+ Dessous (mg/l)	0,020	0,024	0,07
Al3+ dessous (mg/l)%	94.44	90.76	87.03

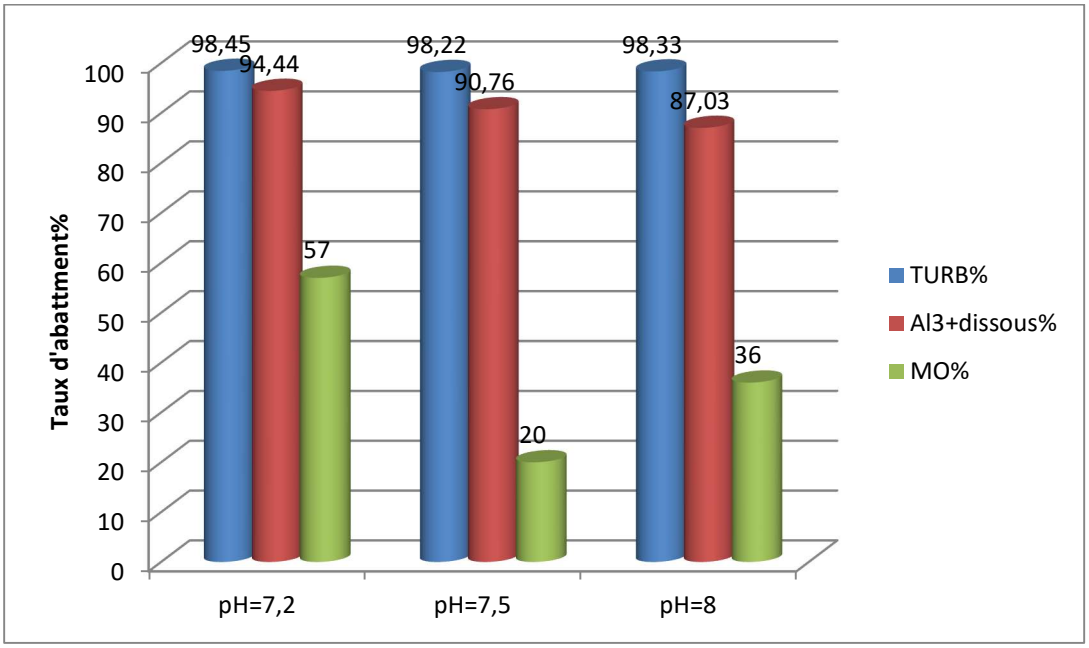


Figure VI - 11 : Histogramme d'évolution de la turbidité, MO et Al^{3+} en fonction des déférents pH

L'histogramme de la figure N°11 montre que les meilleurs rendements d'abattement des trois caractéristiques à savoir, la turbidité, la matière organique et Al^{3+} dessous est assuré à un **pH=7.2** et sont respectivement **98.45%, 57% et 94.44%.**

La turbidité et les concentrations de la matière organique et de Al^{3+} respectent les normes Algériennes de potabilité d'où : TURB=0.74NTU <5NTU, MO= 2.15mg/l<3mg/l et

$[Al^{3+}]_{dessous}$=**0.02 mg/l<0.2 mg/l**.

VI.4.4 : L'effet de pH sur le rendement d'abattement de Fe^{2+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimale de coagulant $FeCl_3$.

Le tableau N°13 récapitule les résultats d'analyses pour les déférents pH avec la dose optimale du coagulant ($FeCl_3$) déterminée avec les données des tableaux N°3 égales 30mg/l.

Tableau VI - 13 : L'effet de pH sur le rendement d'abattement de Fe^{2+} dessous, TURB, MO, avec la dose optimale de coagulant $FeCl_3$

pH	7.2	7.5	8
$FeCl_3$(mg/l)	**30**	**30**	**30**
PE (mg/l)	**0.1**	**0.1**	**0.1**
TURB (NTU)	**1.7**	**4.7**	**6.8**
TURB(NTU)%	**96.45**	**90.20**	**85.83**
MO	**1.9**	**3.2**	**2.5**
MO%	**62**	**36.8**	**50**
Fe^{2+}TOT	**0.9**	**0.95**	**1.10**
Fe^{2+} dessous	**<0.020**	**0.035**	**0.130**
Fe^{2+} dessous%	**97.77**	**96.31**	**88.18**

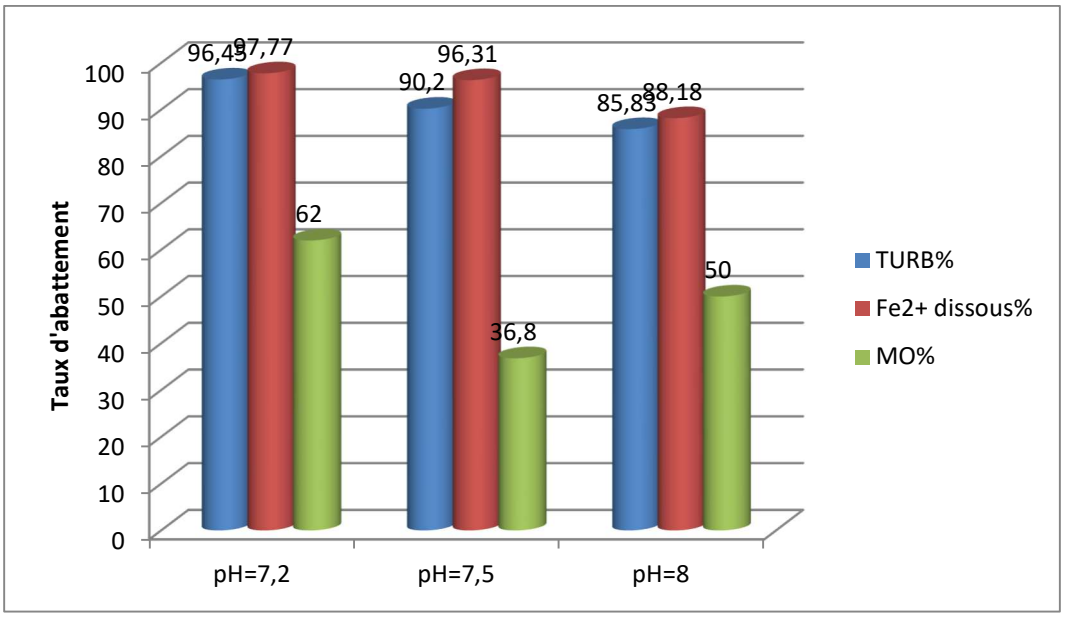


Figure VI - 12 : Histogramme d'évolution de la turbidité, MO et Fe^{2+} en fonction des déférents pH

L'histogramme de la figure N°12 montre que le **pH =7.2** donne les meilleurs taux d'abattement des trois caractéristiques à savoir, la turbidité, la matière organique et Fe^{2+} dessous et sont respectivement **96.45% , 62% et 97.77%.**

La turbidité et les concentrations de la matière organique et de Fe^{2+} respectent les normes Algériennes de potabilité d'où : TURB=**1.7NTU <5NTU,** MO= **1.9mg/l<3mg/l** et

$[Fe^{2+}]_{dessous}$=**<0.02 mg/l<0.2 mg/l.**

Le tableau N°14 récapitule les résultats d'analyses pour les deux coagulants (SA et $FeCl_3$) des tableaux N°12 et N°13, avec le pH optimal **(pH=7.2).**

Tableau VI - 14 : tableau récapitulatif des résultats d'analyses pour les deux coagulants (SA et FeCl3) , avec le pH optimal (pH=7.2).

pH	**7,2**	**pH**	**7.2**
SA(mg/l)	110	**FeCl3(mg/l)**	30
PE(mg/l)	0,15	**PE (mg/l)**	0.1
TURB(NTU)	0,74	**TURB (NTU)**	1.7
TURB(NTU)%	98.45	**TURB(NTU)%**	96.45
MO(mg/l)	2,15	**M.ORG (mg/l)**	1.9
MO(mg/l)%	57	**M.ORG (mg/l)%**	62
Al3+ TOT (mg/l)	0,36	**Fe2+TOT(mg/l)**	0.9
Al3+ Dessous (mg/l)	0,020	**Fe2+ dessous(mg/l)**	<0.020
Al3+ dessous (mg/l)%	94.44	**Fe2+ dessous% (mg/l)**	97.77

Les résultats du tableau N°14 montrent que les deux coagulants assurent de bon rendement d'abattement et qui dépasse **96%** pour la turbidité.

Le rendement d'élimination de MO est de **57%** avec sulfate d'aluminium et 62**%** avec chlorure ferrique.

La remarque à tirer de ce tableau est la déférence importante entre les doses optimales des deux coagulants (**SA=110 mg/l** et **$FeCl_3$=30mg/l**).

IV.5. Etude économique :

Vu les bons rendements d'élimination des deux coagulants, une étude économique est avérée nécessaire pour le choix du coagulant entre le SA et $FeCl_3$, qui convient la station de traitement d'eau potable de BOUDOUAOU.

Le tableau N°15 présente les quantités et les coûts mensuels du sulfate d'aluminium et du chlorure ferrique.

Tableau VI - 15 : estimation des quantités et des coûts des coagulants

Produit	**Volume produit /mois (m3)**	**Taux de traitement (mg/l)**	**Quantité de produit consommée tonnes/mois**	**Prix U (DA/KG)**	**Montant total (M DA) million DA/mois**	**Origine du produit**
Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$	2592000	110	285,12	49	13970880	Importation (France)
Chlorure ferrique $FeCl_3$	2592000	30	77,6	53	4121280	Local (Mostaganem)

Les calculs du tableau N°15 montrent que la quantité mensuelle du sulfate d'aluminium égale à 285.12 tonnes/mois est beaucoup plus importante par apport à la quantité du chlorure ferrique 77.6 tonnes/mois.

Les estimations des dépenses mensuelles basées sur le prix unitaire liées à la consommation des coagulants sont reportées au tableau N°15. Les dépenses pour SA et $FeCl_3$ sont chiffrées respectivement aux montants 13970880 DA/mois et 4121280DA/mois.

Un gain de 13970880-4121280=9849600DA/mois, si on remplace le SA par le $FeCl_3$ comme coagulant.

On note que le sulfate d'aluminium est un produit d'importation (France), par contre le chlorure ferrique est un produit local (Mostaganem).

Donc on peut dire que le choix du chlorure ferrique comme coagulant pour la station de traitement d'eau potable BOUDOUAOU est meilleur par apport au sulfate d'aluminium.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'étude menée sur le traitement de l'eau brute de la station de BOUDOUAOU a mis en lumière l'efficacité du sulfate d'aluminium comme coagulant couramment utilisé et le chlorure ferrique dans le but d'en faire un choix technico-économique du meilleur coagulant.

Les résultats obtenus suite aux essais réalisés par Jar test sur l'eau brute ont permet de cerner les doses optimales des coagulants utilisés à savoir le SA et $FeCl_3$ et qui sont respectivement 110mg/l et 30mg/l. Alors que les doses optimales du floculant sont de l'ordre de 0.15mg/l avec sulfate d'aluminium et 0.1 mg/l en présence du chlorure ferrique.

En partant des doses optimales des coagulants- floculant sus-citées, une étude paramétrique basée sur la recherche du pH optimale a été menée propre à notre échantillon.

Le retour d'expérience acquis à la station a permis de définir les valeurs de pH convenables à arrêter. Ses valeurs sont : 7.2, 7.5 et 8.

Les résultats obtenus ont montré que pour les deux coagulants le pH =7.2 donne les meilleurs taux d'abattement des paramètres qui ont fait l'objet de cette étude.

Dans le cas de sulfate d'aluminium les rendements d'abattement des trois paramètres : turbidité, matière organique et Al^{3+} dissous sont respectivement : 98.45%, 57% et 94.44%. et qui correspondent à des valeurs répondant aux normes algériennes de potabilité : TURB=0.74NTU <5 NTU, MO= 2.15mg/l<3mg/l et $[Al^{3+}]_{dessous}$=0.02 mg/l<0.2 mg/l.

Dans le cas du chlorure ferrique les taux d'élimination de la turbidité, MO et Fe^{2+} dissous sont respectivement : 96.45% , 62% et 97.77%, permettant ainsi de les ramener à des valeurs respectant les normes algériennes de potabilité : : TURB=1.7NTU <5 NTU, MO= 1.9mg/l<3mg/l et $[Fe^{2+}]_{dessous}$=<0.02 mg/l<0.2 mg/l.

Les estimations des dépenses mensuelles basées sur le prix unitaire liées à la consommation des coagulants sont reportées au tableau N°15. Les dépenses pour SA et $FeCl_3$ sont chiffrées respectivement aux montants 13970880 DA/mois et 4121280DA/mois.

Si on remplace le SA par le $FeCl_3$ comme coagulant, un gain de 9849600DA/mois est garanti.

Le chlorure ferrique se révèle être un coagulant alternatif prometteur pour le traitement de l'eau brute de la station de BOUDOUAOU. Son efficacité, le coût et sa disponibilité locale en font un choix stratégique pour un fonctionnement durable et économique de la station.

Annexes

ANNEXE

Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine

Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux déssalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l 02	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrêne, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l µg/l	0,2 0,01
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	300

ANNEXE (suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	1
	Pesticides par substance individualisée		
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/l	0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbamates	µg/l	0,1
	- Herbicides	µg/l	0,1
	- Fongicides	µg/l	0,1
	- P.C.B	µg/l	0,1
	- P.C.T	µg/l	0,1
	- Aldrine	µg/l	0,03
	- Dieldrine	µg/l	0,03
	- Heptachlore	µg/l	0,03
	- Heptachlorépoxyde	µg/l	0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlorite	µg/l	0,07
	Trihalométhanes par substance individualisée :		
	-Chloroforme	µg/l	200
	- Bromoforme	µg/l	100
	- Dibromochlorométhane	µg/l	100
	- Bromodichlorométhane	µg/l	60
	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
	1,2-Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300
	Trichloroéthylène	µg/l	20
	Tetrachloroéthylène	µg/l	40
Radionucléides	Particules alpha	Picocuriel/L	15
	Particules béta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Enthérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductices y compris les spores	n/20ml	0

Tableau 2

Paramètres avec valeurs indicatives

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO3	65 pour les eaux déssalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO3	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	µg/l	50
	Phosphore	mg/l	5
	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Décret exécutif n° 14-97 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondaut au 4 mars 2014 portant dissolution de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun.

— — — —

Le Premier Ministre,

Sur le rapport du ministre des roussources en eau,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2),

Vu le décret présidentiel n° 13-312 du 5 Dhou El Kaâda 1434 correspondant au 11 septembre 2013 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 94-294 du 19 Rabie Ethani 1415 correspondant au 25 septembre 1994 relatif aux modalités de dissolution et de liquidation des entreprises publiques non autonomes et des établissements publics à caractère industriel et commercial ;

Vu le décret exécutif n° 07-337 du 19 Chaoual 1428 correspondant au 31 octobre 2007 portant création de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun ;

Après approbation du Président de la République ;

Décrète :

Article 1er. — L'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun, créée par les dispositions du décret exécutif n° 07-337 du 19 Chaoual 1428 correspondaut au 31 octobre 2007 portant création de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun est dissoute.

Art. 2. — La dissolution de l'agence prévue a l'article 1er ci-dessus, donne lieu à l'établissement d'un inventaire quantitatif, qualitatif et estimatif dressé conformément aux lois et règlements en vigueur par une commission dont les membres sont désignés conjointement par le ministre des finances et le ministre chargé des ressources en eau.

Art. 3. — Le présent décret sera publié au *Journal Officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger le 2 Joumada El Oula 1435 Correspondant au 4 mars 2014.

Abdelmalek SELLAL.