



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° d'ordre : M2.../GPE/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

Thème

**Analyse Physico-Chimique de l'eau
Station de traitement des eaux « SIDI LADJEL »**

Présenté par :

- 1- DJELTI Hakim
- 2- CHERIFI Abderrahmane

Soutenu le 13/09/ 2022 devant le jury composé de :

Présidente :	M ^{me} . K. SOLTANE	M.A.A	UMAB-Mostaganem
Examinatrice :	M ^{me} N. HADDOU	M.C.B	UMAB-Mostaganem
Encadreur :	M ^r . A. DAHMANE	M.A.A	UMAB-Mostaganem

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au laboratoire de station de traitement des eaux « SIDI LADJEL » à Oued El-khier, sous la supervision du Département de Génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université A.IBN BADIS – MOSTAGANEM.

Nous remercions tout d'abord dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour mener à bien ce travail.

Nous remercions les responsables de l'entreprise SEOR de nous avoir acceptés pour mener à bien ce projet de fin d'étude.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre promoteur **M^r. A. DAHMANE** de nous avoir permis de préparer ce travail dans les meilleures conditions. Nous tenons à le remercier tout particulièrement pour la confiance qu'il nous a accordée. Ses compétences scientifiques nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions la présidente et les jurés qui serviront dans l'honneur de juger notre travail.

Nous remercions vivement **M^{me} K. SOLTANE** de nous avoir honorés en acceptant de présider le jury et d'avoir pris le temps de lire ce travail.

Nous remercions également **M^{me} N. HADDOU** pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de juger notre travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants, qui ont assuré notre formation durant notre cycle universitaire.

Finalement, il nous est particulièrement agréable d'exprimer ici notre reconnaissance envers nos familles respectives dont le soutien a été essentiel tout au long de nos études ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le chemin droit tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

- *A mes chers parents, en reconnaissance de tous leurs sacrifices et leur soutien en toutes circonstances,
Que Dieu vous bénisse, vous protège, et vous accorde santé et longue vie.*

A mes sœurs et mes chers frères

A mes amies, mes copines et mes fidèles compagnes dans les moments les plus délicats.

Abderrahmane

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le chemin droit tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

- *A mes chers parents, en reconnaissance de tous leurs sacrifices et leur soutien en toutes circonstances,
Que Dieu vous bénisse, vous protège, et vous accorde santé et longue vie.*

A mes sœurs et mes chers frères

A mes amies, mes copines et mes fidèles compagnes dans les moments les plus délicats.

Hakim

Liste des Tableaux

Tableau.III.1 : Résultats de chlore injecté sur le chlore libre résiduel.....	25
Tableau IV.1 : différentes Paramètres physico-chimique (TAC, TH..) le 04/04/2022.....	28
Tableau IV.2 : différentes Paramètres physico-chimique (TAC, TH..) le 10/04/2022.....	29
Tableau IV.3 : différentes Paramètres physico-chimique (TAC, TH..) le 13/04/2022.....	29
Tableau IV.4 : Essai N ⁰ 01-01 (FT) de Jar test (S.A) le 04/04/2022.....	29
Tableau IV.5 : Essai N ⁰ 02-01 (MT) de Jar test (SA) le 05/04/2022.....	29
Tableau IV.6 : Essai N ⁰ 03-01 (fT) de Jar test (SA) le 10/04/2022.....	30
Tableau IV.7 : Essai N ⁰ 1-2 (FT) de Jar test (polymère) le 04/04/2022.....	30
Tableau IV.8 : Essai N ⁰ 2-2 (MT) de Jar test (Polymère) le 05/04/2022.....	30
Tableau IV.9 : Essai N ⁰ 03-02 (fT) de Jar test (polymère) le 10/04/2022.....	31
Tableau IV.10 : Essai N ⁰ 04-01 (FT) de Jar test (FeCl ₃) le 11/04/2022.....	32
Tableau IV.11 : Essai N ⁰ 05-01 (MT) de Jar test (FeCl ₃) le 12/04/2022.....	32
Tableau IV.12 : Essai N ⁰ 04-2 (FT) de Jar test (Polymère) le 11/04/2022.....	33
Tableau IV.13 : Essai N ⁰ 05-2 (MT) de Jar test (Polymère) 12/04/2022.....	33

Liste des Figures

Figure. I.1 : Société de SEOR	5
Figure. I.2 : Carte du couloir d'adduction « M.A.O »	6
Figure. I.3 : Schéma du transfert	6
Figure. II.1 : Débourbeur	7
Figure. II.2 : Cascade d'aération	8
Figure. II.3 : Densadeg	8
Figure. II.4 : Agitateur rapide (coagulation)	9
Figure. II.5 : Agitateur lent (floculation).....	11
Figure. II.6 : Déversoir.....	12
Figure. II.7 : Filtre.....	13
Figure. II.8 : Lavage d'un filtre	13
Figure. II.9 : Réservoir de stockage (A/B).....	14
Figure. II.10 : Epaisseur de boue	14
Figure. II.11 : Salle de contrôle.....	15
Figure. III.1 : Robinets d'échantillonnages.....	16
Figure. III.2 : Changement de couleur de l'échantillon lors d'essai.....	17
Figure. III.3 : Résultat de titrage (H ₂ SO ₄ (N/25)).....	18
Figure. III.4 : Résultat de Titrage d'EDTA	18
Figure. III.5 : Résultats de titrage EDTA pour Ca ²⁺	19
Figure. III.6 : Titrage d'AgNO ₃	20
Figure. III.7 : Couleur de présence des PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂	21
Figure. III.8 : Résultats du test d'Ammonium.....	21
Figure. III.9 : Volume titré (H ₂ SO ₄).....	22
Figure. III.10 : Echantillon Test d'Al ³⁺	22
Figure. III.11 : Flacons de verre avec l'eau à étudier	24
Figure. III.12 : Influence du Chlore injecté sur le Chlore résiduel.....	25
Figure IV.1 : Classement des floes	27
Figure IV.2 : Formation des floes Essai N ⁰ 01-2, N ⁰ 02-2 et N ⁰ 03-2 bécber N ⁰ 06.....	31
Figure IV.3 : Essai N ⁰ 04-02 (FT) Jar test lors d'agitation lente	34
Figure IV.4 : Essai N ⁰ 05-02 formation des floes	34

Liste des Abréviations

JC : Jésus-Christ

ANBT : Agence Nationale de Barrages et Transferts

MAPA : Marché A Procédure Adaptée

M.A.O : Mostaganem, Arzew et Oran

MES : matière en suspension

MO : matière organique

TA : titre alcalimétrique

TAC : taux d'alcalinité complet

TH : taux hydrotimétrique (la dureté)

TDS : taux de sels dessous

RS : résidu sec

EB : eau brute

ET : eau traitée

ED : eau distillé

EDTA : Éthylènediaminetétraacétique

pH : potentiel hydrogène

C : concentration

BG : base gamme

HG : haute gamme

FT : forte turbidité

MT : moyenne turbidité

FT : faible turbidité

DPD : diéthyl-p-phénylènediamine

Cl_r : chlore résiduel

Cl_t : chlore totale

Les unités

DA : Dinar Algérien

km : kilomètre

m : mètre

m² : mètre carré

m³ : mètre cube

hm³ : hectomètre cube

m³/j : mètre cube par jour

L : litre

mL : millilitre

L/s : litre par seconde

g/L : gramme par litre

mg/L : milligramme par litre

mol/L : mole par litre

mmol/L : milli -mole par litre

N : normalité

min : minute

°C : degré Celsius

°Cl : degré en chlore

°F : degré français

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

P- Co : Platino-Cobalt

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste de figures	
Liste des abréviations	
Liste des unités	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités

I.1. L'historique du traitement des eaux	3
I.2. Origine et différents types d'eau	3
I.2.1 Eaux de pluie	4
I.2.2 Eaux de surface.....	4
I.2.3 Eaux souterraines.....	4
I.2.4 Eaux de mer et océan.....	4
I.3 Présentation de SEOR.....	4
I.4 Présentation de la station de traitement d'eau de Sidi Lahdjel.....	5

Chapitre II : Processus de traitement de l'eau

II.1. Introduction	7
II.2 Débourbeur	7
II.3 Ouvrage d'entrée d'eau brute	7
II.1.1 Chambre d'arrivée.....	7
II.1.2 Cascade d'aération	7
II.2 Densadeg	8
II.2.1 Coagulation	8
II.2.1.1 Principe.....	8
II.2.1.2 Coagulants utilisés.....	9
II.2.2 Flocculation.....	11
II.2.3 Clarification.....	11
II.5. Filtration	12
II.5.1 Principe.....	12
II.5.2 Lavage des filtres	13
II.6 Réservoir d'eau traitée	13
II.7 Traitement des boues.....	14
II.8 Système de contrôle.....	15

Chapitre III : Méthodes d'analyse de l'eau

III.1 Introduction	6
III.2 Echantillonnage	16
III.3 Appareils et matériels	16
III.4 Paramètre physico-chimique	17
III.4.1 L'indice de permanganate (matières organiques)	17
III.4.2 Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)	17
III.4.3 La dureté ou titre hydrotimétrique (TH)	18
III.4.4 La teneur de calcium et magnésium	18
III.4.5 Dosage des chlorures	19
III.5 Paramètre de pollution	20
III.5.1 Dosage des nitrates par spectrophotométrie	20
III.5.2 Dosage des nitrites par spectrophotométrie	20
III.5.3 Dosage du phosphate par spectrophotométrie	20
III.5.4 Détermination de l'ammonium	21
III.5.5 Détermination de l'aluminium	22
III.5.6 Détermination du fer total	22
III.5.7 Dosage des matières en suspension	23
III.5.8 Détermination du résidu sec	23
III.6 Demande en chlore	23
III.7 Essai de coagulation-floculation (Jar-Test)	26
III.7.1 Définition	26
III.7.2 Le but	26
III.7.3 Les réactifs	26
III.7.4 Protocole	26

Chapitre IV : Résultats et interprétation

IV.1 Introduction	27
IV.2 Résultats expérimentaux	27
IV.2.1 Détermination de la dose optimale pour le coagulant sulfate d'aluminium	27
IV.2.2 Détermination de la dose optimale pour le coagulant chlorure ferrique	32
Conclusion générale	37

Références

Annexes

Introduction

Introduction générale

Introduction générale

Depuis ces dernières décennies, l'humanité est de plus en plus consciente du Danger menaçant la planète suite à la grande croissance démographique et aux énormes progrès technologiques qui engendrent l'insalubrité de l'environnement.

L'eau, ou autrement dite l'or bleu, constitue dans nos jours un grand problème touchant la globalité de la terre. Pour ça, il faut alors la préserver par tous les moyens possibles : diminution du gaspillage ; réutilisation des eaux usées et introduction de ces dernières dans des techniques spéciales de recyclage.

L'eau est indispensable à l'existence, au développement et à la vie de tous les êtres vivants y compris l'homme. Ainsi l'eau est nécessaire à la réalisation des activités humaines qu'elles soient industrielles, domestiques ou pour l'agriculture. L'eau recouvre 72 % de la surface de la terre mais seulement 0,3 % des réservoirs globaux en eau sont utilisés comme eau potable. [1]

En effet l'eau est une ressource élémentaire à la vie elle est indispensable pour l'homme. On l'utilise pour des usages quotidiens, l'agriculture, boisson, l'hygiène et industrie. Malgré cette abondance de l'eau, elle est inégalement répartie et inégalement accessible. [1]

La qualité des eaux d'un cours d'eau est définie par l'étude d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques, organiques et bactériologiques. Ces paramètres issus souvent de l'activité humaine, provoquent, sous une intensité une concentration anormale, une altération de la qualité des eaux naturelles. [1]

Plusieurs logiciels proposent actuellement des modèles qualité qui permettent de simuler l'évolution de certains paramètres liés à la qualité de l'eau. [1]

Comme la prévention et le contrôle de la pollution de l'eau ont été menés en profondeur, le modèle de qualité de l'eau qui reflète la règle de changement du polluant et la relation entre les composants de la qualité de l'eau dans l'environnement aquatique, a joué un rôle de plus en plus important dans la planification de la protection de l'environnement aquatique à l'étranger, le modèle QUAL2K en tant que modèle complet de la qualité de l'eau a été largement utilisé dans la simulation de la qualité de l'eau, mais les institutions nationales et les universitaires l'ont encore rarement abordé ces dernières années. [1]

L'objectif de ce travail consiste à l'étude des propriétés physicochimiques des eaux potables dans la station de traitement de SIDI LADJEL à Mostaganem, qui contribue à la protection des ressources hydriques et surtout à la sauvegarde de l'environnement.

I.1 Historique du traitement des eaux

Dans les écrits en grec ancien et en sanskrit (Inde) datant de 2000 avant JC, des méthodes de traitement de l'eau étaient recommandées. Les gens savaient que le chauffage de l'eau pouvait la purifier, et ils ont également été formés à la filtration, à l'ébullition et à la filtration sur sable et gravier.

Après 1500 avant JC, les Égyptiens ont découvert pour la première fois le principe de la coagulation. Ils ont appliqué l'alun chimique pour la sédimentation des particules en suspension. Des photos de cette technique de purification ont été trouvées sur le mur du tombeau d'Aménophis II et de Ramsès II [2].

Après 500 avant JC, Hippocrate a découvert les pouvoirs de guérison de l'eau. Il a inventé la pratique du tamisage de l'eau et a obtenu le premier filtre à manches, qui était appelé le « Manchon hippocratique ». Les Assyriens ont construit la première structure qui pouvait transporter l'eau d'un endroit à un autre au 7ème siècle avant JC.

Plus tard, les Romains ont commencé à construire bon nombre de ces structures. Ils les ont appelés aqueducs. En latin, aqua signifie « eau » et ducere signifie « diriger ».

Les aqueducs romains étaient des pièces d'ingénierie très sophistiquées, entièrement alimentées par gravité et transportant l'eau sur de très grandes distances. La plupart des aqueducs étaient des structures souterraines, pour les protéger en période de péril et prévenir la pollution.

Ensemble, ils ont fourni à Rome plus d'un million de mètres cubes d'eau par jour. Aujourd'hui, des aqueducs peuvent encore être trouvés sur certains sites en France, en Allemagne, en Espagne et en Turquie. Les États-Unis ont même repris la construction d'aqueducs pour ravitailler en eau les grandes villes. De nombreuses techniques utilisées par les Romains dans leurs aqueducs peuvent être vues dans les égouts modernes et les systèmes de transport d'eau[2].

I.2. Origine et différents types d'eau

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition, nous pouvons envisager selon le mode de gisement, quatre sources principales d'eau : les eaux de pluie, eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux de mer [2].

I.2.1 Eaux de pluie :

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces [3].

I.2.2 Eaux de surface

Ce type d'eau englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages, ...). Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [3].

I.2.3 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérisent par une turbidité faible où leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante.

Comme elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquent la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium [3].

I.2.4 Eaux de mer et océan

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part [3].

I.3 Présentation de SEOR

La Société de l'eau et de l'assainissement d'Oran « SEOR », est une société par actions dont les actionnaires sont l'Algérienne des Eaux « ADE » et l'Office National de l'Assainissement « ONA ». Mise en place le 1er avril 2008, elle fut chargée du service public de l'eau potable et de l'assainissement de la wilaya d'Oran, tout en ayant comme objectif principal l'amélioration de la qualité du service d'alimentation en eau potable et ainsi la qualité de vie des citoyens.

La SEOR a misé dès le départ sur le développement des moyens humains et matériels en introduisant de nouvelles technologies visant l'efficacité, non seulement sur le plan technique et économique, mais aussi sur le plan environnemental [4].



Figure. I.1 : Société de SEOR

I.4 Présentation de la Station de traitement d'eau de « SIDI LAHDJEL »

La station de traitement d'eau potable de « SIDI LAHDJEL » est un projet de grande ampleur confié par l'ANBT, maître de l'ouvrage, après soumission à un appel d'offre nationale et internationale aux sociétés (Espagne-France) et « Dégremont » et « MAPA » (Turquie) [4].

Les travaux de réalisation de cet ouvrage ont débuté le 25 avril 2006 et ils ont été achevés en août 2008 pour une durée de 28 mois avec un budget total de « 9.291.388.693,99 DA ».

Le site de la station de traitement d'eau est situé dans la localité de « Sidi Lahdjel », à 26 km de « Mostaganem » et à 2 km de la commune « d'Oued-Kheir » elle est accessible par le chemin de wilaya N° 13.

La station de traitement d'eau assure l'approvisionnement en eau potable des villes de Mostaganem, Arzew, Oran et les régions avoisinantes, à partir de « l'oued Chélif » et le barrage de « Kerrada » [4].



Figure. I.2 : Carte du couloir d'adduction « M.A.O »



Figure. I.3 : Schéma du transfert

La capacité nominale de la station de traitement est de $561.600 \text{ m}^3/\text{j}$ (6500 l/s) d'eau brute débourbée.

La capacité d'eau sera supérieure à $528.000 \text{ m}^3/\text{j}$ basé sur un taux maximal de perte de 6%. Comme il n'est pas prévu de ré-circuler les eaux de lavage des filtres, sera en moyenne d'environ 3% permettant une production de $545.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($6307,87 \text{ l/s}$).

Son objectif est de régulariser un volume de 155Hm^3 par an de l'eau de « Chélif », dont le débit résiduel annuel moyen à l'embouchure est de l'ordre de 500Hm^3 , d'en stoker temporairement une partie à « KERRADA » et, après traitement convenable, la transférer, en fonction de la demande, vers les centres urbains et industriels implantés le long du couloir « M.A.O » [4].

Chapitre II :

Processus de traitement de l'eau

II.1 Introduction

La potabilisation des eaux superficielles nécessite de faire appel à un ensemble de procédés de traitement physique, chimiques et biologique.

Les procédés de traitement de l'eau agissant comme des barrières infranchissables permettant de garantir de manière permanente la potabilité de l'eau produite et distribuée en assurant le degré adéquat de traitement de l'eau brute. Ce traitement s'effectue en plusieurs étapes.

II.2 Débourbeur

Les déboueurs permettent pour les eaux fortement chargées d'éliminer une bonne partie des matières en suspension (MES) les plus facilement décantables.

Généralement le débouage s'effectue après ajout d'un flocculant pour « adhésion » des grosses particules des matières en Suspension (MES).

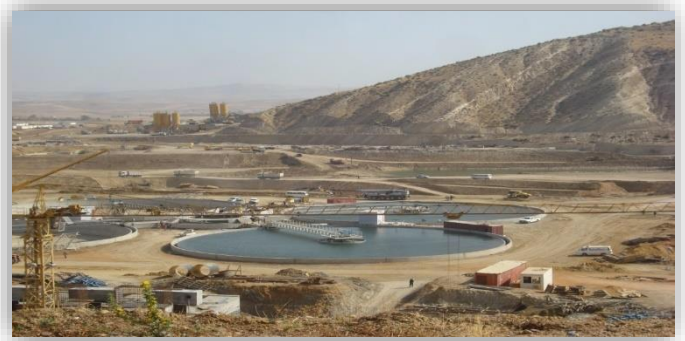


Figure. II.1 : Déboueur

Il a été installé huit (8) déboueurs, 7 en marche et 1 à l'arrêt dont le diamètre est de 50 m et la surface unitaire est de 1962,5 m² et un volume de 8400 m³ [5].

II.3 Ouvrage d'entrée d'eau brute

II.3.1. Chambre d'arrivée :

La tuyauterie d'eau brute sera équipée d'un débitmètre électromagnétique DN 2000 capable de garantir une précision de 1% sur l'échelle de mesure.

II.3.2. Cascade d'aération :

L'aération de l'eau consiste à mettre en contact de façon optimale de l'eau et de l'air, dans cette étape on a une injection du H₂SO₄ pour diminuer le pH et une injection de chlore gazeux pour une désinfection de l'eau. Les objectifs de l'aération sont :

- Élimination de gaz en excès
- Lutte contre les odeurs indésirables
- Introduction d'oxygène afin d'assurer l'oxydation de certains composés réducteurs, tel que le fer ou le manganèse [5].



Figure. II.2 : Cascade d'aération

II.4 Densadeg

A la suite de la cascade, l'eau est conduite avec un canal de 3,00m x 3,00m jusqu'aux chambres de mélange. Le débit sera réparti suivant 06 modules identiques (Densadeg).

Le Densadeg est un système de grande capacité qui combine une coagulation, une floculation optimale, une décantation et un recyclage épaissement interne et externe des solides dans deux réacteurs consécutifs de manière à maximiser la performance du traitement [5].

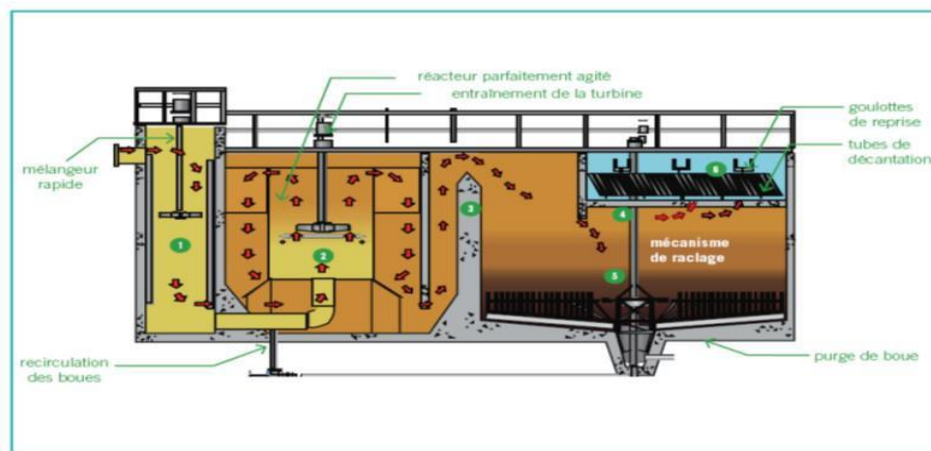


Figure. II.3 : Densadage

II.4.1 Coagulation

II.4.1.1 Principe

Les colloïdes sont des particules de très faible diamètre notamment responsable de la couleur et de la turbidité de l'eau de surface. En raison de leur très faible vitesse de sédimentation la seule solution pour éliminer les colloïdes est de procéder à une coagulation-floculation.

La coagulation consiste à les déstabiliser en éliminant la charge électrostatique de manière à

ensuite favoriser leur rencontre [6].

Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent donc en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution [7].

Pour obtenir une bonne coagulation, il faut un mélange rapide à haute énergie pour disperser correctement le coagulant et favoriser les collisions entre les particules. Un mélange excessif n'affecte pas la coagulation, mais un mélange insuffisant rendra cette étape incomplète.

Le temps de contact dans la chambre de mélange rapide est généralement de 1 à 3 minutes [8].



Figure. II.4 : Agitateur rapide (coagulation)

II.4.1.2 Coagulants utilisés

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant doit tenir compte de l'innocuité de produit, de son efficacité et de son coût [6]. Les plus employés sont à base de sels d'aluminium ou de fer.

a) *Sulfate d'aluminium*

Il est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau [9].



L'aluminium est un amphotère qui est soluble sous forme d'aluminate aux pH acides et sous forme d'hydroxyde aux pH basiques. Le minimum de solubilité se manifeste proche de la neutralité (5.8-7.2 pH)

La solubilité de l'aluminium dans l'eau augmente avec :

- Le pH (évolution exponentielle) ;
- La température de l'eau (évolution proportionnelle) ;
- Le taux de coagulant (évolution proportionnelle) ;

Mais aussi avec les caractéristiques chimiques de l'eau (minéralisation, TAC, présence de fluor et de phosphates qui augmentent la solubilité de l'aluminium) [10].

Il ne peut donc être défini une zone de pH fixe pour toutes les eaux brutes, correspondant au minimum de solubilité.

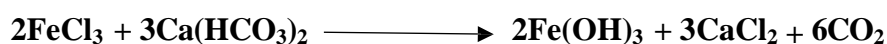
Le pH optimal de coagulation floculation pouvant varier de 6 à 7,4.

b) *Chlorure ferrique*

Le chlorure de fer (III) (FeCl_3) est un sel de fer largement utilisé dans le traitement des eaux, le chlorure ferrique existe sous forme solide et liquide qui est la plus utilisée.

La forme liquide commerciale est obtenue par dissolution du fer en milieu acide chlorhydrique avec formation de chlorure ferreux. Celui-ci est ensuite oxydé par le chlore en chlorure ferrique. La solution aqueuse ainsi obtenue de coloration rouge brune contient 40% de FeCl_3 (570 g/L) [11].

Le chlorure ferrique est employé comme coagulant, FeCl_3 agit efficacement dans une large gamme de pH comprise entre 4 et 8.5 d'où une économie de la consommation des réactifs pour ajuster le pH et des flocculant.



À l'état liquide, il présente un certain nombre d'avantages relatifs à son acheminement (pas de perte de produits et l'économie énergétique des mélangeurs).

En revanche, le chlorure ferrique est toxique et hautement corrosif. La forme anhydre est un agent déshydratant très puissant. Il doit être manipulé avec précautions [11].

II.4.2 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 a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, et former des floccs de taille plus importante [12]. On utilise pour ce faire, des flocculants qui sont généralement des polymères.

Comme pour la coagulation, il existe des paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement. Le mélange doit être lent afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation et éviter le risque de les briser, sa durée se situe entre 10 et 60 minutes [9].



Figure. II.5 : Agitateur lent (floculation)

II.4.3 Clarification

Les solides flocculés entrent dans la zone de décantation en passant au-dessus d'un mur déversoir submergé, ou les matières en suspension plus denses se déposent au fond du décanteur (effet de gravité). L'eau clarifiée se sépare de la boue descendante et remonte à travers des tubes de décantation inclinés.

La boue décantée est progressivement épaissie à la base du décanteur au moyen d'un racleur équipé d'une herse, une partie de ces boues est recirculée vers le réacteur de mélange. L'eau clarifiée est uniformément recueillie dans des goulottes d'eau décantée situées au-dessus de modules tabulaires de décantation [5].



Figure. II.6 : Déversoir

II.5 Filtration

II.5.1 Principe

La filtration est un procédé physique de séparation solides /liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire (le plus courant est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau prétraitée (floculée et décantée).

L'eau clarifiée est filtrée sur une batterie de 18 filtres « Aquazur V » Chaque filtre est constitué par une cuve en béton armé formé de deux compartiments de (5* 15,14 m) chacun, séparés par un canal axial surmonté d'une goulotte d'évacuation des boues de lavage.

Chaque compartiment est pourvu d'un faux plancher, formé de dalles de béton préfabriquées reposant sur des poutres et dans lesquelles sont vissées des buselures spéciales à longue queue. Le milieu filtrant est constitué par une couche de 1.2m de sable siliceux de granulométrie uniforme [5].

L'eau est distribuée au-dessus du sable par le déversoir d'entrée. Elle traverse le sable où les matières en suspension sont retenues. Les buselures équipant le plancher collectent l'eau uniformément dans une chambre située sous le plancher et qui est reliée au régulateur de niveau lorsqu'il existe. L'eau filtrée est ensuite orientée vers les étapes ultérieures du traitement. Lorsqu'il y a accumulation des impuretés, le filtre doit être lavé [5].

II.5.2 Lavage des filtres

Généralement pour le lavage des filtres on effectue trois phases :

- Phase 1 : jet d'air uniquement et qui sert à délasser la couche filtrante.
- Phase 2 : jet d'air plus l'eau, et ceci pour brasser le matériau filtrant et le dépourvoir des impuretés qui se sont adhérees.
- Phase 3 : jet d'eau uniquement, phase de rinçage. Les passages lors de ces trois phases contrairement à la filtration se font de bas vers le haut [5].



Figure. II.7 : Filtration



Figure. II.8 : Lavage d'un filtre

II.6 Réservoir d'eau traitée

Chaque réservoir est formé de deux compartiments équipés de deux vannes murales d'un trop-plein, de raccords de vidanges et de transmetteurs de niveau d'eau. Le volume total du réservoir est 110.000 m³.

Il y'a une injection de la soude pour l'augmentation du pH, une injection du chlore gazeux (Cl₂) pour la désinfection (cuve de contact) à l'entrée du réservoir et une autre injection de l'eau de javel (NaOCl) sur la sortie des eaux traitées pour l'effet rémanent [5].

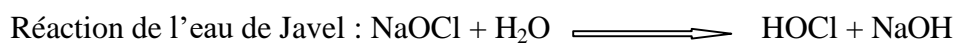
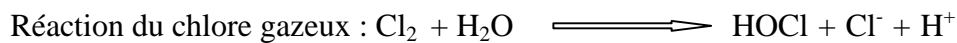




Figure. II.9 : Réservoir de stockage (A/B)

II.7 Traitement des boues

Les boues rejetées sont composées des matières en suspension apportées par l'eau brute et des matières résultantes de l'addition des réactifs.

Les clarificateurs comprennent une zone d'épaississement intégrée placée sous la zone de décantation lamellaire. Les boues provenant des clarificateurs ont une concentration d'environ 30 g/l qui seront acheminées par pompage vers des bassins circulaires de 18m, un système de raclage et déversoir d'effluent dont le rôle est l'augmentation de la concentration des boues par épaississement gravitaire pour pouvoir être traitées directement par les centrifugeuses (déshydratation mécanique), puis évacuées dans des camions-bennes vers une décharge située à 4km de la station de traitement [5].



Figure II.10 : Epaississeur de boue

II.8 Système de contrôle

Un système de contrôle est réalisé au niveau de la station de traitement dont les objectifs sont les suivants :

- Acquisition des données et contrôle du processus.
- Gestion des démarrages et arrêts des équipements.
- Visualisation du procès.
- Traitement des alarmes.
- Archivage des données et production des rapports d'exploitation [5].



Figure II.11 : Salle de contrôle

Chapitre III
Méthodes d'analyse de l'eau

III.1 Introduction

Dans le cadre de la réalisation de la station de traitement d'eau, un laboratoire, partie intégrante de l'installation a été prévu et est équipé d'un matériel aux contrôles de la qualité de l'eau brute et traitée [13].

Il s'agit en fait en premier de réaliser des analyses jugées primordiales pour la détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau et le suivi de sa qualité. Trois types d'analyse sont réalisés dans un laboratoire d'une station de traitement : volumétrique, colorimétrique où à l'aide d'appareils spécialisés.

III.2 Echantillonnage

Il existe six robinets d'eau, les échantillons de ces robinets sont traités avec des appareils et des analyses pour déterminer les paramètres physiques et chimiques des eaux.

1. Eau brute (E.B).
2. Eau décantée.
3. Eau filtrée.
4. Eau traitée (E.T).
5. Réservoir A.
6. Réservoir B.

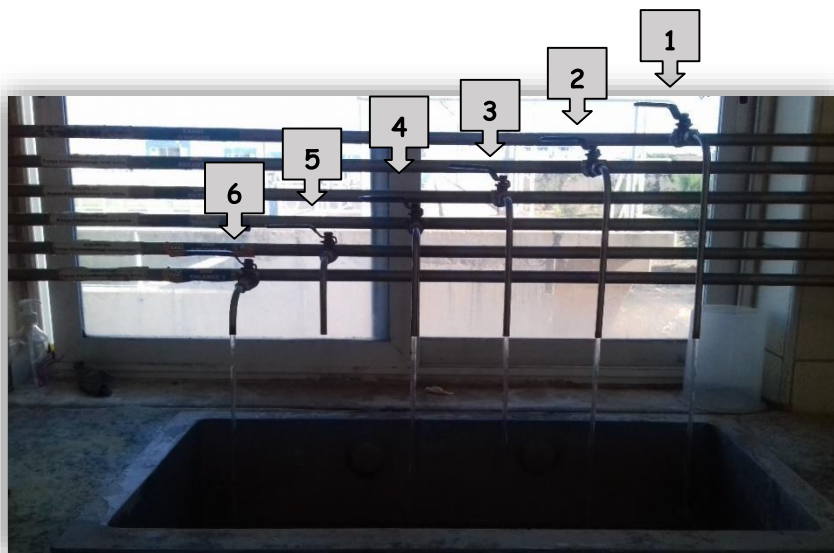


Figure. III.1 : Robinets d'échantillonnages

III.3 Appareils et matériels

- Matériel courant de laboratoire : fioles, béchers, agitateur magnétique, balance analytique, étuve, dessiccateur, bain marie etc....
- Turbidimètre : Appareil pour mesurer la turbidité, il s'agit d'un récepteur photoélectrique mesurant la lumière diffusée par le liquide.
- Conductimètre : ou un Conductivimètre, est un appareil permettant de mesurer une propriété de conductivité (Température, Salinité, TDS (taux de sels dessous)).
- Spectrophotomètre : Appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée (chlore libre et chlore résiduel total, Couleur... etc.).

III.4 Paramètre physico-chimique

III.4.1 L'indice de permanganate (matières organiques)

a) Définition

L'indice de de permanganate d'une eau correspond à la quantité d'ions permanganate consommés par l'échantillon d'eau à analyser. Cet indice s'exprime en concentration d'oxygène [14].

b) Mode opératoire

- On prend 25 mL d'un échantillon (EB, ET), on ajoute 5 ml H₂SO₄ (2 mol/L) on chauffe au bain-marie 10 min à 90°C.
- On ajoute 5 mL de (KMnO₄ (2 mmol/L)), chauffée 10 min à 90°C (couleur rose foncée). Puis ajouter 5 mL « sel de MOHR » (couleur transparente), et titrer par le (KMnO₄) jusqu'à obtenir la couleur rose pâle.
- Calculer l'indice de permanganate qui est exprimé en milligrammes d'oxygène par litre, à l'aide de l'expression :
$$MO = \frac{V_1 - V_0}{V_2} * 16$$
 avec (V₀ pour dosage blanc, V₁ pour prise d'essai, V₂ pour l'étalonnage) [13].



Figure. III.2 : Changement de couleur de l'échantillon lors d'essai.

III.4.2 Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

a) **Définition :** l'alcalinité caractérise la teneur en ions bicarbonates (HCO₃⁻), carbonates (CO₃²⁻) et hydroxydes (OH⁻) [15].

b) Mode opératoire :

- On prend 100 mL d'un échantillon (EB, ET), on ajoute quelques gouttes de « méthyle orange » (couleur orange).
- On titre avec H₂SO₄ (N/25) jusqu'à ce qu'on obtient une couleur jaune orange.
- Le TA et TAC sont exprimés en °f et calculés par les expressions :

TA = 0^{of} (car pH de l'eau est inférieur à 8,5)

TAC= $V(\text{H}_2\text{SO}_4) * 2$ (Avec 2 est le nombre

D'équilibre : $\text{H}_2\text{SO}_4 \longleftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$)

$[\text{HCO}_3^-] = [\text{TAC}] * 12,2$ Avec 12,2 est un facteur de conversion du degré français au mg/L en HCO_3^-

(1^{of} = 4,008 mg/L en HCO_3^-) [13].



Figure. III.3 : Résultat de Titrage (H_2SO_4 (N/25)).

III.4.3 La dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

a) **Définition** : la dureté d'une eau est sa concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Plus ce titre hydrotimétrique est élevé, plus une eau est dure [16].

b) **Mode opératoire** :

- On prend 100mL d'un échantillon (EB, ET), on ajoute 10mL d'une « solution tampon pH=10 » plus deux gouttes de NET comme indicateur coloré (couleur rose).
- Titrer par (EDTA) jusqu'à ce qu'on obtient la couleur bleue, et on calcule d'après la formule suivante : $\text{TH} = V_{\text{EDTA}}$.



Figure. III.4 : Résultat de Titrage d'EDTA.

III.4.4 La teneur ce calcium et magnésium

a) **Mode opératoire**

- On prend 100mL d'un échantillon (EB, ET), on ajoute 1mL NaOH et quelques milligrammes de « Murexide » comme indicateur coloré (couleur rose).
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à obtenir la couleur violette.



Figure. III.5 : Résultats de titrage EDTA pour Ca^{2+} .

b) Calcule et expressions des résultats

La teneur en calcium : Elle est exprimée en mg/L, et donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} = V_{\text{EDTA}} * 4,008 \text{ (Avec 4,008 est un facteur de conversion du } ^{\circ}\text{f au mg/L en calcium)}$$

La teneur en magnésium : Elle est exprimée en mg/L, et donnée par les formules suivantes :

$$[\text{Mg}^{2+}] = [\text{T Mg}^{2+}] * 2,431 \dots (1) \quad (2,431 : \text{Facteur de conversion du } ^{\circ}\text{f au mg/L en Mg}^{2+})$$

$$\text{TH} = [\text{T Ca}^{++}] + \text{T}_{[\text{Mg}^{2+}]} \dots (2)$$

De (1) et (2) on obtient : $[\text{Mg}^{++}] = ([\text{TH}] - [\text{T Ca}^{++}]) * 2,431$

Avec : $[\text{Mg}^{++}]$ et $[\text{Ca}^{++}]$: les teneurs en magnésium et calcium en mg/L et $[\text{T Ca}^{++}]$ et

$[\text{T Mg}^{++}]$: les duretés calcique et magnésienne en $^{\circ}\text{f}$.

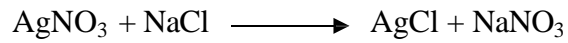
III.4.5 Dosage des chlorures

a) Définition : Dans le domaine de la qualité de l'eau, le terme chlorure désigne l'ion chlorure (Cl^-).

b) Mode opératoire :

- On prend 100mL d'un échantillon (EB, ET), plus quelques gouttes de « Dichromate de potassium » ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (Couleur Jaune).
- Titrer par le Nitrate d'argent (AgNO_3 (1/80 N)) jusqu'à obtenir une couleur rouge brique.

- La concentration en chlorure Cl^- est exprimée en mg/L, et donnée par la formule :
$$C_{\text{Cl}^-} = V_{\text{titré}} * 35,2$$
 (avec 35,2 : Masse molaire du chlore).
- La réaction des ions chlorure avec des ions argent est la suivante :



$2 \text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{CrO}_4$ (précipité rouge brique) [13].



Figure III.6 : Titrage de AgNO_3

III.5 Paramètre de pollution

III.5.1 Dosage des nitrates par spectrophotométrie

a) **Définition** : Les nitrates sont les sels de l'acide nitrique. La forme de l'ion nitrate est NO_3^- (couleur de leur présence est jaune) [13].

b) **Mode opératoire** :

- On prend 10mL d'un échantillon (EB, ET), ajouter réactif HRNITRATE puis agiter pendant une minute, laisser reposer pendant 5 min (temps de réaction).
- Mettre le programme enregistré : 355 N.Nitrate HRPP et régler le zéro dans l'appareil avec l'échantillon (eau brute.), insérer le flacon puis lire le résultat (mg/L) indiqué par le spectrophotomètre.

III.6.2 Dosage des nitrites par spectrophotométrie

a) **Définition** : Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux. La formule de l'ion nitrite est NO_2^- et la couleur de leur présence est bleu [13].

b) **Mode opératoire** :

- On prend 10mL d'un échantillon (EB, ET), ajouter réactif nitrite LR puis agiter, laisser reposer pendant 20 min (temps de réaction).
- Mettre le programme enregistré : 371.N.Nitrite LR PP et régler le zéro dans l'appareil avec l'échantillon (eau brute.), insérer le flacon puis lire le résultat (mg/L) indiqué par le spectrophotomètre.

III.6.3 Dosage du phosphate par spectrophotométrie

a) **Définition** : La formule du phosphate PO_4^{3-} et la couleur de sa présence est rose.

b) **Mode opératoire** :

- On prend 10mL d'un échantillon (EB, ET), ajouter réactif phosphate ver.3 puis agiter, laisser reposer pendant 2 min (temps de réaction).
- Mettre le programme enregistré : 490.P.React.PV et régler le zéro dans l'appareil avec l'échantillon (eau brute), insérer le flacon puis lire le résultat (mg/l) indiqué par le spectrophotomètre.

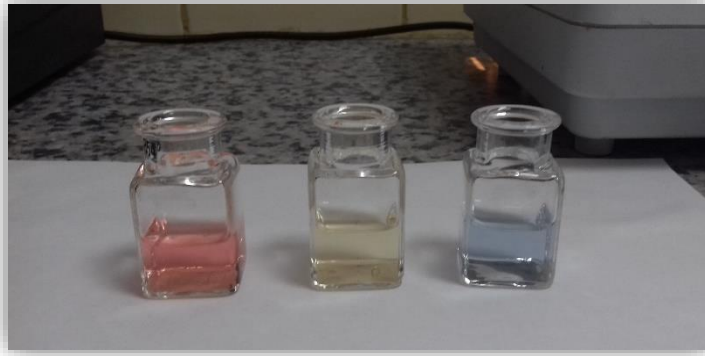


Figure. III.7 : Couleur de présence des PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^-

III.6.4 Détermination de l'ammonium

Mode opératoire :

- On prend 40mL d'un échantillon (eau brute, eau traitée et eau distillée).
- Ajouter 4mL du réactif coloré, 4mL du réactif dichloroisocyanurate de sodium et 2mL d'eau distillé pour juste les deux échantillons (eau brute, eau traitée).
- Mettre dans un bain-marie pendant une heure.
- Mettre le programme utilisateur : ammonium BG/HG et régler le zéro dans l'appareil avec l'échantillon eau distillée préparé, insérer le flacon puis lire le résultat (mg/L).



Figure. III.8 : Résultats du test d'Ammonium

III.6.5 Détermination de l'aluminium (Al^{3+})

Mode opératoire :

- Prendre 25 mL de l'échantillon (eau brute, eau traitée), ajoutez trois à quatre gouttes de Purpure de Bronocresol et titrer avec l'acide sulfurique 0,02N (couleur passe du violet au jaune) et enregistrer le volume titré puis jeter l'échantillon.
- Prendre 25mL d'échantillon, ajouter le volume d'acide sulfurique enregistré au paravent plus 1mL en excès et mélanger
- Ajouter 1mL d'acide ascorbique (1%) ,10mL de la solution tampon, 5mL de solution de travail puis jauger jusqu'à 50mL avec l'eau distillée.
- Attendre 5 à 6 minutes (pour que la couleur se stabilise), mettre le programme utilisateur : 966 AL 17, insérer le flacon préparé et lire le résultat (mg/L).
- Toujours faire un essai blanc (25mL d'eau distillée à laquelle on ajoute les mêmes réactifs que l'échantillon) pour régler le zéro dans l'appareil.



Figure. III.9 : Volume titré (H_2SO_4).



Figure. III.10 : Echantillon Test d' Al^{3+} .

III.6.6 Détermination du Fer total

Mode opératoire :

- Prendre 50 mL de l'échantillon (EB, ET), ajouter 1mL du réactif I (solution de chlorhydrate d'hydroxylamine), 2mL réactif II (solution Tampon acétate) et 2 mL du réactif III (solution de phénantroline-1,10).
- Préparer 50mL d'eau distillée et rajouter les mêmes quantités des réactifs.
- Mettre dans l'étuve pendant 15 min.
- Mettre le programme utilisateur et régler le zéro dans l'appareil avec l'échantillon d'eau distillée préparé, insérer le flacon puis lire le résultat (mg/L) indiqué par le spectrophotomètre.

III.6.7 Dosage des matières en suspension par filtration

Mode opératoire :

- Prendre les membranes à l'aide d'une pince, et les mettre dans l'étuve à 105°C pendant 15 min puis les refroidir dans le dessiccateur pendant 5-10min afin d'enlever l'humidité,
- Peser sur une balance analytique et enregistrer le poids (P0) en mg,
- Placer les membranes dans l'équipement de filtration et mettre le dispositif en marche,
- Prendre 100ml d'un échantillon (EB, ET), y verser dans l'appareil et laisser filtrer,
- Enlever les membranes filtrées et les place dans l'étuve pour 24 heures ; peser et enregistrer le poids (P1) en mg, et calculer MES (mg/L) d'après l'expression suivant [13] :

$$MES = \frac{P1 - P0}{V_{\text{échan}}} * 1000$$

III.6.8 Détermination du résidu sec

a) **Définition :** Le résidu sec définit la quantité de sels minéraux dissous dans un échantillon d'eau évaporée.

b) Mode opératoire :

- Mettre deux béchers dans l'étuve à 105°C pendant 15 min, puis refroidir les béchers dans le dessiccateur pour enlever toute trace d'humidité,
- On pèse la masse de deux béchers à vide (M₀),
- Verser 100mL d'un échantillon (eau brute, eau traitée) dans chaque bécher et les sécher par l'étuve pendant 24 heures, pesage des deux masses après le séchage (M₁).
- Calculer résidu sec (RS) en mg/L par l'expression suivante [13] :

$$RS = \frac{M1 - M0}{V_{\text{échan}}} * 1000$$

III.6 Demande en chlore

a) Définition :

- **Chloramines :** Le chlore se dissous dans l'eau et forme de l'acide hypochloreux (HOCl) qui s'ionise pour donner :



Le chlore réagit très rapidement, entre autre avec l'ammoniac, pour former des composés appelés chloramines [17] :



- **Seuil** : Point au-delà duquel commence la formation des trichloramines ou maximum de formation de monochloramine (en présence de NH_4^+).
- **Break-point** : C'est le point de rupture, ou point critique : point au-delà duquel l'ion NH_4^+ est complètement oxydé par le chlore. Le chlore introduit se trouve alors sous forme de chlore libre [17].

c) Rôle de la demande en chlore :

C'est de connaître la valeur du chlore qu'il faut injecter après chloration. La consommation en oxydant lors de cette étape, appelée demande en chlore correspond à la dose nécessaire pour obtenir la teneur résiduelle recommandée. Elle est déterminée par la méthode de break-point.

d) Protocole expérimentale :

- On calcule la concentration d'eau de javel commerciale, à l'aide d'une micropipette, on prélève 0,2mL d'eau de javel puis mettre dans une fiole de 10mL et compléter avec l'eau distillée.
- Prendre dans une cellule 10mL de l'échantillon préparé et rajouter Acidifying Gb et réactif chlore HR (KI), la couleur change de transparent à l'orange, agiter la cellule puis la mettre dans l'appareil chloro-set-complet et lire la valeur et la convertir à l'aide de la formule suivante : $1^\circ\text{Chlo} \longrightarrow 3,17 \text{ g de Chlore actif}$

Exemple : $[\text{javel}] = 0^\circ\text{Cl} * 3,17 = 47,6 * 3,17$ donc $[\text{Javel}] = 150,9 \text{ g/L}$

- Pour notre essai, on besoin de 1g/L pour 100mL, à l'aide de la formule de dilution on calcule le volume à prendre de la solution mère : $C_1V_1 = C_2V_2$

Application numérique : $v_1 = \frac{1(\text{g/L}) * 100(\text{mL})}{150\text{g/L}} = 0,66\text{mL}$

- Prélever le volume calculé de la solution mère de l'eau de javel (0,66mL) et on compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 100mL (solution 2), remplir 12 flacons de verre avec précisément 1L d'échantillon (eau brute) et injecter une petite quantité de chlore (solution 2) dans ces flacons, et augmenter à chaque fois jusqu'à terminer tous les flacons.
- Agiter et Placer les flacons à l'obscurité pendant 2 heures.
- Après 2 heures, on calcule le (Cl_r , Cl_t) sur le spectrophotomètre avec l'ajout du (DPD1) pour le chlore résiduel et le (DPD1+DPD3) pour le chlore total.
- Pour déterminer la quantité de l'eau de javel qu'il faut injecter pour avoir une bonne pré-chloration on fait une demande en chlore par la méthode du Break-Point.
- Mettre les résultats obtenus sur un tableau et tracer le graphe de chlore résiduel (libre) en fonction du chlore injecté.

Tableau.III.1 : Résultats de chlore injecté sur le chlore libre résiduel.

N° bécher	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Chlore injecté (mg/L)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Chlore résiduel (mg/L)	0,13	0,13	0,15	0,15	0,21	0,25	0,88	0,53	0,78	1,08	1,11	1,75

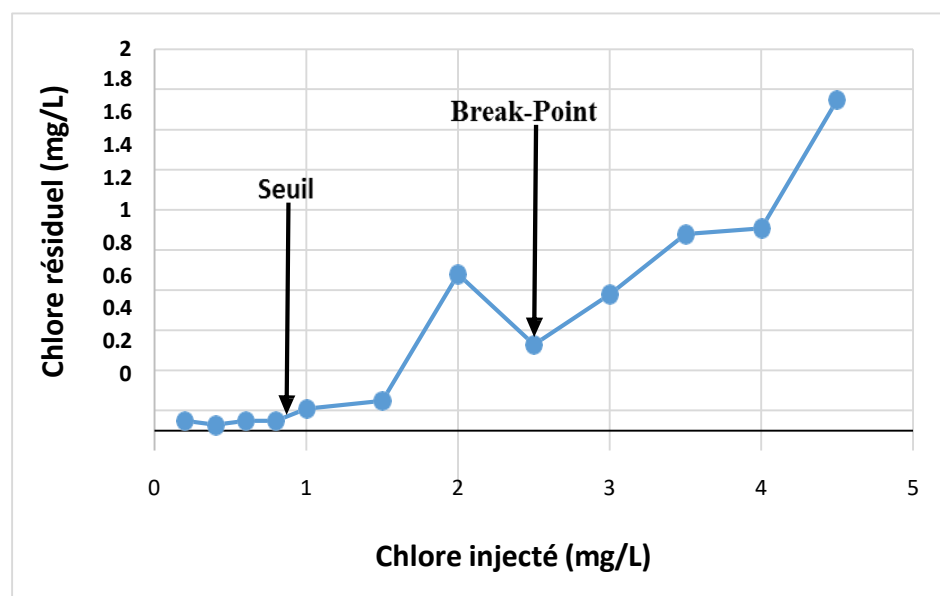


Figure. III.12 : Influence du Chlore injecté sur le Chlore résiduel.

III.7 Essai de coagulation- floculation (Jar-Test)

III.7.1 Définition :

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique, utilisée pour le traitement de potabilisation. Son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se décantent naturellement (les colloïdes) [13].

III.7.2 Le but

Le but est de déterminer la quantité optimale des réactifs (sulfate d'alumine, chlorure ferrique) qu'il faut injecter à l'eau brute pour avoir une bonne coagulation floculation.

III.7.3 les Réactifs

Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ (10g/L) : obtenu par une dilution d'une solution mère de concentration de 60g/L.

Chlorure ferrique $FeCl_3$ (10g/L) : on le prépare de la solution mère de concentration de 596 g/L.

Polymère (0,1g/L) : prendre 0,01g dans 100 mL.

III.7.4 Protocole

a) *Coagulation* :

- On prend six béciers dans lesquels on introduit 1L d'eau brute ou eau turbide (l'eau + la boue), on fait agiter à vitesse rapide ($V=160$ tour/min pendant 3min) puis on ajoute des doses croissantes de coagulant « [Sulfate d'alumine]=10g/L ou [Chlorure ferrique]=10g/L ».
- Après 3min, on passe à une agitation lente ($V=40$ tour/min), après 17min arrête le flocculateur, on laisse décanter 15min.
- On effectue la mesure de turbidité, prendre la dose du coagulant de faible turbidité [18].

b) *Floculation* :

- On prend six béciers dans lesquels on introduit 1litre d'eau brute,
- On fait agiter à vitesse rapide ($V=160$ tour/min pendant 3min) puis on ajoute la dose de la première partie de coagulant « sulfate d'alumine ou chlorure ferrique » (de faible turbidité).
- Après 3min, on passe à une agitation lente ($V=40$ tour/min) puis on ajoute des doses croissantes de flocculant « [Polymère] = 0,1 g / L »,

- Après 17min on arrête le flocculateur, on laisse décanter 15min.
On effectue la mesure la turbidité, la couleur et la conductivité **[18]**.

Chapitre IIV
Résultats et Interprétation

IV.1 Introduction

Dans cette partie, nous avons réalisé une étude comparative entre deux coagulants, à savoir le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique sur une eau préparée au niveau du laboratoire, de différentes turbidités.

Afin de satisfaire cet objectif, on a choisi le jar-test comme technique expérimental que nous avons décrit précédemment. Cette technique a pour but de déterminer le choix d'un réactif et les concentrations optimales nécessaires à une réduction maximale de la turbidité de l'eau après une simple décantation. Le contrôle des paramètres physico-chimiques influençant le choix du meilleur coagulant a été effectué au niveau des meilleurs béchers. Les résultats des essais sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

IV.2 Résultats expérimentaux

IV.2.1 Détermination de la dose optimale pour le coagulant Sulfate d'Aluminium

Les expériences ont été réalisées sur le Jar-test pour une concentration de 10g/L de sulfate d'aluminium et 0,1g/L de polymère pour une eau brute de différentes turbidités.

Le choix de la concentration optimale repose sur les caractéristiques suivantes :

Turbidité de l'eau décantée < 2 NTU, aluminium < 0,2 mg/L, la dose du coagulant (la plus petite quantité), la couleur < 15 P-Co et la taille des floccs ≥ 4 , d'après la figure ci-dessous :

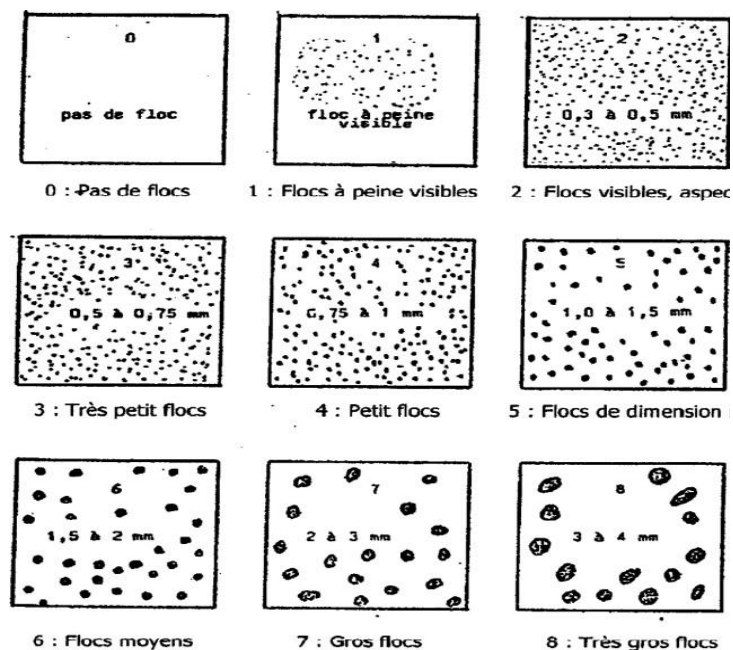


Figure IV.1 : Classement des floccs.

Avant d'entreprendre chaque essai de Jar-test, on doit d'abord faire des analyses physico-chimiques de l'eau brute. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Paramètre physico-chimique pour une eau de différente turbidité.

Essai N°01: *Tableau IV.1 pour différent paramètre (TAC,TH,CON...) Essai N°01 le 04/04/2022*

08h45	PH	T°	COND	TDS	Chlorure	HCO ₃ ⁻	Ca ¹²	Mg ¹²	TH	TAC
Unité		C °	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	F°	F°
E-Brute	7,56	14,7	1348	842	262,7	180,6	168,3	68	70	14,8
E-Traitée	7,36	14,6	1328	833	248,5	175	156,3	65,6	66	14,0

moyenne	PH	T°	COND	TDS	Chlorure	HCO ₃ ⁻	Ca ¹²	Mg ¹²	TH	TAC
E-Brute	7,6	14,7	1348	842	263	181	168	68	70	14,8
E-Traitée	7,4	14,6	1328	833	249	175	156	66	66	14,0

Essai N°02 : *Tableau IV.2 pour différent paramètre (TAC,TH,CON...) Essai N°02 le 10/04/2022*

08h50	pH	T°	COND	TDS	Chlorure	HCO ₃ ⁻	Ca ¹²	Mg ¹²	TH	TAC
Unité		C °	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	F°	F°
E-Brute	7,67	15,4	1479	912	284	195,2	137	88,10	70	16,0
E-Traitée	7,45	15,2	1329	821	291,1	161	135,47	75,84	65	13,2

moyenne	pH	T°	COND	TDS	Chlorure	HCO ₃ ⁻	Ca ¹²	Mg ¹²	TH	TAC
E-Brute	7,7	15,4	1479	912	284	195	137	88	70	16,0
E-Traitée	7,5	15,2	1329	821	291	161	135	76	65	13,2

Essai N°03 : *Tableau IV.3 pour différent paramètre (TAC,TH,CON...) Essai N°01 le 13/04/2022*

08h50	pH	T°	COND	TDS	Chlorure	HCO ₃ ⁻	Ca ¹²	Mg ¹²	TH	TAC
Unité	-	C °	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	F°	F°
E-Brute	7,48	16,7	1794	1080	-	195,2	136,3	68	62	16,0
E-Traitée	7,48	15,8	1738	1068	-	180,6	160,3	58,3	64	14,8

moyenne	PH	T°	COND	TDS	Chlorure	HCO ₃ ⁻	Ca ¹²	Mg ¹²	TH	TAC
E-Brute	7,5	16,7	1794	1080	-	195	136	68	62	16,0
E-Traitée	7,5	15,8	1738	1068	-	181	160	58	64	14,8

Essai N° 01-01 : Tableau IV.4 Essai N°01-01(FT) de Jar test (S.A) le 04/04/2022

N° des béchers	01	02	03	04	05	06
sulfate d'Alumine (ppm)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Turbidité (NTU)	3,35	3,32	2,73	2,50	2,52	1,78
Taille des floccs après 4 min	02	02	02	02	02	03
Taille des floccs après 8 min	02	02	02	02	03	03
Taille des floccs après 15 min	02	02	02	02	03	03

Essai N° 02-01 : Tableau IV.5 : Essai N°02-01(MT) de Jar test (SA) le 05/04/2022

N° des béchers	01	02	03	04	05	06
sulfate d'Alumine (ppm)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Turbidité (NTU)	9,42	6,78	6,15	2,86	2,40	1,17
Taille des floccs après 4 min	01	01	01	01	01	01-02
Taille des floccs après 8 min	01	01	01	01	01-02	02

Essai N° 03-01 : *Tableau IV.6 : Essai N°03-01 (fT) de Jar test (SA) le 10/04/2022*

N° des béchers	01	02	03	04	05	06
sulfate d'Alumine (ppm)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Turbidité (NTU)	9,10	8,65	6,95	4,65	2,84	1,53
Taille des floes après 4 min	00	00	00	00	00	00
Taille des floes après 8 min	00	00	00	00-01	01	01
Taille des floes après 15 min	00	00	00-01	01	01	01-02

Observation :

D'après les critères de choix du meilleur bécher, le bécher numéro 06 pour l'essai N°01-01, N°02-01 et N°03-01 répondent aux critères (taille des floes et turbidité). Donc on fixe la concentration de ce dernier (30mg/L) et on varie celle du polymère. Puis refaire le jar test.

Essai N° 01-02 : *Tableau IV.7 : Essai N°1-2(FT) de Jar test (polymère) le 04/04/2022*

N° des béchers	01	02	03	04	05	06
sulfate d'Alumine (ppm)	30	30	30	30	30	30
polymère (ppm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Turbidité (NTU)	1,25	1,74	2,10	2,38	1,86	0,85
Couleur (P-Co)	03	04	04	04	03	03
Conductivité (µs/cm)	2410	2410	2410	2410	2400	2390
Al ⁺³ (mg/L) sans filtration	/	/	/	/	/	0,39
Al ⁺³ (mg/L) avec filtration	/	/	/	/	/	0,072
Taille des floes après 4 min	02	02	02	02	03	03
Taille des floes après 8 min	02	02	02	02	03	03
Taille des floes après 15 min	02	02	03	03	04	04

Essai N⁰ 02-02 : Tableau IV.8 : Essai N⁰2-2(MT) de Jar test (Polymère) le 05/04/2022

N ⁰ des béchers	01	02	03	04	05	06
sulfate d'Alumine (ppm)	30	30	30	30	30	30
polymère (ppm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30

Turbidité(NTU)	2,36	2,30	2,24	2,52	2,46	2,19
Couleur (P-Co)	06	06	07	07	07	06
Conductivité (µs/cm)	2310	2310	2310	2310	2310	2310
Al ³⁺ (mg/L) sans filtration	/	/	/	/	/	0,185820
Al ³⁺ (mg/L) avec filtration	/	/	/	/	/	0,037449
Taille des floes après 4 min	02	02	02	02	02	02
Taille des floes après 8 min	012	03	03	03-04	04	04
Taille des floes après 15 min	03	03-04	04	04	05	06

Essai N⁰ 03-02 : Tableau IV.9 : Essai N⁰03-02(ft) de Jar test (polymère) le 10/04/2022

N ⁰ des béchers	01	02	03	04	05	06
sulfate d'Alumine (ppm)	30	30	30	30	30	30
polymère (ppm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Turbidité (NTU)	2,64	2,48	2,32	2,36	1,77	1,14
Couleur (P-Co)	08	07	06	07	07	06
Conductivité (µs/cm)	2390	2380	2370	2370	2360	2360
Al ³⁺ (mg/L) sans filtration	/	/	/	/	/	0,37074
Al ³⁺ (mg/L) avec filtration	/	/	/	/	/	0,087054
Taille des floes après 4 min	01	01	01	01	01	01
Taille des floes après 8 min	01	01	01-02	01-02	02	02
Taille des floes après 15 min	02	03	04	04	05	05

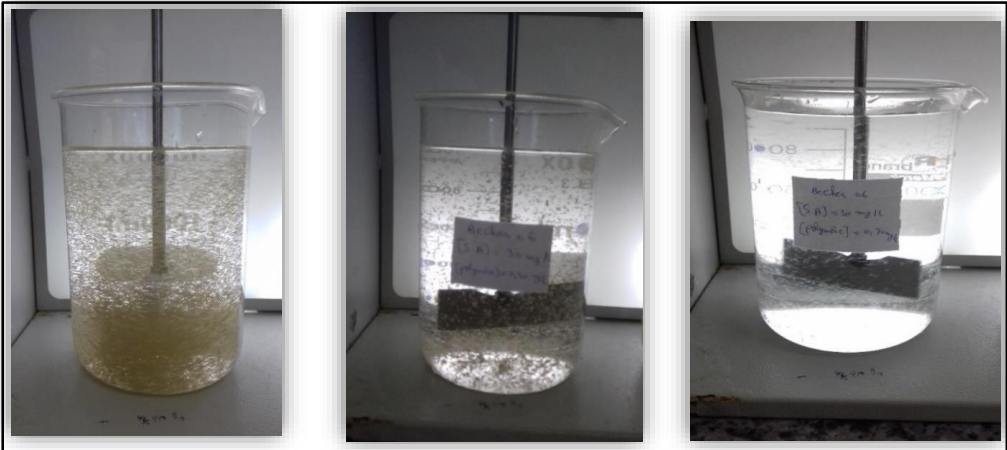


Figure IV.2 : Formation des floccs Essai N⁰01-2, N⁰02-2 et N⁰03-2 bécher N⁰06.

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé coagulation, de ce fait en remarque d'après les résultats obtenus dans les tableaux que plus la dose du sulfate d'aluminium est élevée plus on a une diminution de turbidité (de 136 à 1.78 NTU pour l'essai N⁰01-01), par contre la turbidité reste élevée pour les premiers béchers dans les essais N⁰02-01 et N⁰03-01. Cela est dû à la présence des particules en suspension dans la partie surnagée du bécher.

Pour les essais N⁰01-02, N⁰02-02 et N⁰03-02 les observations obtenues sont :

- La taille des floes formés est plus grosse lorsque l'eau est moins trouble.
- Diminution de la couleur et augmentations de la conductivité.

IV.2.2 Détermination de la dose optimale pour le coagulant Chlorure Ferrique

On refait les mêmes expériences sur le Jar-test on utilisant le chlorure ferrique de concentration de 10g/L et un polymère 0.1g/L sur une eau brute de trois différentes turbidités de paramètres physico-chimique déjà cités (**Tableau IV.1**).

Le choix de la concentration optimale repose sur les caractéristiques citées auparavant.

Essai N⁰ 04-01 : *Tableau IV.10 : Essai N⁰04-01(FT) de Jar test (FeCl₃) le 11/04/2022*

N ⁰ des béchers	01	02	03	04	05	06
chlorure ferrique (ppm)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Turbidité (NTU)	10,7	9,98	6,68	6,72	4 ,92	1,07
Taille des floes après 4min	02	02	02	02	02	02
Taille des floes après 08 min	02	02	02	02	02	03
Taille des floes après 15 min	02	02	02	02	03	03

Essai N⁰ 05-01 : *Tableau IV.11 : Essai N⁰05-01(MT) de Jar test (FeCl₃) le 12/04/2022*

N ⁰ des béchers	01	02	03	04	05	06
chlorure ferrique (ppm)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Turbidité (NTU)	10,1	7,58	5,64	3,53	4,56	3,46
Taille des floes après 4min	01	01	01-02	02	02	02
Taille des floes après 08 min	01	02	02	02	02	02
Taille des floes après 15 min	01	02	02	02	02	02

Observation :

D'après les critères de choix du meilleur béccher, le béccher qui a donné la plus petite valeur de turbidité et la taille des floccs la plus grosse (d'après la **Figure V.1**) pour l'essai N⁰04-01, N⁰05-01, est le dernier béccher.

On fixe la concentration du coagulant et on varie celle du polymère. Puis refaire le jar test.

Essai N⁰ 04-02 : *Tableau IV.12 : Essai N⁰04-2(FT) de Jar test (Polymère) le 11/04/2022*

N ⁰ des bécchers	01	02	03	04	05	06
chlorure ferrique (ppm)	30	30	30	30	30	30
polymère (ppm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Turbidité(NTU)	3,16	4,85	3,43	4,18	2,21	1,35
Couleur (P-Co)	12	18	13	15	10	07
Conductivité (µs/cm)	2430	2420	2430	2420	2410	2410
fer (mg/L) sans filtration	/	/	/	/	/	0,21
Fer (mg/L) avec filtration	/	/	/	/	/	0,15
Taille des floccs après 4 min	02	02	02	02	02	03
Taille des floccs après 8 min	02	02	03	03	03	03-04
Taille des floccs après 15 min	02	03	03	03-04	04	04

Essai N⁰ 05-02 : *Tableau IV.13 : Essai N⁰05-2(MT) de Jar test (Polymère) 12/04/2022*

N ⁰ des bécchers	01	02	03	04	05	06
chlorure ferrique (ppm)	30	30	30	30	30	30
polymère (ppm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Turbidité(NTU)	5,34	5,52	4,43	3,65	2,96	2,06
Couleur (P-Co)	29	28	20	18	15	12
Conductivité (µs/cm)	2310	2290	2300	2300	2290	2290
fer (mg/L) sans filtration	/	/	/	/	/	0,20
Fer (mg/L) avec filtration	/	/	/	/	/	0,14
Taille des floccs après 4 min	01-02	02	02	02	02	02
Taille des floccs après 8 min	02	02-03	03	03	04	04
Taille des floccs après 15 min	02	03	03	03-04	04-05	05



Figure IV.3 : Essai N⁰04-02 (FT) Jar test lors d'agitation lente.

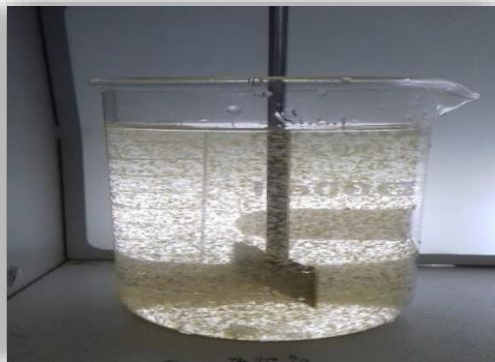


Figure IV.4 : Essai N⁰05-02, formation des floccs.

Les résultats obtenus pour le chlorure ferrique montrent que plus la dose du coagulant augmente plus on a une diminution de turbidité, par contre la turbidité reste élevée pour les premiers béchers dans les essais N⁰04-01, N⁰05-01 qui est due à la présence des particules en suspension dans la partie surnagée.

Après l'ajout du polymère, on remarque que la conductivité augmente et que les floccs grossissent mais la couleur (jaune) est élevée par rapport au sulfate d'aluminium.

Conclusion

Conclusion générale

Notre stage qui a été effectué à la station de traitement d'eau potable « Sidi Ladjel » nous a permis d'une part d'exploiter les notions scientifiques que nous avons acquises durant notre formation universitaire, et d'autre part de nous familiariser avec le monde professionnel.

En effet, le thème que nous avons traité dans ce mémoire est une analyse physique chimique de l'eau, du fait le procédé analyse physique chimique de l'eau a été bien explicité vu l'intérêt qu'elle représente dans ce dernier.

- Dans le cadre du stage pratique organisé du 2^{ème} année master génie des procédés de l'environnement pendant 15 jours au sein de la station de traitement de Sidi Ladjel, a pour but avoir un contact direct avec le monde professionnel et mettre en pratique toutes les connaissances théoriques assimilées durant mes études.
- Ma présence au niveau de l'entreprise m'a permis de manipuler directement des produits et d'avoir un contact avec des professionnels qui n'ont ménagé aucun effort pour transmettre leur savoir faire et les acquis de leur expérience.
- Par ailleurs, ce travail m'a permis de suivre également toutes les étapes du traitement relatif aux analyses chimiques et physiques de l'eau au niveau d'une entreprise performante et d'une renommée nationale ceci a mon avantage pour mettre à l'épreuve toutes mes connaissances théoriques.
- Je considère que les connaissances que j'ai acquises durant cette période de stage soient très importantes et les résultats sont très concluants.

Références Bibliographiques

- [1]. **KETTAB.A** : Alimentation en eau potable de la ville de Médéa, Compagnie Européenne de traitement des eaux.
- [2] **ANONYME** : Le livre de l'eau, volume IV, 2ème édition. Edition CEBEDOC.
- [3] **BELARIBI, 2018** : Traitement Des Eaux Destinées A La Consommation Humaine « Station de SIDI LAHDJEL-MOSTAGANEM », Mémoire en Master, Département Gestion et Economie de l'Eau, INSTITUT NATIONAL SPESIALISE DE FORMATION PROFESSIONNELS, ORAN.
- [4] **BOUGHAZI Safaa, 2018** : Gestion de la ressource en eau du système hydraulique MAO – MACTA, mémoire en Master Hydraulique, Département d'hydraulique urbaine, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique- Arbaoui Abdellah, Oran.
- [5] **Manuel**, Le Processus de la Station de traitement d'eau de Sidi Lahdjel pour l'alimentation en eau potable du couloir Mostaganem-Arzew-Oran.
- [6] **LENNTECH, Water treatment & Purification Holding B.V.** Solutions de traitement de l'eau pour tous types d'applications, équipements domestiques
- [7] **Valiron F, 1989**, Gestion des Eaux : alimentation en eau-assainissement, édition Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris.
- [8] **Coagulation and Flocculation Process Fundamentals 6 Chapter 12**
- [9] **Ezziane S, 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.
- [10] **Ahmed Ammar Y. et Benhaddou M, 2010** : étude 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'univer. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen.
- [11] **Benhaddou I. et Bouamama M, 2007** : étude comparative entre trois coagulants utilisés dans le traitement des eaux le sulfate d'alumine, le chlorure ferrique et le polychlorosulfate basique d'aluminium. Mémoire de Magister, Département de chimie, Faculté des sciences et technique ; Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc.
- [12] **Desjardins R, 1997** : Traitement des eaux ; Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition revue et améliorée.
- [13] **H.Kabouya, 2009** : Méthodes d'analyses physico-chimiques, Formation/laboratoire, Station de traitement des eaux à partir u barrage de Tichy Haf.

- [14] **MO.DT.LabC.27, 2009** : Détermination de l'indice de Permanganate.
- [15] **MO.DT.LabC.18, 2009** : Détermination de l'alcalinité ; Titre alcalimétrique (TA) et Titre alcalimétrique complet (TAC).
- [16] **MO.DT.LabC.14, 2009** : Dosage de la somme du calcium et magnésium par la méthode titrimétrique à l'EDTA.
- [17] **MO.DT.LabB.61, 2009** : Détermination de la demande en chlore.
- [18] **MO.DP.LabB.57, 2009** : Essai de traitabilité par coagulation floculation (Jar Test).

Annexes

PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE

Tableau 1 : PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITES

	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
1	Aluminium	mg/L	0,2
2	Ammonium	mg/L	0,5
3	Baryum	mg/L	0,7
4	Bore	mg/L	1
5	Fer total	mg/L	0,3
6	Fluorures	mg/L	1,5
7	Manganèse	µg/L	50
8	Nitrates	mg/L	50
9	Nitrites	mg/L	0,2
10	Oxydabilité	mg/L O ₂	5
11	Phosphore	mg/L	5
12	Acrylamide	µg/L	0,5
13	Antimoine	µg/L	20
14	Argent	µg/L	100
15	Arsenic	µg/L	10
16	Cadmium	µg/L	3
17	Chrome total	µg/L	50
18	Cuivre	mg/L	2
19	Cyanure	µg/L	70
20	Mercure	µg/L	6
21	Nickel	µg/L	70
22	Plomb	µg/L	10
23	Sélénium	µg/L	10
24	Zinc	mg/L	5

Tableau 2 : PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°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 en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/L en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/L	500
	Concentration en ions Hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/L en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/L	12
	Résidu sec	mg/L	1500
	Sodium	mg/L	200
	Sulfates	mg/L	400
	Température	°C	25

Tableau 3 : PREPARATION DES REACTIFS

Les réactifs	Quantité	Quantité de produit	Les doses
K ₂ Cr ₂ O ₇	50 mL	5 g + ED	10%
Méthyle orange C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S	50 mL	0,25 g+ ED	0,5%
NET	50mL	0,2 g NET + 50 ML Ethanol	0,4%
EDTA	1000 mL	3,7EDTA+0.4NaOH	0,04N
AgNO ₃	500 mL	8,5 g AgNO ₃	1/10N
H ₂ SO ₄	500 mL	14 ml H ₂ SO ₄	1N
Sel de mohr	500 mL	2,5g Sel de mohr +10mL H ₂ SO ₄	N/80
Murixide	/	Poudre	/
Solution tampon	500 mL	175mL NH ₄ OH+12,5mL NH ₄ Cl	pH = 10
Réactif tampon	1000 mL	82g acétate de sodium+ 10mL acide acétique	1N
Solution acide ascorbrique	100mL	1g + ED	1%
Purpure de Bronocresol	100mL	0,1g + ED	/
Acide acétique	1000mL	57mL + ED	1N
Solution de réserve	100mL	0,6g d'ericromcyanine + ED	pH=2,9
Solution de travail	/	Dilution de 10 fois de solution de réserve	/