

SOMMAIRE

| | |
|----------------------------|----|
| Introduction Générale..... | 01 |
|----------------------------|----|

Chapitre I : Généralités sur l'eau

| | |
|--|----|
| I.1 Introduction..... | 03 |
| I.2 Définition de l'eau..... | 03 |
| I.2.1 L'eau brute..... | 03 |
| I.2.2 L'eau potable..... | 03 |
| I.2.3 Les paramètres de l'eau de consommation..... | 04 |
| I.2.3.1 Les paramètres organoleptiques..... | 04 |
| A. La couleur..... | 04 |
| B. La turbidité..... | 04 |
| C. L'odeur et la saveur..... | 04 |
| I.2.3.2 Les paramètres physico-chimiques..... | 04 |
| A. Le pH (potentiel hydrogène)..... | 04 |
| B. La température..... | 04 |
| C. La dureté..... | 05 |
| D. La minéralisation et la conductivité..... | 05 |
| I.2.3.3 Les paramètres concernant les substances indésirables..... | 05 |
| I.2.3.4 Les paramètres concernant les substances toxiques..... | 06 |
| I.2.3.5 Les paramètres microbiologiques..... | 06 |
| I.3 Le cycle de l'eau..... | 06 |
| I.3.1 Le cycle proprement dit..... | 07 |
| I.3.2 La dynamique du cycle de l'eau..... | 08 |
| I.4 Les états physiques de l'eau..... | 08 |

| | |
|---|----|
| I.4.1 l'état liquide..... | 08 |
| I.4.2 L'état solide..... | 08 |
| I.4.3 L'état vapeur..... | 09 |
| I.5 Les propriétés de l'eau..... | 09 |
| I.5.1 Les propriétés physiques..... | 09 |
| I.5.1.1 La masse volumique..... | 10 |
| I.5.1.2 La viscosité..... | 10 |
| I.5.1.3 Les propriétés thermiques..... | 10 |
| I.5.1.3.1 La chaleur massique ou capacité thermique massique..... | 10 |
| I.5.1.3.2 Les chaleurs latentes (les enthalpies)..... | 10 |
| I.5.1.4 Les propriétés électriques..... | 10 |
| I.5.1.4.1 La constance diélectrique..... | 10 |
| I.5.1.4.2 La conductivité électrique de l'eau..... | 11 |
| I.5.1.5 Les propriétés optique..... | 11 |
| I.5.1.6 La tension superficielle..... | 11 |
| I.5.2 Les propriétés chimiques de l'eau..... | 12 |
| I.5.2.1 La polarité..... | 12 |
| I.5.2.2 L'effet solvant..... | 13 |
| I.6 Les ressources de l'eau dans la nature..... | 13 |
| I.6.1 Les eaux de pluies..... | 13 |
| I.6.2 Les eaux de surface..... | 14 |
| I.6.2.1 Les mers et les océans..... | 14 |
| I.6.2.3 Les eaux stagnantes..... | 14 |
| I.6.2.4 Les eaux de ruissellement..... | 15 |
| I.6.3 Les eaux souterraines..... | 15 |
| I.6.3.1 La nappe phréatique..... | 15 |

| | |
|--|----|
| I.6.3.2 Pollution des eaux souterraines..... | 16 |
| I.6.3.2.1 Principaux origines de la pollution des eaux souterraines..... | 16 |
| A. L'activité humaine : origine domestique..... | 16 |
| B. Les industries : origine industrielle..... | 17 |
| C. L'agriculture : origine agricole..... | 18 |
| I.6.3.2.2 Différents types de pollution des eaux souterraines..... | 18 |
| A. Pollution naturelle..... | 18 |
| B. Pollution agricole..... | 18 |
| C. Pollution industrielle..... | 19 |
| D. Pollution résidentielle..... | 19 |
| I.7 Conclusion partielle..... | 20 |

CHAPITRE II : REPRESENTATION D'UNE STATION DE TRAITEMENT

| | |
|--|----|
| II.1.Introduction..... | 21 |
| II.2.Définition d'une station de traitement..... | 21 |
| II .2.1.Les objectifs du traitement des eaux..... | 21 |
| A. La connaissance de l'eau à traiter..... | 21 |
| B. La définition des objectifs exacts du traitement..... | 21 |
| II.2.2.Fonctionnement d'une station de traitement..... | 22 |
| II.2.2.1.Le relevage..... | 23 |
| II.2.2.2.Le prétraitement..... | 23 |
| II.2.2.2.1 Le dégrillage..... | 23 |
| II.2.2.2.2 Le micro tamisage..... | 23 |

| | |
|---|----|
| II.2.2.2.3Le Dessablage..... | 24 |
| A. But /utilisation..... | 24 |
| B. Principe..... | 24 |
| II.2.2.3 Traitement primaire..... | 25 |
| II.2.3.4Traitement secondaire..... | 25 |
| II.2.3.4.1 La coagulation–floculation..... | 25 |
| A. La coagulation..... | 26 |
| A.1 Les coagulants utilisés..... | 26 |
| B. La floculation..... | 27 |
| C. Décantation..... | 27 |
| C.1 Principe..... | 28 |
| C.2 Les décanteurs..... | 28 |
| II.2.3.5.Traitement tertiaire..... | 29 |
| A. Filtration..... | 29 |
| A.1 But de filtration..... | 29 |
| A.2 Types de filtrations..... | 30 |
| A.2.1 Filtration lente..... | 30 |
| A.2.2 Filtration rapide..... | 30 |
| B Désinfection..... | 31 |
| B.1 Principe..... | 31 |
| B.2 Différents modes de désinfection..... | 32 |
| B.3 Facteurs fondamentaux de la désinfection..... | 33 |

| | |
|--|----|
| B.4 Désinfectants..... | 33 |
| C. La déminéralisation..... | 33 |
| C.1 L'échange ionique..... | 34 |
| C.2 La distillation..... | 34 |
| C.3 Les procédés membranaires..... | 34 |
| C.3.1 L'osmose inverse..... | 34 |
| C.3.2 L'électrodialyse..... | 34 |
| II.3 Control au niveau du laboratoire..... | 35 |
| II.4 Conclusion..... | 35 |
| CHAPITRE III : LA COAGULATION FLOCCULATION ET DECANTATION | |
| III.1 Introduction..... | 36 |
| III.2 Détermination de la matière en suspension..... | 36 |
| III.3 Les colloïdes..... | 36 |
| III.3.1 Les différents types de colloïdes..... | 37 |
| III.3.2 Élimination des colloïdes..... | 37 |
| III.3.3 La théorie de la double couche..... | 37 |
| III.3.4 Le potentiel Zêta..... | 39 |
| III.4 La coagulation floculation..... | 40 |
| III.4.2 Technologie de la coagulation- floculation..... | 40 |
| III.4.2.1 Stratégie..... | 40 |
| III.4.2.2 La mise en œuvre de la coagulation floculation..... | 40 |
| III.4.3 La coagulation..... | 40 |

| | |
|---|----|
| III.4.3.1 Principe..... | 41 |
| III.4.4 Types de coagulation..... | 41 |
| III.4.4.1 Coagulation par neutralisation de charge..... | 41 |
| III.4.4.2 Coagulation par adhérence en mosaïque..... | 41 |
| III.4.5 Coagulants utilisés..... | 41 |
| A. Les sels d'aluminium..... | 42 |
| A.1. Le sulfate d'aluminium..... | 42 |
| B. Les sels de fer..... | 43 |
| III.4.5. Les modes de déstabilisation des particules colloïdales..... | 43 |
| A. Adsorption et neutralisation des charges..... | 43 |
| B. Emprisonnement des particules dans un précipité..... | 43 |
| C. Adsorption et pontage entre les particules..... | 43 |
| III.4.6. Paramètres affectant la coagulation..... | 43 |
| III.4.6.1 Effets de la température..... | 43 |
| III.4.6.2 Effets du pH..... | 44 |
| III.4.6.3 Effets de l'alcalinité..... | 44 |
| III.4.6.4 L'influence des sels dissous..... | 44 |
| III.4.6.5 L'influence de coagulant utilisé..... | 44 |
| III.4.6.6 L'influence de l'agitation..... | 45 |
| III.4.6.7 L'influence de la turbidité..... | 45 |
| III.4.6.8 L'influence de la couleur..... | 45 |
| III.4.7 La floculation..... | 45 |
| III.7.1 Types..... | 46 |

| | |
|---|----|
| III.7.1.1 Flocculation physique..... | 46 |
| III.7.1.2 Flocculation péricinétique..... | 46 |
| III.7.1.3 Flocculation orthocinétique..... | 47 |
| III.7.1.3 La flocculation chimique..... | 47 |
| III.7.2 Flocculant et processus de flocculation..... | 48 |
| III.7.3 Les flocculants utilisés..... | 48 |
| III.7.3.1 Les flocculants minéraux..... | 48 |
| III.7.3.2 Flocculants organiques..... | 48 |
| III.7.3.3. Les flocculants synthèses..... | 49 |
| III.8. La décantation..... | 48 |
| III.8.1 Principe..... | 48 |
| III.8.2 Types de décantation..... | 49 |
| III.8.2.1 Décantation des particules discrètes..... | 49 |
| III.8.2.2 Décantation diffuse des particules flocculées..... | 49 |
| III.8.2.3 Décantation freinée..... | 50 |
| III.8.2.4 La décantation en compression des boues..... | 50 |
| III.8.3 Les types de décanteur..... | 50 |
| III.8.3.1 Décanteur simple..... | 51 |
| III.8.3.2 Décanteur lamellaire..... | 51 |
| III.8.3.3 Décanteurs à tube..... | 51 |
| B. Décanteurs à lamelles..... | 51 |
| III.8.4 Problèmes liés à la décantation..... | 52 |
| III.8.5 La mise en œuvre de la clarification par coagulation-flocculation et décantation..... | 52 |
| III.8.5.1 La clarification totale..... | 52 |

| | |
|---|----|
| III.8.5.2 La clarification partielle..... | 51 |
| III.8.6 Avantages et inconvénients de la décantation..... | 52 |
| III.9 Conclusion..... | 52 |

**CHAPITRE IV : DESCRIPTION DES BANCS D’ESSAI, MODE OPERATOIRE ET
LES REACTIFS UTILISES**

| | |
|---|----|
| IV.1 Description des bancs d’essai..... | 56 |
| IV.1.1 Description du pilote TE600..... | 56 |
| A. Constitution..... | 56 |
| B. Opération..... | 57 |
| C. Liste des vannes..... | 58 |
| IV.1.2 Description du Jar-Test..... | 59 |
| IV.2 Matériels utilisés..... | 59 |
| IV.2.1 Appareillage de mesure..... | 59 |
| IV.2.1.1 Détermination de la turbidité..... | 59 |
| A. Principe..... | 60 |
| B. Mode opératoire..... | 60 |
| IV.2.1.2 Détermination de la conductivité..... | 60 |
| A. Principe..... | 60 |
| B. Mode opératoire..... | 61 |
| IV.2.1.3 Détermination de la température et du pH..... | 61 |
| A. Mode opératoire..... | 61 |
| IV.2 Mode d’opération expérimentale..... | 65 |
| IV.2.1 Etude expérimentale de la coagulation floculation décantation..... | 65 |
| IV.2.1.1 Les objectifs du travail..... | 65 |

| | |
|--|----|
| IV.2.1.2 La manipulation..... | 65 |
| IV.2.1.3 Mode opératoire d'essai sur le Jar-test..... | 66 |
| A. Mode opératoire de l'influence de la concentration de coagulant..... | 66 |
| B. Mode opératoire de l'influence de la concentration du floculant..... | 67 |
| IV.2.2.2 Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation..... | 67 |
| A. Durant la coagulation..... | 67 |
| B. Durant la floculation..... | 68 |
| IV.2.2.3 Mode opératoire de la coagulation floculation et décantation sur le pilote..... | 69 |
| A. La coagulation floculation et décantation lamellaire co-courant..... | 69 |
| B. La coagulation floculation et décantation lamellaire contre-courant..... | 70 |
| C. La coagulation floculation et décantation classique..... | 70 |
| IV.3 Les réactifs utilisés..... | 71 |
| IV.3.1 le réactif coagulant..... | 71 |
| IV.3.2 Le réactif floculant..... | 71 |
| IV.3.3 La bentonite..... | 71 |
| IV.4 Préparation des solutions..... | 72 |
| IV.4.1 Préparation de la solution de coagulant..... | 72 |
| A. Calcul de la concentration de coagulant..... | 72 |
| B. Calcul de la masse du coagulant..... | 72 |
| C. Calcul du volume du coagulant..... | 72 |
| IV.4.2 Préparation de la solution de floculant..... | 73 |
| A. Calcul de la masse de floculant..... | 73 |
| B. Calcul du volume de floculant..... | 73 |
| IV.4.3 Calcul pour le bac d'alimentation..... | 73 |
| A. Calcul du volume du bac (V) | 73 |

| | |
|---|----|
| B. Calcul de la hauteur de l'eau à traiter..... | 73 |
|---|----|

Chapitre V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS

| | |
|---|-----|
| V.1. Etude expérimentale de la coagulation-floculation et décantation..... | 75 |
| V.1.1. Introduction..... | 75 |
| V.1.2. Caractéristiques de l'eau utilisée..... | 75 |
| V.1.3.1 Effet de B.C.I sur la turbidité et le pH d'une eau salée..... | 76 |
| a. Effet de la B.C.I sur la turbidité..... | 77 |
| b. Effet de la B.C.I sur le pH..... | 79 |
| V.2. Résultats expérimentaux et interprétation..... | 80 |
| V.2.1 Détermination de la concentration optimale de coagulant..... | 81 |
| A. Effet de la concentration du coagulant sur la turbidité..... | 88 |
| B. Effet de la concentration de coagulant sur le pH..... | 96 |
| C. Effet de la concentration de sel sur la conductivité..... | 103 |
| V.2.2 Détermination de la concentration optimale de flocculant..... | 104 |
| V.2.2.1 Effet de la concentration du Flocculant sur la turbidité..... | 111 |
| V.2.3 L'influence de la durée et de la vitesse d'agitation..... | 118 |
| V.2.3.1 L'influence de la durée et la vitesse d'agitation pendant la coagulation..... | 118 |
| A. L'influence de la durée d'agitation pendant la coagulation..... | 118 |
| B.L'influence de la vitesse d'agitation durant la coagulation..... | 119 |

| | |
|---|-----|
| C. L'effet de la durée et de la vitesse d'agitation sur la turbidité pendant la coagulation..... | 120 |
| V.2.3.2 L'influence de la durée et la vitesse d'agitation pendant la floculation..... | 123 |
| A. L'influence de la durée d'agitation pendant la floculation..... | 123 |
| B. L'influence de la vitesse d'agitation pendant la floculation..... | 124 |
| C. L'effet de la durée et de la vitesse d'agitation lente pendant la floculation..... | 125 |
| V.2.4 L'influence de la vitesse d'agitation sur le pH et la conductivité pendant la phase de coagulation-floculation..... | 128 |
| V.2.5 La variation de la dose optimale de coagulant / flocculant en fonction de la qualité de l'eau brute..... | 129 |
| V.3. Résultats expérimentaux d'application de la coagulation floculation, décantation sur le pilote..... | 131 |
| V.3.1 L'effet du type de décantation sur la turbidité suivant les débits d'alimentation 40L/h et 80L/h..... | 133 |

Résumé

Avant leur traitement proprement dit les eaux brutes doivent passer d'abord à des procédés mécaniques et physiques qui consistent à éliminer de l'eau brute la plus grande charge de matières dont la nature ou les dimensions pourraient gêner les traitements ultérieurs. Mais malgré cette étape de prétraitement l'eau contient toujours des particules très fines et stables qui causent sa turbidité nommés les colloïdes. Pour diminuer de la turbidité plusieurs procédés peuvent être mis en jeu, dont la coagulation-floculation et décantation.

Le motif de notre travail est de voir le rendement de ce procédé sur une eau turbide et faiblement salée (solution préparée) en trouvant d'abord la dose optimale du coagulant et du floculant ainsi que la durée et la vitesse d'agitation adéquate pour avoir une meilleure diminution de la turbidité à l'aide d'un Jar-Test. De plus nous allons aussi étudier l'influence de certains paramètres à savoir la turbidité, la température, la conductivité et le pH.

Puis nous ferons recours au pilote TE600 en le considérant comme une petite station et où nous allons étudier les différents types de décantation s'agissant celle lamellaire co-courant, lamellaire contre-courant et classique afin de discerner le meilleur des trois suivant leur taux de diminution de la turbidité.

Mots clés :

Coagulation floculation décantation, matières en suspension, Jar-Test, turbidité, sulfate d'alumine, bentonite.

ملخص

قبل معالجة المياه الخام يجب ان تمر بعدة عمليات ميكانيكية وفيزيائية للقضاء على أكبر حمولة من المواد الملوثة بطبيعتها أو بحجمها التي يمكن أن تعيق المعالجة. ولكن على الرغم من هذه المعالجة لا تزال المياه تحتوي على جسيمات دقيقة للغاية ومستقرة التي تسبب التعكر عينا لغرويات. للحد من التعكر يمكن إعداد طرقاً لتشتت، مثل تخثر، التلبد والترسب

الدافع من عملنا هذا هو أن نرى أداء هذا الأسلوب على المياه العكرة ومنخفضة الملوحة (محاليل مضررة) من خلال إيجاد الجرعة المثلى للمادة المخثرة والملبدة ومدتها وسرعة التحريك الكافية التي تعطينا أفضل نتيجة في انخفاض التعكر باستخدام جار تاست. ودرسنا بالإضافة أيضاً تأثير بعض العوامل، المتمثلة في درجة الحرارة، والتوصيل ودرجة الحموضة.

وبعد ذلك استعنا بالجهاز TE 600 الذي نعتبره كمحطة صغيرة لمعالجة المياه حيث سنقوم بدراسة المراحل المختلفة لعملية الترسيب فيما يتعلق بكل من لاميلىر كوكرون (نفس الاتجاه) لاميلىر كنتر كورون (الاتجاه المعاكس) وعملية الترسيب الكلاسيكية لكي نبين عملية الترسيب الأفضل، اتباعاً لمدل انخفاض كل من العمليات الثلاث.

الكلمات المفتاحية:

تخثر، التلبد والترسب، المواد الملوثة، جار تاست، التعكر، سولفات ألومين

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau source de toute vie, sans elle tout serait impossible, elle est omniprésente, témoin de tous les siècles, et un fondement profond de la nature, paradoxalement elle provoque des dégâts considérables en hivers et entre temps apporte de la joie en été, c'est un élément unique dans son genre, c'est l'or bleu. [1]

Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause de la croissance démographique, du développement de l'industrie et l'accroissement des activités humaines qui à leur tour engendrent une pollution des ressources disponibles les rendant ainsi impropres à la consommation. [1]

La pollution de l'eau engendrée par le développement de l'industrie et la diversité des activités humaines a fait qu'aujourd'hui, l'eau potable est devenue une denrée rare surtout dans les pays en développement. L'eau est une ressource aussi précieuse que vitale et les hommes doivent en disposer en quantité et en qualité. [2]

L'eau contient parfois une quantité des substances composées de matières en suspension, de colloïdes et des particules très fines difficilement décantables qui engendrent sa turbidité et sa couleur.

Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres [3]

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation-floculation et décantation [4]. La coagulation est la déstabilisation de particules colloïdales par addition d'un réactif chimique appelé coagulant. La floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floes et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floes. On peut rajouter un autre réactif appelé flocculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de floes qu'on pourra facilement éliminer par décantation [5]

L'objectif général de notre travail est de voir comment la concentration de la bentonite industrielle peut influencer sur la coagulation floculation et décantation d'une eau faiblement saumâtre. Nous allons d'abord trouver la concentration optimale du coagulant et du flocculant utilisé à l'aide d'un Jar-test ; ensuite appliqué les résultats obtenus sur le pilote de coagulation floculation et décantation « TE600 », qui est considéré comme une petite station.

INTRODUCTION GENERALE

Pour se faire, ce présent travail est réparti en deux parties subdivisées principalement en cinq grands chapitres : l'une théorique qui concerne les trois premiers chapitres dont le premier donne un aperçu général sur l'eau, le chapitre II où nous allons parler de la représentation d'une station de traitement, puis le chapitre III où nous attèlerons la coagulation-floculation et décantation.

L'autre partie est une partie expérimentale qui va concerner les deux derniers chapitres à savoir le chapitre IV où nous présenterons la description des bancs d'essai, leur mode opératoire et les réactifs utilisés ainsi que les principaux objectifs de notre travail, en mesurant l'influence d'un certain nombre de facteurs sur la coagulation floculation, comme la dose optimale de coagulant et flocculant ainsi que la vitesse et le temps d'agitation. Ensuite le chapitre V qui a été réservé pour interpréter les résultats expérimentaux enregistrés, et pour l'exploitation de l'influence des paramètres mesurés sur la coagulation floculation et décantation. Enfin, ce modeste travail s'achèvera par une conclusion où le point de vue de tout ce qu'on a fait est donné.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR

L'EAU

RapportGratuit.com

I.1. Introduction

L'eau est sans doute la ressource qui définit les limites du développement durable. Elle détient plusieurs caractéristiques qui varient.

I.2 Définition de l'eau

L'eau (en latin aqua, qui a donné aquatique et en grec hydros, qui a donné hydrique, hydrologie) est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante), composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène sous la forme H_2O , avec une distance de 0,9584 Å pour la liaison O-H et un angle H-O-H de 104,45°.

L'eau, sous sa forme liquide, est essentielle aux organismes vivants à la fois pour ses caractéristiques mécaniques et ses propriétés chimiques.

D'un point de vue mécanique, la pression exercée par l'eau, appelée pression hydrostatique, est utilisée par les organismes pour se soutenir, que ce soit dans l'eau (méduse...) ou sur terre (végétaux).

D'un point de vue chimique, l'eau dissout la majorité des corps solides et facilite ainsi les réactions chimiques, donc le métabolisme. L'eau est en effet un solvant essentiel, parfois qualifié de « solvant universel ».

C'est d'ailleurs la présence permanente d'eau liquide qui permet de définir la zone habitable circumstellaire où il est possible de découvrir une forme de vie extraterrestre comparable à celle que nous connaissons. [1]

I.2.1 L'eau brute

L'eau brute désigne celle qui n'a pas encore été traitée, c'est-à-dire, l'eau dans l'état où elle est prélevée dans le milieu naturel, et qui n'a pas encore été introduite dans le milieu naturel [4].

I.2.2 L'eau potable

L'eau potable est une eau brute qui a subi des traitements avant sa distribution [6]. On l'appelle aussi une eau de consommation qui peut être définie en se référant à l'OMS comme une eau ne contenant en quantité dangereuse ni substances chimiques, ni des germes nocives à la santé du consommateur [7].

La qualité de l'eau ne doit pas nuire à la santé du consommateur. Elle doit être conforme à la réglementation sanitaire [2].

I.2.3 Les paramètres de l'eau de consommation

I.2.3.1 Les paramètres organoleptiques

Ils se réfèrent à la sensation bonne ou mauvaise que le consommateur perçoit immédiatement ou peut ressentir en buvant de l'eau.

A. La couleur

La couleur de l'eau est liée à la présence de matières organique dissoutes et de la matière en suspension. L'eau ne doit pas présenter une coloration dépassant 0.15µg de platine en référence à l'échelle platine-cobalt [8].

B. La turbidité

Elle est l'inverse de sa transparence. Elle est due à la présence de matière en suspension. La teneur en MES ne doit pas dépasser 1mg/l dans une eau potable [7]. La turbidité est mesurée par la diffusion d'un faisceau lumineux traversant l'eau [8].

C. L'odeur et la saveur

L'odeur et la saveur d'une eau sont imputables à la présence de certains éléments organiques, ou minéraux. Une eau potable ne doit présenter ni odeur, ni saveur perceptible [4].

I.2.3.2 Les paramètres physico-chimiques

A. Le pH (potentiel hydrogene)

Le pH est relatif à la concentration en ion hydrogène (H^+) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu [9] ; il permet alors de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau [10].

Ce paramètre influe sur les phénomènes de corrosion ou d'entartrage des conduites. On admit que le pH des eaux de consommation doit être compris entre 6.5 et 8.5 [4].

B. La température

Elle influe considérablement sur la vitesse de réaction chimique et biochimique de l'eau ; la température optimale de l'eau de consommation varie de 9 à 12°C et ne doit pas dépasser les 15°C [11].

C. 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 [8].

La mesure de la dureté de l'eau porte le nom de titre hydrométrique. On l'exprime en degré français sachant qu'un degré français équivaut à 10mg de carbonate de calcium par litre [2].

D. 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 comprise entre 180 et 1000 $\mu S/cm$ à 20° [4].

I.2.3.3 Les paramètres concernant les substances indésirables

Pour les substances suivantes, les valeurs de concentration doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après [4].

Tableau I.1 : Les normes de substances indésirables

| Substances | Valeurs |
|--------------------------------------|---------|
| Nitrates (NO ₃) | 50mg/L |
| Ammonium (NH ₄) | 0.1mg/l |
| Hydrocarbures dissous ou émulsionnés | 0.1µg/l |
| Fer (Fe) | 200µg/l |
| Manganèse (Mn) | 50µg/l |
| Cuivre (Cu) | 2mg/ |
| Fluor (F) | 1.5mg/l |

I.2.3.4 Les paramètres concernant les substances toxiques

Pour les substances suivantes, les valeurs de concentration doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après [4].

Tableau I.2 : Les normes de substances toxiques

| Substances | Valeurs (µg/l) |
|------------|----------------|
| Arsenic | 10 |
| Cadmium | 5 |
| Cyanures | 50 |
| Chrome | 50 |
| Mercure | 1 |
| Nickel | 20 |
| Plomb | 10 |
| Antimoine | 5 |
| Sélénium | 10 |

I.2.3.5 Les paramètres microbiologiques

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

I.3 Le cycle de l'eau

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 en 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 [12].

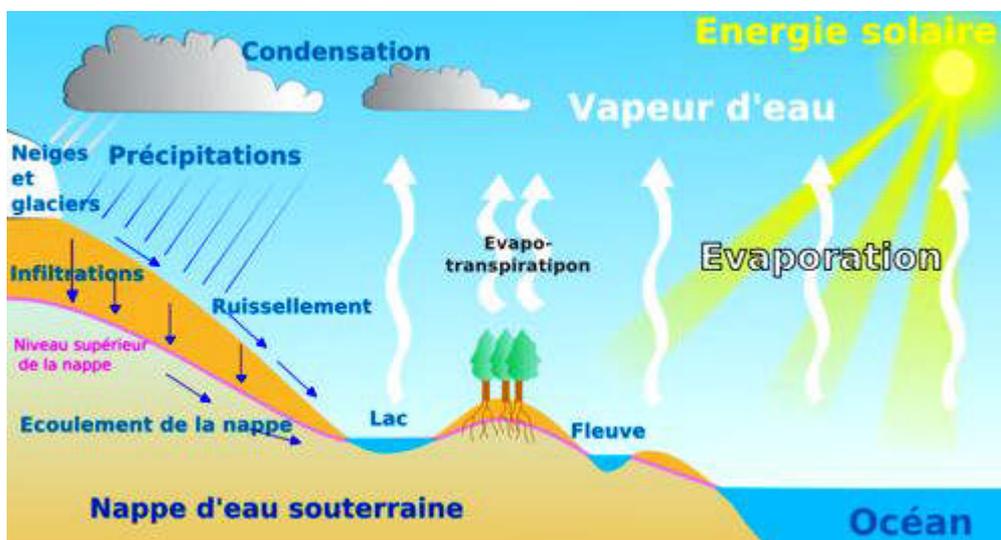


Figure I.1 : Le cycle de l'eau

Source : Centre National de la Recherche Scientifique(CNRS) : webmaster@eau-direct.f

I.3.1 : Le cycle proprement dit

Ce cycle est bien connu. Il est mis en fonctionnement par l'énergie solaire qui provoque l'évaporation des océans, principalement dans la zone équatoriale et tropicale. La vapeur ainsi formée monte dans l'atmosphère où elle se condense pour retomber rapidement sous forme de précipitations. Pour l'essentiel, en masse, le cycle de l'eau se résume à cette brève péripétie.

Pour la vie terrestre, il faut s'intéresser à la petite fraction qui, poussée par les vents va parcourir les continents pour s'y déverser, principalement sur les zones les plus élevées. A partir de là, si l'eau n'est pas retenue sous la forme de glace, ce qui va ralentir son déplacement, elle s'écoule à la surface des continents sous la forme des rivières. Les durées

du cycle de l'eau montrent bien les processus très différents au sein des différents compartiments. Dans la partie aérienne, les temps de résidence sont très brefs : au maximum de quelques jours, y compris au sein de la biosphère. Dans les glaces et dans l'océan, le transfert est plus lent et peut atteindre quelques milliers d'années [12].

I.3.2 : La dynamique du cycle de l'eau

En moyenne sur l'année et sur l'ensemble du globe terrestre, 65% des précipitations qui arrivent à terre s'évaporent, 24% ruissellent et 11% s'infiltrent.

Des échanges d'eau se produisent également entre l'hydrosphère et le manteau terrestre. Par ailleurs, dans la haute atmosphère, des molécules d'eau sont constamment décomposées par les rayons ultraviolets solaires et l'hydrogène ainsi créé, trop léger pour être retenu par la gravité, s'échappe dans l'univers. Cependant, il semblerait que ces phénomènes restent suffisamment négligeables pour que globalement la quantité totale d'eau dans l'hydrosphère reste constante : l'analyse des sédiments marins a en particulier révélé que le volume des eaux océaniques avait très peu varié depuis un milliard d'années. On peut donc considérer que le cycle de l'eau est stationnaire c'est à dire que toute perte d'eau par l'une ou l'autre de ses parties, atmosphérique ou terrestre, est compensée par un gain d'eau par l'autre partie [12].

I.4 Les états physiques de l'eau

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

I.4.1 L'état liquide

Sur terre c'est sur sa forme liquide qu'elle est la plus présente. En effet près de 70% de la surface de la terre est recouverte de d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce) essentiellement sous forme d'océan, 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 fleuves, les rivières, les ruisseaux, ainsi que les réseaux de type canaux, fossés [13]

Au cours de la fusion de la glace, les liaisons hydrogènes 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 [14].

I.4.2 L'état solide

On trouve également l'eau sous forme solide, c'est-à-dire sous forme de glace : glaciers, icebergs [13].

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 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 lié à l'atome d'oxygène de la molécule voisine [14]

I.4.3 L'état vapeur

Il est obtenu à 100°C à la pression atmosphérique ; les molécules sont relativement indépendantes les unes des autres et correspondent au modèle angulaire [14].

L'humidité de l'air provient de l'évaporation des mers et des 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 [13].

I.5 Les propriétés de l'eau

L'eau était considérée par les Anciens comme l'un des 4 éléments fondamentaux : le monde était composé d'un mélange de ces 4 principes essentiels en proportion variable. Elle a été considérée comme un corps simple jusqu'au XVIIIème siècle. Puis plusieurs chimistes découvrirent que l'eau n'était pas un corps simple en effectuant la synthèse puis l'analyse. Citons les précurseurs, Priestley qui produisit de l'eau à partir de la combustion de l'hydrogène (1774), Watts (1783) qui émit l'hypothèse que l'eau n'était pas un corps simple, Monge qui réalisa la synthèse sous l'action d'une étincelle électrique à partir d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène. Mais l'expérience de synthèse décisive fut celle de Lavoisier et Laplace (1783) qui synthétisèrent l'eau à partir de l'hydrogène et l'oxygène au cours d'une expérience publique mémorable. La décomposition de l'eau eut lieu plus tard, après la découverte de la pile électrique par Volta en 1800. L'électrolyse de l'eau permit de mesurer le rapport respectif de l'oxygène et de l'hydrogène pour arriver finalement à la formule chimique bien connue H₂O. La première électrolyse pratique (et spectaculaire) fut réalisée dès 1800 à Paris par Robertson; la formule chimique fut précisée par les travaux théorique de Dalton (1803) et Avogadro (1811) [12].

I.5.1 Les propriétés physiques

L'eau a des propriétés physiques assez particulières par rapport aux autres liquides. Elle apparaît comme un liquide "structurée", et non désordonnée comme les autres liquides, par le fait que ses constituants élémentaires sont associés. [12]

I.5.1.1 La masse volumique

Elle est le rapport de la masse sur le volume.

La masse volumique varie avec la température et la pression. Pour l'eau pure, sous pression normale, elle passe par un maximum à environ de 4°C (1kg/L) [15].

I.5.1.2 La viscosité

La viscosité est la propriété que présente un fluide liquide ou gaz d'opposer une résistance aux divers mouvements soit aux termes de turbulence soit aux termes globaux d'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 [15].

On a deux sortes de viscosité :

- La viscosité dynamique qui est définie par le rapport de la contrainte tangentielle de cisaillement au gradient de la vitesse

-La viscosité cinématique définie par le rapport de la viscosité dynamique à la masse volumique.

I.5.1.3 Les propriétés thermiques

I.5.1.3.1 La chaleur massique ou capacité thermique massique

La chaleur massique de l'eau est de $4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, à pression normale [16]. Elle est largement constante aux basses températures.

I.5.1.3.2 Les chaleurs latentes (les enthalpies)

L'eau a la chaleur latente d'évaporation la plus élevée de tous les liquides (44,22 kJ/mol soit 2454,3 kJ/kg à 20 °C); donc l'effet réfrigérant de la transpiration est efficace.

L'eau a une chaleur latente de fusion élevée (6,00 kJ/mol soit 333,0 kJ/kg) [16].

I.5.1.4 Les propriétés électriques

I.5.1.4.1 La constance diélectrique

La constance diélectrique symbolise la propriété du matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique. Plus le matériau limite le passage d'un courant électrique et plus sa constance diélectrique est élevée [17]

La constance diélectrique de l'eau est de l'ordre de 80 farads stéradian par mètre [15].

I.5.1.4.2 La conductivité électrique de l'eau

L'eau pure n'est pas un bon conducteur d'électricité. L'eau distillée ordinaire, en équilibre avec le dioxyde de carbone de l'air, a une conductivité d'environ 20 dS/m. Du fait que le courant électrique est transporté par les ions de la solution, la conductivité augmente lorsque la concentration des ions augmente [18]. La conductivité de l'eau pure l'on ait obtenu 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. [15]

I.5.1.5 Les propriétés optique

L'eau est transparente à la lumière visible ainsi les organismes aquatiques peuvent vivre car la lumière du soleil peut les atteindre elle est cependant opaque au rayonnement infra-rouge absorbé par l'hydrogène, l'oxygène et leur liaison [16].

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 [15].

I.5.1.6 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 [15].

La tension superficielle est élevée: l'eau est un bon mouillant (72 dyne/cm); elle s'insinue et pénètre dans tous les interstices et les pores des roches ainsi que dans les sols par phénomène de capillarité. Cette propriété est fondamentale pour le stockage de l'eau dans les aquifères, pour l'érosion superficielle des roches (éclatement sous l'effet du gel: le passage eau-glace développe une pression allant jusqu'à 207 000 KPa). La forte tension superficielle explique également la forme sphérique des gouttes d'eau [12].

I.5.2 Les propriétés chimiques de l'eau

I.5.2.1 La polarité

L'électronégativité de l'atome O étant plus haute que celle de H, il y a une polarisation de cette molécule, ce qui en fait un bon solvant. Elle possède un dipôle électrique permanent. La polarité de la molécule rend possible pour la molécule d'eau de réaliser des liaisons hydrogène intermoléculaires (+ 20-25 kJ/mol).

On observe donc 2 charges partielles négatives (δ^-), sur les doublets non liants de l'oxygène qui forment chacune une liaison hydrogène avec un atome d'hydrogène d'une autre molécule portant charge partielle positive (δ^+).

Et une charge partielle positive (δ^+), sur chaque atome d'hydrogène ce qui permet des liaisons hydrogène avec un oxygène d'une autre molécule portant une charge (δ^-) [16].

Dans les réactions chimiques, l'eau intervient d'abord par sa dissociation en protons H^+ , souvent associés à H_2O pour former des protons hydratés H_3O^+ , et en ions hydroxyle OH^- . C'est le rapport entre ces 2 types d'ions qui détermine le pH de la solution (pH: logarithme de l'inverse de la concentration molaire en H^+). De nombreux métaux peuvent décomposer l'eau en produisant un dégagement d'hydrogène et un hydroxyde métallique.

La dissolution des ions (sels, acides, bases) est une conséquence du caractère polaire de l'eau.

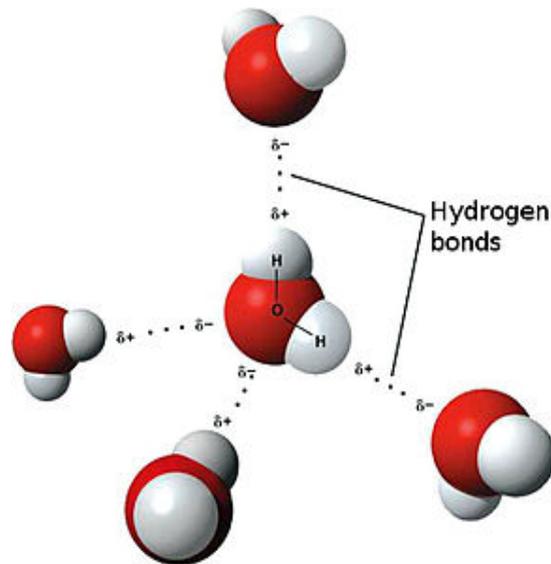


Figure I.2 : molécule d'eau avec ses charges partielles.

Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau>

I.5.2.2 L'effet solvant

L'eau est un excellent solvant qui dissout un très grand nombre de sels, de gaz, de molécules organiques. Les réactions chimiques de la vie se passent en milieu aqueux; les organismes sont très riches en eau. Elle a longtemps été considérée comme un solvant neutre intervenant peu ou pas dans les réactions chimiques [12]

L'eau est un composé amphotère, c'est-à-dire qu'elle peut être une base ou un acide. L'eau peut être protonée, c'est-à-dire capter un ion H^+ (Autrement dit un proton, d'où le terme protonée) et devenir un ion H_3O^+ . À l'inverse, elle peut être déprotonée, c'est-à-dire qu'une autre molécule d'eau peut capter un ion H^+ et la transformer en ion OH^- . Cependant, ces réactions se produisent très rapidement et sont minimes.



Les solvants protiques ou polaires y sont solubles (grâce aux liaisons hydrogène) et les solvants aprotiques ou non-polaires ne le sont pas.

La concentration des ions d'un sel caractérise le produit de solubilité. Les sels ont des valeurs de produit de solubilité différentes, ce qui explique le phénomène de cristallisation fractionnée au cours de l'évaporation d'une solution saline [12].

I.6 Les ressources de l'eau dans la nature

I.6.1 Les eaux de pluies

La pluie est un phénomène naturel par lequel des gouttes d'eau liquide tombent du ciel vers le sol. Il s'agit de la forme la plus commune de précipitation sur Terre, et son rôle est prépondérant dans le cycle de l'eau.

La pluie se forme à partir de la condensation de la vapeur d'eau qui a été évaporée par le Soleil, et s'est condensée dans un nuage par le refroidissement adiabatique dû au mouvement ascendant de l'air. On parle de pluie chaude quand les gouttes de pluie se sont entièrement formées dans un nuage au-dessus du point de congélation et de pluie froide quand elles sont le résultat de la fonte de flocons de neige quand l'air passe au-dessus de zéro degré Celsius en altitude [19].

I.6.2 Les eaux de surface

La circulation de l'eau à la surface de la Terre a donné naissance à une grande variété de systèmes aquatiques qui résultent de l'écoulement des eaux des terres vers la mer, ou de leur accumulation dans les dépressions et dans les couches sédimentaires superficielles. Cette diversité se traduit par une grande richesse du vocabulaire utilisé pour désigner ces milieux.

I.6.2.1 Les mers et les océans

Les mers et les océans constituent un énorme réservoir d'eaux. Elles représentent 97.4% du volume d'eau existante sur la planète, elles sont dénommées aussi les eaux saumâtres [4]. Les eaux de mer sont considérées comme une source d'eau brute en cas d'absence des eaux conventionnelles. Elles sont caractérisées par leur salinité qui varie entre 33g/l à 37g/l [20]. Les océans ont pour principales caractéristiques d'être d'une superficie bien supérieure à celle des mers et d'être délimités par plusieurs continents [4].

I.6.2.3 Les eaux stagnantes

On distingue :

- les lacs : qui sont des nappes d'eau libre. Les lacs peuvent être très profonds, ou peu profonds.
- les marais : qui sont des milieux peu profonds, sont colonisés par la végétation

- les mares : qui sont des petites nappes d'eau équivalentes à des lacs, mais le plus souvent de dimensions restreintes et de durée temporaire ;
- les milieux artificiels, comme les lacs de barrage ou réservoirs, compris les étangs qui sont des petits lacs que l'homme peut vidanger en cas de besoin.

En outre, un certain nombre de milieux qualifiés de zones humides ont une nature très variée. Ce sont en général des milieux aquatiques peu profonds, envahis par la végétation, dans lesquels on distingue quelques grands types comme les tourbières, les marécages, les plaines et prairies inondables, les deltas, les estuaires, etc.

Les lagunes sont des milieux relativement fermés alimentés par des eaux douces, mais en liaison permanente ou épisodique avec la mer.

I.6.2.4 Les eaux de ruissellement

Par opposition aux milieux stagnants, ou lentisques, les milieux fluviaux, ou lotiques, sont caractérisés par un écoulement visible des eaux. La terminologie (ruisseaux, torrents, rivières, fleuves) est moins variée que pour les eaux stagnantes [21].

I.6.3 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluies dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores. Les microfissures et les fissures des roches. Là, elles, s'accumulent remplissant le moindre vide, saturant d'humidité du sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère.

Les eaux souterraines sont toutes les eaux présentes dans le sous-sol à l'exception des eaux de constitution. Toutefois, le terme d'eau souterraine s'applique essentiellement à l'eau présente dans la zone saturée du sous-sol, cette eau constituant ce que l'on appelle une nappe d'eau souterraine : la nappe phréatique.[16]

I.6.3.1 La nappe phréatique

La nappe phréatique est une nappe que l'on rencontre à faible profondeur. Elle alimente traditionnellement les puits et les sources en eau potable.

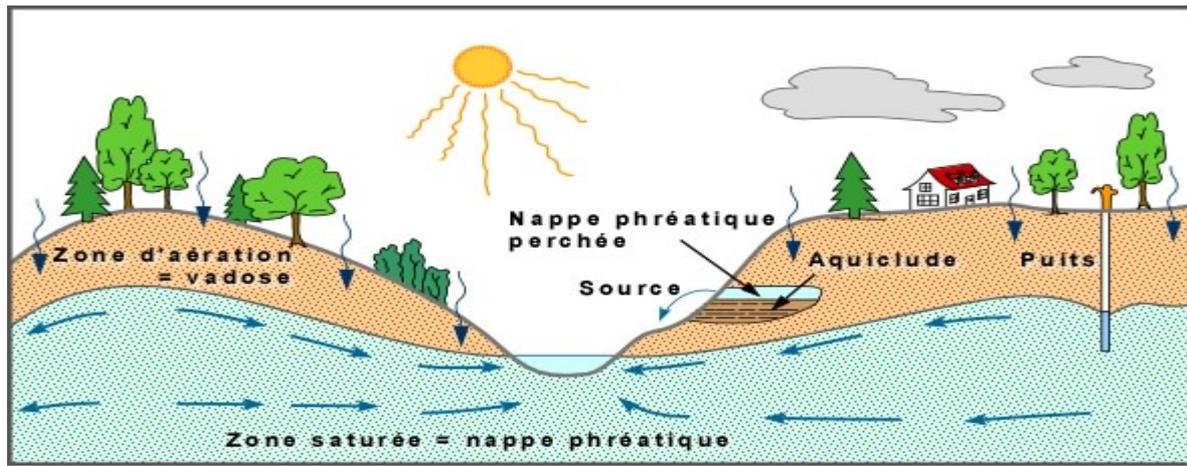


Figure I.3: La nappe phréatique

Source : <http://www.memoireonline.com/07/09/2349/Contamination-des-eaux-souterraines>

La nappe phréatique correspond au volume d'eau de la zone phréatique, alors que le niveau phréatique (en anglais: water table) correspond à la surface supérieure de la zone phréatique. Le terme de nappe phréatique est aussi souvent employé comme synonyme de niveau phréatique., on peut trouver des terrains non saturés, dans lesquels les interstices contiennent aussi de l'air. Cette couche est appelée la zone non saturée ou encore zone vadose [16]. La circulation dans la zone vadose se fait à la verticale. Mais dans la nappe phréatique, l'eau souterraine circule un peu comme à la surface, c'est-à-dire latéralement comme l'indiquent les flèches. Il peut arriver qu'il y ait localement dans dumatériel aquifère, une zone de matériaux aquicludes, comme une couche d'argile par exemple. Cette couche forme une barrière à l'eau et permet l'accumulation d'une lentille d'eau dans la zone vadose. On parle alors de nappe perchée. C'est par exemple ce genre de nappe qui peut donner naissance à une source.

I.6.3.2 Pollution des eaux souterraines

En fait, il faut savoir que la croûte terrestre contient des fluides jusqu'à de très grandes profondeurs, pratiquement sur toute son épaisseur, soit plusieurs milliers de mètres. Quand on parle d'eaux souterraines, on se réfère, en pratique, aux eaux qui se trouvent dans la partie superficielle de la croûte, quelques centaines de mètres au maximum, celles qui sont propres à notre consommation. Plus on s'enfonce dans la croûte, plus l'eau devient riche en divers sels minéraux et métaux, ce qui la rend impropre à la consommation [22].

I.6.3.2.1 Principaux origines de la pollution des eaux souterraines

A. L'activité humaine : origine domestique

Provient des utilisations quotidiennes de l'eau à la maison : eaux des toilettes, eaux savonneuses rejetées avec les lessives, les bains ou la vaisselle, les produits versés dans les éviers... comme les détergents : Ce sont des substances utilisées pour les diverses opérations de nettoyage. La biodégradabilité de ces substances est très variable. Les détergents sont rares dans les eaux souterraines, sauf dans les zones suburbaines, en liaison avec les puisards recevant les eaux usées et dans certaines nappes alluviales en relation étroite avec un cours d'eau pollué. Ces détergents sont peu toxiques mais ils facilitent par leur pouvoir mouillant la dispersion et le transfert d'autres polluants comme les pesticides [23]

B. Les industries : origine industrielle

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel

Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

- des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...)
- des hydrocarbures (industries pétrolières, transports)
- des métaux (traitements de surface, métallurgie) : Certains de ces métaux peuvent être toxiques (cadmium, chrome, mercure, plomb...), D'autres éléments sont considérés comme indésirables et peuvent présenter des inconvénients au consommateur d'ordre organoleptique : goût, saveur, coloration. C'est le cas pour le cuivre, le zinc, le fer, le manganèse, l'aluminium.
- des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...)
- des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques)
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) [23].

C. L'agriculture : origine agricole

Les engrais et pesticides mal utilisés polluent les eaux souterraines (en s'infiltrant dans le sol avec l'eau de pluie et d'arrosage) et de surface (en ruisselant). L'emploi excessif d'engrais a fait sensiblement augmenter la quantité de nitrate dans les rivières et nappes phréatiques peu profondes.

Le nitrate est pourtant un élément naturel bénéfique intégré au cycle de l'azote et indispensable à la croissance des végétaux. Il est épandu sous forme organique (déjection animale : fumier, lisier) ou minérale (chimique). Un emploi excessif de nitrates déséquilibre ce processus : après l'épandage d'engrais azotés, l'eau de pluie, en s'infiltrant, entraîne dans sa course l'engrais que les plantes et les sols n'ont pu absorber. Cette charge azotée s'infiltrer alors jusqu'aux réserves d'eau douce qu'elle pollue [23].

I.6.3.2.2 Différents types de pollution des eaux souterraines

A. Pollution naturelle

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines se déplaçant à travers les roches et les sols sédimentaires, peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux souterraines dépend du type du contaminant et de ses concentrations [24].

B. Pollution agricole

Les pesticides, les engrais, les herbicides et les déchets animaliers sont des sources agricoles de contamination des eaux souterraines. Les sources agricoles de contamination sont nombreuses et variées: débordement des engrais et des pesticides pendant la manipulation, écoulement du chargement et lavage des pulvérisateurs de pesticide ou de tout autre équipement d'application, utilisation de produit chimique... Une région agricole qui manque de drainage est considérée par beaucoup de fermiers comme étant terre perdue du point de vue du revenu. Ainsi, ils peuvent installer des tuiles de drain ou des puits de drainage pour rendre

la terre plus productive. Les puits de drainage servent alors de conduit direct aux eaux souterraines pour les déchets agricoles.

Le stockage de produits chimiques agricoles près de conduits d'eaux souterraines, telles que les puits, les trous d'évier, est susceptible de s'accumuler et de provoquer une contamination. La contamination peut également se produire quand des produits chimiques sont stockés dans des secteurs découverts, non protégés du vent et de la pluie [24].

C. Pollution industrielle

Les industries de fabrication et de secteur tertiaire ont des demandes élevées en eau pour les procédés de refroidissement, de traitement ou de nettoyage. La pollution des eaux souterraines se produit quand l'eau utilisée est retournée au cycle hydrologique.

L'activité économique moderne exige le transport et le stockage de la matière employée dans la fabrication, le traitement, et la construction. De cette manière, une partie de ce matériel peut être perdue par débordement, par fuite, ou par mauvaise manipulation. L'élimination des pertes, associée aux activités ci-dessus, est une autre source de contamination des eaux souterraines. Certaines entreprises, habituellement sans accès aux réseaux d'égouts, se servent dans les eaux souterraines peu profondes. Elles emploient des fosses ou des puisards secs, ou envoient l'eau usagée dans les réservoirs septiques. Tout ceci peut mener à la contamination des sources souterraines d'eau potable. Les fosses et les puisards secs provoquent l'infiltration des déchets directement dans le sol. Les systèmes septiques ne peuvent pas traiter les pertes industrielles [24].

D. Pollution résidentielle

Les systèmes résidentiels d'eau usagée peuvent être une source de différents types de contaminants, y compris des bactéries, des virus, des nitrates, et des composés organiques.

Les puits utilisés pour l'évacuation des eaux domestiques usagées (les systèmes septiques, puisards, puits de drainage pour l'écoulement de précipitations exceptionnelles, puits de recharge d'eaux souterraines) sont particulièrement concernés par la qualité des eaux souterraines s'ils sont placés près des puits d'eau potable. Le stockage incorrect ou l'évacuation de produits chimiques ménagers tels que les peintures, les détergents synthétiques, les dissolvants, les huiles, les médicaments, les désinfectants, les produits

chimiques de piscine, les pesticides, les batteries, l'essence et le carburant diesel peut mener à la contamination des eaux souterraines. Lorsqu'ils sont entreposés dans les garages ou les sous-sols, le nettoyage des planchers, les flaques et les inondations peuvent introduire de tels contaminants dans les eaux souterraines. Lorsqu'ils sont jetés dans les poubelles des particuliers, ces produits seront éventuellement introduits dans les eaux souterraines si les déchetteries ne sont pas équipées pour traiter les matériaux dangereux. De même, les déchets vidés ou enterrés dans la terre peuvent souiller les sols et s'écouler dans les eaux souterraines [24].

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre après une présentation succincte du cycle de l'eau, des formes de l'eau sur terre et des caractéristiques de l'eau ; nous pouvons conclure que les généralités de l'eau sont vastes et aléatoires. L'eau, une ressource essentielle, est utilisée à des fins alimentaires, d'hygiène corporelle, ou récréatives, nécessitant un haut niveau de qualité physico-chimique, chimique et microbiologique. De ce fait pour une bonne qualité de l'eau, nous allons évoquer la représentation d'une station de traitement et développer les différents procédés qui s'y trouvent dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II :
REPRESENTATION
D'UNE STATION DE
TRAITEMENT

II.1.Introduction

Ouvrir un robinet est un geste banal. Pourtant, l'eau captée dans le milieu naturel est chargée de minéraux, de micro-organismes et d'impuretés [25].

La mise à disposition des consommateurs d'une eau dépourvue de germes pathogènes implique la mise en œuvre à la fois des procédés de traitements efficaces et des méthodes de mesures fiables qui permettent d'assurer l'absence de tout risque microbiologique. Outre ces problèmes sanitaires, il est aussi important de veiller à la qualité de l'eau lors de son transport, et de son stockage afin d'éviter les phénomènes de reviviscence bactérienne et de croissance de biophile qui peuvent altérer la qualité de l'eau et endommager les infrastructures [26], d'où l'importance du traitement de l'eau.

II.2.Définition d'une station de traitement

Une station de traitement rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux brutes. Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux en faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques [26].

II .2.1.Les objectifs du traitement des eaux

Pour définir les objectifs d'un traitement, deux paramètres s'imposent :

a. La connaissance de l'eau à traiter

- Analyse complète sur échantillons représentatifs ;
- Méthodes d'analyses ;
- Méthodes de prélèvement ;
- Variations annuelles des caractéristiques de l'eau à traiter avec la connaissance des maximas et minimas ;
- Eventuellement prévision de changement de qualité d'eau (ex : usine polluante prévue en construction, en amont de la prise d'eau, point d'eau, barrage exposé à une pollution).

b. La définition des objectifs exacts du traitement

Ceux-ci peuvent être répartis en trois groupes :

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

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

➤ La protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usages (robinetterie, chauffe-eau,...) contre l'entartage et/ou la corrosion.

Dans tous les pays, ces objectifs se traduisent par une réglementation officielle.

Cette réglementation est fonction du critère de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie [27].

II.2.2.Fonctionnement d'une station de traitement

Avant d'être distribuée aux usagers, l'eau brute issue des captages doit être rendue potable. Les traitements nécessaires sont réalisés dans des stations de production d'eau potable qui n'effectuent pas toutes le même travail.

Les traitements successifs doivent être appropriés à la ressource en eau concernée. En effet, selon son origine, son environnement et les milieux qu'elle traverse, l'eau se charge en différents éléments (minéraux, polluants...), naturels ou non, qui modifient sa composition.

Les traitements doivent pouvoir répondre à une modification temporaire récurrente de la qualité de l'eau, comme le développement d'algues ou l'augmentation de la turbidité (aspect trouble de l'eau chargée de matières en suspension) [28]

Ces traitements comportent en général, différentes étapes qui sont les suivantes :

- ❖ Le relevage.
- ❖ Le prétraitement.
- ❖ Le traitement primaire.
- ❖ Le traitement secondaire.
- ❖ Le traitement tertiaire. [29]

II.2.2.1.Le relevage

Le relevage consiste à transporter les eaux brutes vers la station de traitement à l'aide de pompes. [30]

II.2.2.2. Le prétraitement

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

II.2.2.2.1. Le dégrillage

Cette opération de traitement primaire consiste à retenir les objets ou débris grossiers (morceaux de bois, plastiques, filasses, boîtes de conserve, etc.) véhiculés par les eaux usées, sur une grille constituée de barreaux dont l'écartement est variable suivant l'efficacité voulue. Cette grille est ensuite nettoyée régulièrement soit manuellement dans les petites installations, soit automatiquement à l'aide d'un dégrilleur à râteau ou à peigne pour les installations plus importantes [31]

II.2.2.2.2. Le micro tamisage

Ce procédé consiste en un filtrage plus fin de l'eau à travers une toile de fils ou de fibres ou bien à travers une membrane poreuse. Les particules organiques, minérales ou le plancton sont interceptés si leur taille est supérieure à celle des ouvertures du micro tamis. Celui-ci n'améliore, ni la turbidité causée par de fines particules, ni la couleur de l'eau ; les argiles, les substances dissoutes, les éléments colloïdaux minéraux et organiques ne se trouvent pas arrêter [32].

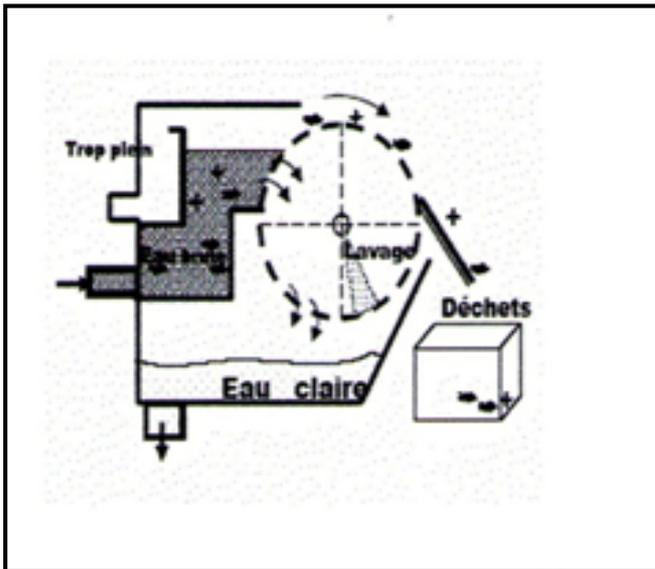


Figure II.1 : Tamis rotatif [33].

II.2.2.2.3. Le Dessablage

A. But /utilisation

Le but du dessableur est de piéger les particules solides charriées par les eaux et les matières en suspension de granulométrie comprise entre 200 et 500 μm : sable, graviers, etc.

En retenant les sables qui sont associés aux polluants, le dessableur participe à la protection du milieu récepteur ; il permet également :

- d'éviter la détérioration des ouvrages situés en aval (assure des pièces mécaniques).
- de limiter la réduction de la débitante des collecteurs.

Ainsi, l'implantation d'un dessableur diminuera les difficultés d'exploitation des réseaux et la quantité de sables rejetée dans le milieu.

B. Principe

Sous forme d'ouvrage constitué d'une chambre profonde, ce dispositif a été conçu pour arrêter les particules minérales les plus denses, essentiellement les sables et graviers mais aussi les débris de verre et des métaux.

Cette séparation gravitaire s'effectue par limitation de la vitesse horizontale des fluides qui doit être inférieure à la vitesse de chute des particules minérales.

Le dessableur assure donc le tri des particules denses et légères :

- En retenant au fond de la chambre de dessablement les particules minérales sèches ;
- En laissant en suspension les matières organiques de densité $\approx 1,2$ [32].

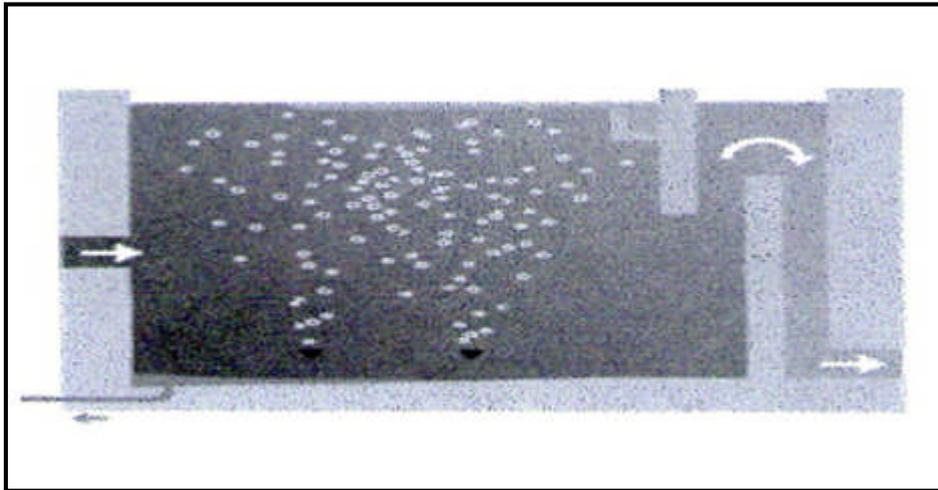


Figure II.2 : Dessableur [33].

II.2.2.3. Traitement primaire

Les procédés du traitement primaire sont physiques, comme la décantation plus ou moins poussée éventuellement physico-chimiques. Le traitement primaire est adapté pratiquement dans les stations de traitement des eaux, il a pour but objectif :

- D'éliminer les matières flottantes.
- D'éliminer une fraction des matières colloïdales [23].

II.2.3.4. Traitement secondaire

II.2.3.4.1. La coagulation –floculation

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique qui va permettre de diminuer de la quantité des matières en suspension.

Son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se décanter naturellement: les colloïdes[34]

A. La coagulation

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles et hydrophobes tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération.

Cette agglomération est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactifs chimiques. Ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements ultérieurs (décantation et / ou filtration) [30].

A.1. Les coagulants utilisés

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un floc sont des électrolytes minéraux à poly cations. Les plus utilisés sont :

Le Sulfate d'Alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$.

L'Aluminate de Sodium NaAlO_2 .

Le Chlorure d'Aluminium AlCl_3 .

Le Chlorure Ferrique FeCl_3 .

Le sulfate Ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

Le Sulfate Ferreux FeSO_4 .

Le Sulfate de Cuivre CuSO_4 .

Et le poly électrolytes.

Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer. On a longtemps pensé que ces sels libéraient des ions (Al^{3+}) et (Fe^{3+}) qui neutralisaient la force de la répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation. On sait maintenant que les mécanismes qui entrent en jeu sont plus complexes et que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux-mêmes [31].

B. La floculation

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, pour former des micros floccs puis des floccs plus volumineux et décantables. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts entre les particules, ces derniers sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules [30].

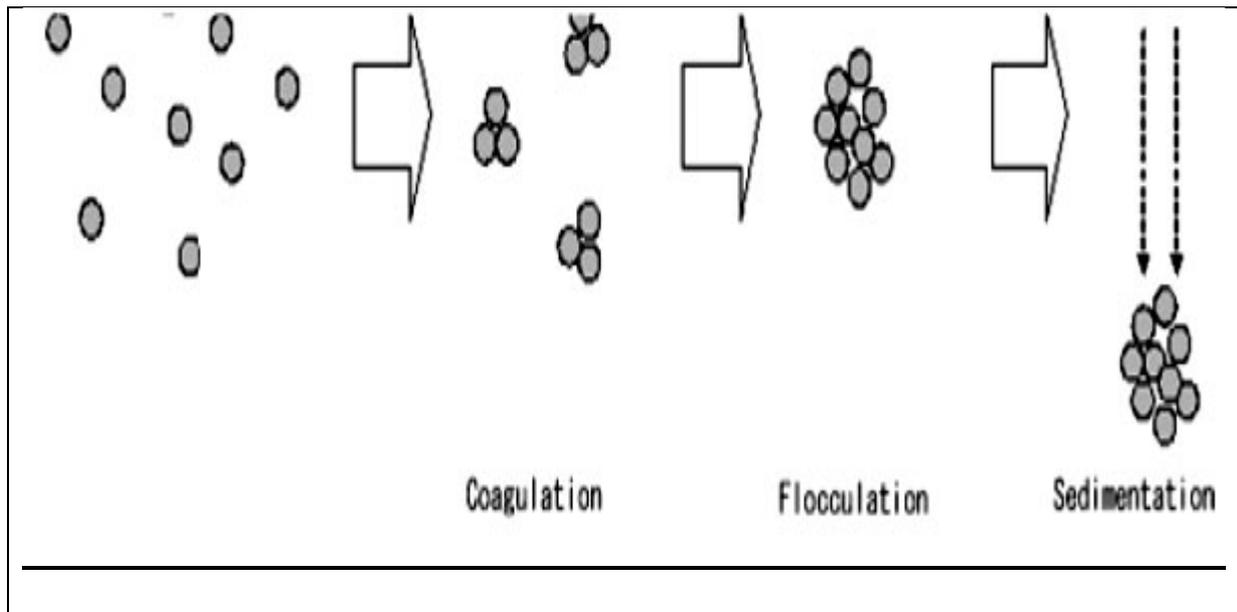


Figure II.3 : coagulation et floculation et sédimentation [33].

C. Décantation

À la fin de cette étape, la décantation peut permettre de supprimer 63% (des matières en suspension).

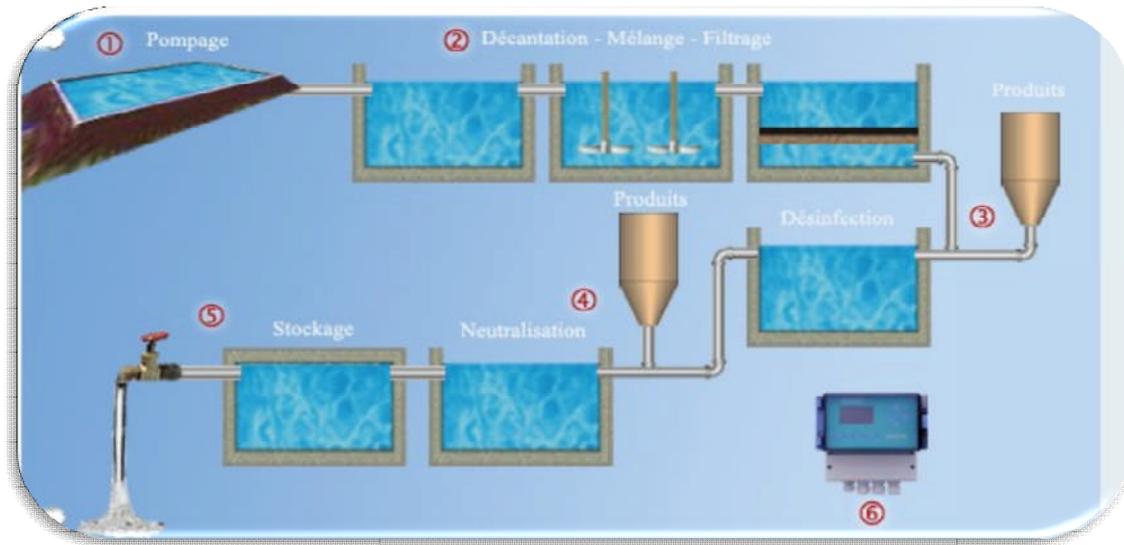


Figure II.4 : Décantation [35].

C.1. Principe

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigé vers un filtre

C.2. Les décanteurs

D'une façon générale, le dimensionnement consistera à déterminer deux paramètres principaux :

- La surface du décanteur qui sera d'autant plus grande que la vitesse de décantation soit faible ;
- La profondeur du bassin qui déterminera le temps de séjour de la suspension dans le bassin. Ce temps devra être suffisant pour permettre la formation d'une boue au fond de l'appareil[36].

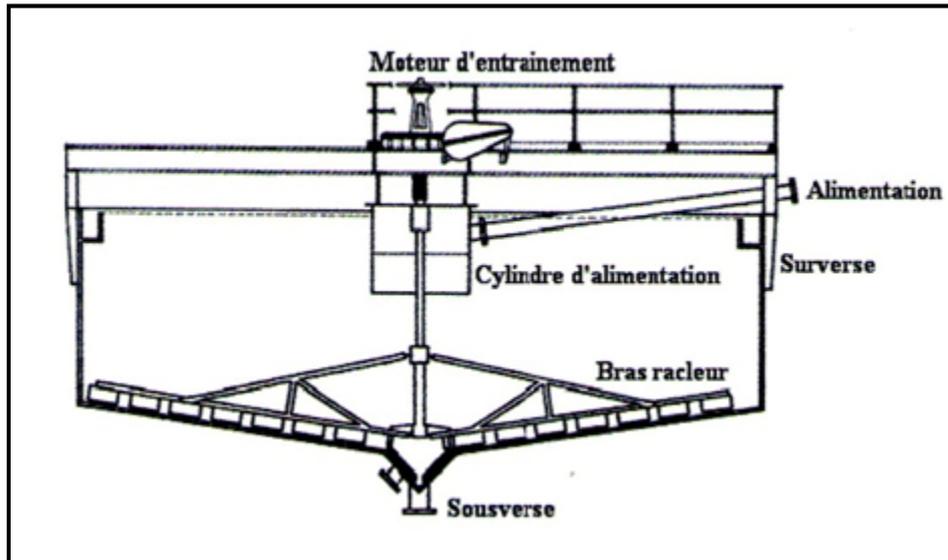


Figure II.5 : Décanteur cylindrique [33].

II.2.3.5. Traitement tertiaire

A. Filtration

A.1. But de filtration

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES, en les faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc prévoir un nettoyage du filtre [37].

A.2. Types de filtrations

Il existe deux types de filtres à sable : le rapide et le lent. Le plus souvent, on utilise le filtre rapide. Lorsque l'on fait passer de l'eau flocculée à travers ces filtres, ceux-ci retiennent le floc. Au fil des utilisations, les filtres se bouchent et doivent être rincés. L'eau de rinçage est alors récoltée dans un bassin de décantation dans lequel le floc se solidifie. Il peut ensuite être récupéré et jeté ou utilisé comme engrais.

Lorsque l'on dispose d'assez de temps et d'une surface suffisante, on traite l'eau avec des filtres lents. Dans ce cas, c'est moins le filtrage physique que l'action biologique qui compte. Ces filtres sont constitués de différentes couches de sable, le plus épais étant en dessous et le plus fin au-dessus. Un tuyau est enterré à la base de ces couches et emporte l'eau ainsi traitée

pour qu'elle soit désinfectée. Ce procédé donne une eau d'excellente qualité, comme le font peu d'autres procédés naturels.

A.2.1. Filtration lente

Dans la filtration lente, la vitesse de filtration est comprise entre 10 et 80 centimètres par heure. A cette faible vitesse, les matières en suspension retenues dans les premiers centimètres d'épaisseur du filtre, constituent au bout de quelques jours une couche biologique siége d'une vie intense et capable d'arrêter les particules extrêmement fines et de retenir une très forte proportion des bactéries présentes dans l'eau à traiter (jusqu'à 99%). Ce type de filtre ne devient donc efficace qu'au bout de plusieurs jours ; il est de plus vulnérable aux populations microbiennes abondantes et aux poisons chimiques qui pourraient l'atteindre, ainsi qu'à d'éventuelles irrégularités de débit. D'autre part, la faible vitesse de filtration impose pour ces installations des dimensions importantes, et par suite un prix élevé.

A.2.2. Filtration rapide

La vitesse de filtration est alors de l'ordre de 10 fois supérieure à celle des filtres lents (elle atteint en exploitation 6 mètres par heure soit environ 1.7 mm/s). À l'opposé du filtre lent, le filtre rapide est utilisable immédiatement, mais son encrassement en diminuant sa perméabilité et par suite son débit, rend très vite nécessaire (au bout de quelques heures à quelques jours, suivant la charge de l'eau) de le régénérer par un lavage.

Primitivement réalisé par un écoulement d'eau à contre-courant, le lavage des filtres rapides est maintenant effectué, toujours à contre-courant, par un écoulement simultané d'air et d'eau, qui brasse le sable et le nettoie de façon beaucoup plus homogène.

Les filtres rapides, d'un encombrement environ 10 fois inférieur à celui des filtres lents, sont de ce fait beaucoup moins onéreux et ont tendance à se généraliser.

Bien entendu, la décantation ou la filtration sont précédées, si nécessaire, d'une élimination des éléments grossiers par le moyen des grilles et de pré-filtres [29] ;



Photo II.1 : Filtres à sable rapides [33]

B. Désinfection

B.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 à 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 et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce aux moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma.

Les maladies d'infection causées par les bactéries pathogènes ; les virus ; les parasites protozoaires, sont parmi les plus courantes et étendent le risque sanitaire de l'eau potable.

La contamination de l'être humain par ces microorganismes se fait à travers l'eau potable contaminée, les aérosols et les lavages ou les bains[38]

B.2. Différents modes de désinfection :

Tous les procédés et les produits de désinfection n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution, etc.) et sachant qu'un désinfectant ou un procédé de désinfection doit :

- a) Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux ;
- b) Etre toxique, à des faibles concentrations, pour les microorganismes ;
- c) Etre soluble dans l'eau ;
- d) Former avec l'eau une solution homogène ;
- e) Etre efficace à des températures normales de l'eau de consommation (0 à 25°C).
- f) Etre stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps ;
- g) Ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des microorganismes ;
- h) Ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive ;
- i) Eliminer les odeurs ;
- j) Exister en grande quantité et être vendu à prix abordable ;
- k) Etre facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs ;
- l) Permettre une mesure aisée de sa concentration.

La désinfection à l'aide de chlore représente 80% de la désinfection dans le monde, car ce désinfectant présente plusieurs avantages parmi ceux énoncés ci-dessus. Cependant, l'addition de ce produit peut entraîner des effets secondaires indésirables qui, dans certains cas, obligent à utiliser d'autres désinfectants. Ainsi, Le chlore réagit avec la matière organique de l'eau, ce qui peut parfois entraîner la formation de substances cancérigènes (tri-halo-méthanés) ou d'odeurs désagréables (chlorophénols). Par ailleurs, le chlore n'est pas suffisamment puissant pour éliminer complètement certains microorganismes très résistants comme les virus et les protozoaires. Afin de pallier ces carences, on utilise le dioxyde de chlore ou l'ozone. Ces désinfectants, beaucoup plus puissants que le chlore, ont toutefois l'inconvénient d'être instables [38].

B.3. Facteurs fondamentaux de la désinfection :

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables : puissance du désinfectant, concentration du désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, type de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et concentration des matières organiques dans l'eau. Il n'existe actuellement aucune loi mathématique connue qui permet de calculer le taux de destruction des microorganismes en fonction de ces variables.

B.4. Désinfectants

La désinfection de l'eau peut être réalisée à partir de plusieurs désinfectants. Les plus utilisés sont [38] :

- 1) le chlore
- 2) l'hypochlorite de sodium
- 3) Le dioxyde de chlore
- 4) Les chloramines
- 5) Le peroxyde d'hydrogène
- 6) L'ionisation cuivre/argent
- 7) Autres désinfectants incluant l'ozone et les UV.

C. La déminéralisation

Les eaux très chargées en sels minéraux dissous, peuvent présenter des inconvénients dans certains usages. Ainsi, souvent on est appelé à éliminer totalement ou particulièrement certains ions tels que : Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Ces techniques ne sont utilisées en général que si les ressources conventionnelles sont insuffisantes, et servent surtout d'appoint.

Pour l'élimination de ces sels minéraux on utilise :

- ❖ L'échange ionique ;
- ❖ La distillation ;
- ❖ Les procédés membranaires [35].

C.1. L'échange ionique

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles qui possèdent des radicaux acides ou basiques, leurs applications sont :

- L'adoucissement, rétention des ions calcium et magnésium ;
- La déminéralisation, rétention de tous ou partie des ions de l'eau à traiter ;
- Le traitement des eaux résiduaires radioactives ;
- La rétention de l'ion NH_4^+ des eaux résiduaires ;
- L'échange d'ions sélectif de cation pour la rétention des métaux lourds.

Il existe deux grands groupes d'échangeurs ioniques :

- Les échangeurs cationiques ;
- Les échangeurs anioniques [37].

C.2. La distillation

La distillation est un procédé de traitement des eaux très chargées en sels minéraux qui fait intervenir un changement de phase, elle comporte une vaporisation d'eau par la fourniture de l'énergie thermique sous forme de chaleur, puis une condensation de la vapeur d'eau qui est suivie par une installation de récupération de chaleur libérée pour obtenir enfin une eau complètement douce [37].

C.3. Les procédés membranaires

C.3.1. L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement d'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et retiennent les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. Cette technique est utilisée pour :

Le dessalement des eaux de mer ;

Le dessalement des eaux saumâtres,

La production d'eau ultra pure [37].

C.3.2. L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé qui consiste à éliminer les sels dissous contenus dans l'eau par migration à travers des membranes sélectives anioniques et cationiques sous l'action d'un champ électrique. Dans lequel, l'action de sélectivité des membranes impose que seuls les anions peuvent traverser les membranes anioniques et seuls les cations peuvent traverser les membranes cationiques par ailleurs l'alternance des membranes sélectives anioniques et cationiques crée deux compartiments : l'un de l'eau concentrée en sels minéraux (concentra) et l'autre de l'eau douce (perméat).

On trouve deux types de membranes qui sont utilisées en électrodialyse :

- Les membranes qui sont perméables uniquement aux cations et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement acide sulfonique (SO_3^-).
- Les membranes qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est un groupement ammonium quaternaire (NR_3) [35].

II.3. Control au niveau du laboratoire

Toutes les étapes de traitement des eaux et des boues sont réalisées sur le terrain sauf la partie contrôle qui s'effectue au niveau du laboratoire par des chimistes, bactériologistes et autres.

Leur tâche est de contrôler l'eau dès son entrée jusqu'à sa sortie.

Plusieurs équipements sont utilisés, nous citons :

- Un Oxymètre : pour mesurer l'oxygène dissout dans l'eau.
- Un pH mètre : pour mesurer le pH.
- Un Spectrophotomètre de type TR2000 : Conductivité ; déterminer les paramètres adéquats favorisant une réaction biologique.
- Un microscope : Voir la composition des boues ; connaître sa charge.
- Contenant l'eau traitée non chlorée ; teinte légèrement de la couleur de la boue.
- Contenant l'eau chlorée [39].

II.4. Conclusion

Toute eau destinée à la consommation humaine doit avoir les caractéristiques qui respectent les normes bactériologique et physicochimique recommandées.

En Algérie les normes adoptées sont celles de l'Organisation Mondiale de Santé (OMS). L'un des buts primordiaux du traitement est de réduire la turbidité qui traduit la

présence de matières étrangères en suspension dans l'eau et éveille la méfiance et la répugnance du consommateur. En outre, elle nuit au taux de filtration et risque de diminuer l'efficacité de la désinfection, le contact entre les germes pathogènes et l'agent désinfectant étant défavorisé. Ainsi pour éviter cela nous allons illustrer dans le chapitre suivant ce qui diminue la turbidité qui est la phase de coagulation-floculation et décantation.

CHAPITRE III :
COAGULATION
FLOCCULATION ET
DECANTATION

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 1m 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 à 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 ou filtration. [4]

III.2. Détermination de la matière en suspension

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. La méthode de centrifugation est surtout réservée aux eaux contenant trop de matières colloïdales pouvant être filtrées dans de bonnes conditions, en particulier si le temps de filtration est 1 heure.

Les 2 méthodes ont leurs inconvénients respectifs liés à un certain nombre de facteurs. Quelle que soit la méthode choisie il est nécessaire, pour obtenir une reproductivité satisfaisante, de respecter les conditions opératoires et d'utiliser le même type de matériels. D'une façon générale les matières grossières doivent être préalablement éliminées par passage sur un tamis [40].

III.3. Les colloïdes

Les colloïdes sont des particules de très faible diamètre notamment responsables 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.

III.3.1 Les différents types de colloïdes

- Les colloïdes hydrophiles : ces colloïdes sont responsables de la coloration des eaux et sont en générale de nature organique, présentant des groupements de type R-NH₂, R-OH entre autre. Ces groupements électronégatif vont créer des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau. Cette couche s'oppose au rapprochement et va être un facteur stabilisant.
- Les colloïdes hydrophobes : ils sont en générale de nature minérale. Leurs surfaces sont constituées de charge négative qui engendre une répulsion mutuelle rendant impossible tout agglomération.

En général peu de colloïdes sont exclusivement hydrophiles ou hydrophobes. La différence se fait sur la présence ou non de groupement de type hydrophile qui induira un degré d'hydratation plus ou moins important.

III.3.2 Élimination des colloïdes

Pour éliminer les colloïdes présents dans une eau, il faut réaliser une coagulation des particules en introduisant un agent de coagulation qui éliminera les charges électrostatiques de manière à permettre la rencontre et l'accumulation des colloïdes [41]

III.3.3 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 :

- 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 qui combine les deux théories précédentes et considère la formation d'une double couche : la première formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant. Comme illustré sur la figure (III.1), le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis diminue plus lentement [42].

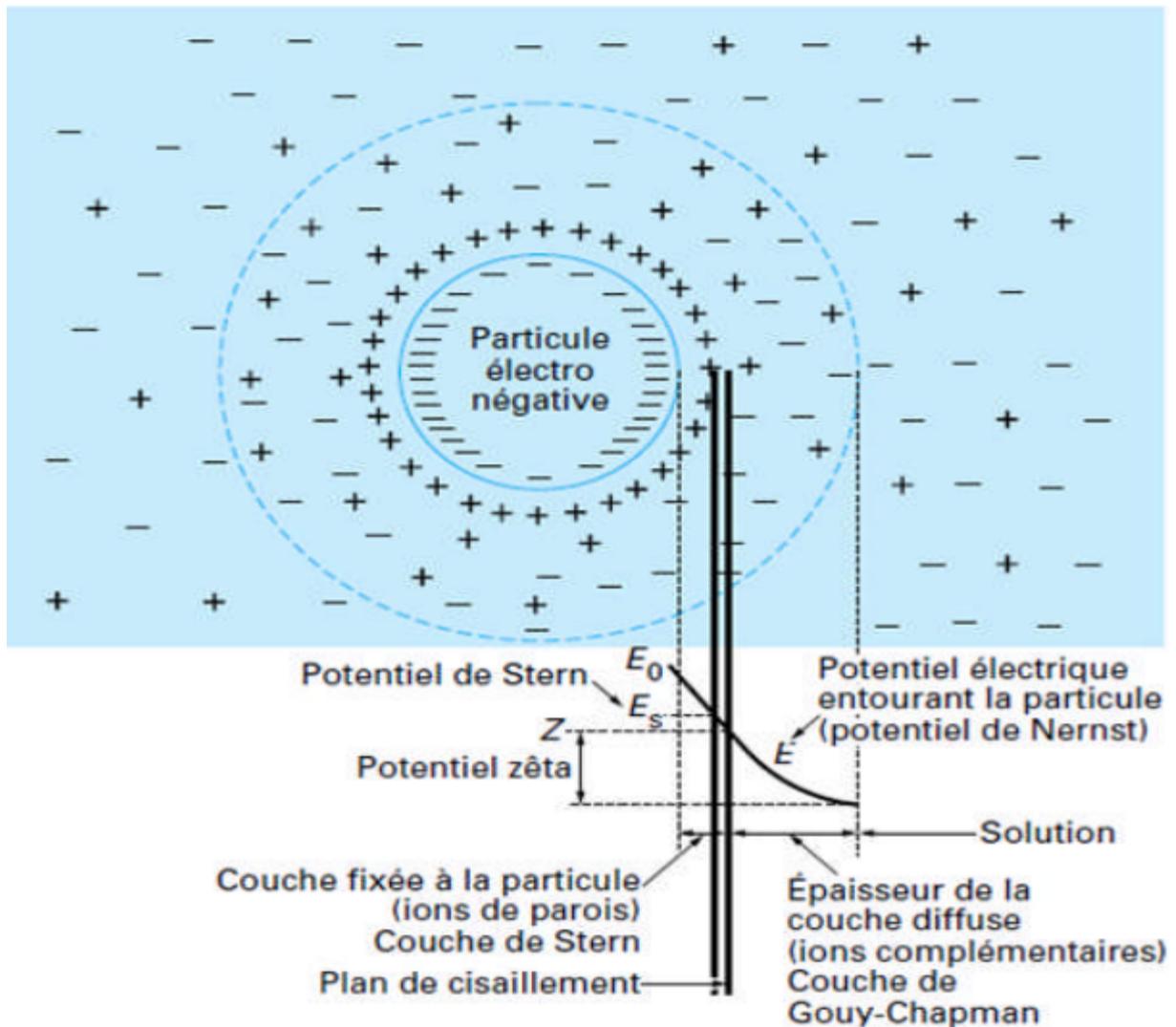


Figure III.1 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale électro-négative [43].

Deux particules colloïdales se repoussent. Elles sont soumises à deux types de force de directions opposées :

- Force d'attraction gravitationnelle de VAN DER WAALS (FA) liée à la surface spécifique et à la masse des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu.
- Force de répulsion électrostatique (FR), liée aux charges superficielles des colloïdes et donc à leur potentiel zêta (pZ).

Si $FA > FR$, l'agrégation se produit.

Si $FR > FA$, il y a principalement la répulsion entre les particules colloïdales.

L'énergie totale d'interaction (E) entre les particules colloïdales est la somme de l'énergie répulsive (E_R) due au potentiel électrique et l'énergie attractive (E_A) (figure III.2).

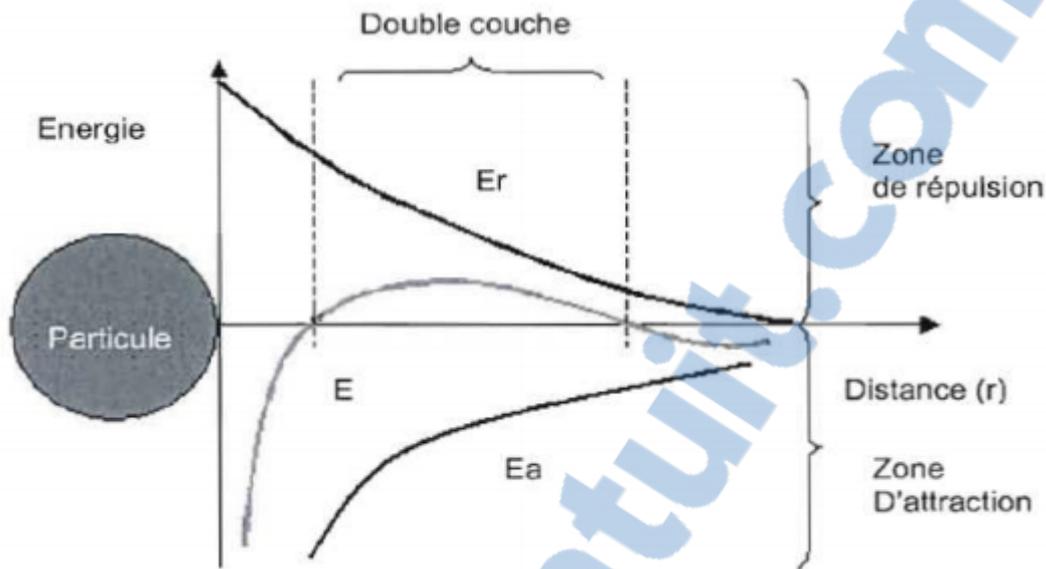


Figure III.2 : Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion électrostatique (E_r), la force d'attraction moléculaire (E_a) et la force résultante (E) [43]

III.3.4 Le potentiel Zêta

Le potentiel électrostatique diminue à mesure où l'on s'éloigne de la particule. Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Lorsqu'un champ électrique est appliqué, les particules ayant un potentiel Zêta négatif se déplacent en direction de l'électrode positive. Le potentiel Zêta est important car il définit le comportement électrocinétique des particules et par voie de conséquence leur stabilité dans la solution. L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations. [44]

On a le potentiel zêta (ξ): $\xi = \frac{4 \cdot q \cdot e \cdot \pi}{D}$

e : épaisseur de la couche diffuse.

q : charge de la particule par unité de surface.

D : constante diélectrique du milieu.

III.4. LA COAGULATION FLOCCULATION

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique qui participe à la potabilisation d'une eau impropre à la consommation [45].

La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre par addition d'un réactif chimique, le coagulant.

La floculation est l'agglomération de ces particules déchargées en micro-floc, puis en flocons volumineux et décantables. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif, le floculant [46].

III.4.2. Technologie de la coagulation- floculation

III.4.2.1. Stratégie

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 créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pales ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de floc sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différences de vitesse dans le bassin nécessaire à la rencontre des particules [47].

III.4.2.2. La mise en œuvre de la coagulation floculation

Pour obtenir une bonne coagulation floculation, il faut créer pendant une courte durée au moment de l'introduction des réactifs, un mélange énergétique rapide par des agitateurs afin d'homogénéiser ces réactifs dans l'eau brute. Ce mélange rapide sera suivi d'une agitation lente pendant 5 minutes ou plus pour favoriser l'agglomération des particules en suspension [48].

III.4.3. La coagulation

Représente l'ensemble des mécanismes de déstabilisation d'une dispersion colloïdale menant à l'agglomération de ces particules sous forme de micro-flocs + mécanismes de précipitation des substances dissoutes.

III.4.3.1 Principe

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération.

Cette agglomération est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactifs chimiques. Ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements ultérieurs (décantation et / ou filtration) [30].

III.4.4 Types de coagulation

III.4.4.1 Coagulation par neutralisation de charge

Lors de ce mécanisme, la charge négative des particules en suspension est neutralisée par l'addition d'un coagulant, les forces électrostatiques de répulsion sont annulées et supplantées par les forces de van der Waals. Le coagulant est un polymère de bas poids moléculaire et de haute densité de charge.

III.4.4.2. Coagulation par adhérence en mosaïque

Un polymère de masse moyenne est ajouté à une suspension de particules anioniques. Le polymère se fixe sur les particules et il se forme alors des sites cationiques à la surface des particules. La coagulation se fait par attractions entre les sites cationiques formés sur les particules et les sites anioniques des particules adjacentes

La différence essentielle entre la coagulation par neutralisation de charge et la coagulation par adhérence en mosaïque est que les charges négatives des particules n'ont pas besoin d'être totalement neutralisées. Les floes formés sont néanmoins facilement détruits lorsqu'ils sont soumis à un fort degré de cisaillement [49]

III.4.5 Coagulants utilisés

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Coagulants utilisés

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

Les produits les plus utilisés sont l'alun et le chlorure ferrique. Ces coagulants, unefois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de lacoagulation [42].

A. Les sels d'aluminium

Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée trèsfaible en turbidité. La vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre passe par le Jar-Test. Parmi les sels d'aluminium les plus utilisés en coagulation, on peut citer le sulfated'aluminium [50].

A.1. Le sulfate d'aluminium

L'aluminium est utilisé depuis de très nombreuses annéesdans le traitement de l'eau potable. Sous forme d'alun (sulfate d'aluminium), il est l'agentcoagulant le plus utilisé dans une chaîne de traitement classique. Son addition à l'eau en coursde traitement facilite l'enlèvement de la matière organique, permettant ainsi de réduire laturbidité et faciliter la désinfection de l'eau. De plus, il favorise la réduction de la couleur et ladiminution des concentrations de précurseurs de trihalométhanes. La très grande partie del'alun ajouté est cependant enlevé par les procédés de décantation et de filtration qui suiventson addition [51].

Il est disponible en poudre ou hydratée [52] .C'est un sel, hydraté, commercialisé sousla 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. En effet, l'ionaluminium réagit sur l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la formed'un flocc volumineux [50].

B. Les sels de fer

Les sels de fer sont généralement moins coûteux que le sulfate d'aluminium, mais serévlent peu efficaces comme coagulants quant à l'abattement des substances humiques.

III.4.5. Les modes de déstabilisation des particules colloïdales

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 allons que les forces d'attraction de van der Waals ne sont pas affectées. La force ionique est représentée par l'équation suivante :

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

μ = force ionique

C_n = concentration de l'ion n

Z_n = valence de l'ion n

Les concentrations nécessaires des ions Na^+ , Ca^{2+} et Al^{3+} varient approximativement dans des rapports de 1 : 10^{2-} : 10^{3-} respectivement à cause de leur valence différente [44]

A. 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 [44]

B. Emprisonnement des particules dans un précipité

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme l'Al, (SO₄), ou le Fe Cl, sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive. Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précité formé, appelé floc, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation

C. Adsorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non anioniques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde l'adsorbe à une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels. Les autres extrémités demeurent libres et peuvent adsorber un autre colloïde. Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par "pontage" des polymères [44]. Par contre, une concentration de polymères trop élevée peut restabiliser les colloïdes. Les polymères verront alors chacune de leurs extrémités être adsorbées par la même particule, d'où une restabilisation.

III.4.6. Paramètres affectant la coagulation

Le processus de coagulation est complexe et peut être influencé par plusieurs facteurs. Dans cette section, nous discutons brièvement des effets de la température, du pH et de l'alcalinité. Dans un souci de concision, seuls ces paramètres sont abordés dans le cadre de notre projet de recherche. Toutefois, il convient de préciser que d'autres paramètres tels que la dose du coagulant, la concentration des particules colloïdales, la couleur. La présence d'anions et cations, l'intensité du mélange et le potentiel Zêta sont importants.

III.4.6.1 Effets de la température

Nous savons qu'une baisse de la température ralentit la cinétique des réactions chimiques. L'équation d'Arrhénius décrit bien l'effet de la température sur les constantes cinétiques (Becker et Wentworth, 1972). Une baisse de température se traduit par une réduction de la constante de vitesse k :

$$k = e^{-Ea,RT}$$

Ea = énergie d'activation

R = constante des gaz

T = température

Les premières études sur la coagulation-floculation en eau froide remontent à près de cinquante ans. En effet, Camp et al. (1940) expliquent le problème en eau froide de deux façons :

- 1) la solubilité des coagulants est plus faible;
- 2) l'augmentation de la viscosité de l'eau freine la décantation des floes.

III.4.6.2 Effets du pH

Le pH est un des paramètres qui affecte le plus la coagulation-floculation. Son contrôle est donc suggéré. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant la meilleure coagulation [53]. Ce pH se situe souvent dans la plage où la solubilité du coagulant utilisé est minimale, ce qui permet une meilleure précipitation. Le contrôle du pH permet aussi d'améliorer la coagulation lorsque la température de l'eau est faible.

III.4.6.3 Effets de l'alcalinité

L'alcalinité naturelle de l'eau réagit avec l'alun pour former le précipité d'hydroxyde d'aluminium. Il faut donc un minimum d'alcalinité pour que l'alun agisse correctement.

Ce minimum permet aussi de stabiliser le pH dans la plage optimale au cours de la coagulation [53]. Dans les eaux de faibles alcalinités, des coagulants préhydrolysés peuvent s'avérer avantageux car ils en consomment moins.

III.4.6.4 L'influence des sels dissous

Les sels dissous contenus dans l'eau peuvent influencer sur le processus de coagulation par un changement de plage de pH optimale accompagné d'une modification de la qualité de coagulant requise et par conséquent de taux résiduelle de ce coagulant [54].

III.4.6.5 L'influence de coagulant utilisé

Le choix du coagulant peut jouer un rôle essentiel pour la déstabilisation des particules en suspension. On ne peut jamais choisir un coagulant et déterminer sa concentration pour une eau donnée qu'après les essais de floculations au niveau de laboratoire. Les coagulants qui ont des ions de valence élevée, sont plus efficaces que celles caractérisés par des ions de faible valence ce qui est en accord avec la théorie de SCHLZARDY, un ion trivalent est dix fois plus efficace qu'un ion divalent[54].

III.4.6.6 L'influence de l'agitation

Lors de l'introduction des produits chimiques dans l'eau (coagulants et floculants) et pour augmenter le rendement et l'efficacité de la déstabilisation des particules en suspension, on procède à une agitation qui peut être faite en deux étapes. 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 floccs décantables[55].

III.4.6.7 L'influence de la turbidité

La turbidité d'une eau est principalement due à la présence de particule de diamètre de 0,2 à 5 μm et qui sont facilement décantables après coagulation floculation lorsqu'on maintient le pH dans sa plage optimale.

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 [54].

III.4.6.8 L'influence de la couleur

La couleur d'une eau est principalement due à la présence des particules organiques et hydrophiles de diamètre supérieur à 3,5 nm et qui ont des charges négatives. Ces particules sont donc des particules colloïdales beaucoup plus petites que les particules responsables de la turbidité. La quantité de coagulant requise pour déstabiliser ces particules est proportionnée à celle de la couleur initiale de l'eau lorsque le pH est situé à sa plage optimale 4 à 6 [54].

III.4.7 La floculation

La floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en microfloc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs. On peut rajouter un autre réactif appelé floculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de floccs

Les paramètres influençant la floculation sont entre autres les caractéristiques de la matière première (longueur des fibres, flexibilité des fibres, propriétés de surface, etc.), les propriétés physiques et chimiques de la suspension et le degré de turbulence créé dans le système. Influence de la floculation sur la rétention.

III.7.1. Types

III.7.1.1. Floculation physique

Elle consiste à augmenter par la création d'une différence de vitesse entre les particules colloïdale déstabilisées, la probabilité des contacts entre ces particules afin de les agglomérer en floes denses ensuite de les décanter. Cette différence de vitesse peut être imputable :

- Au mouvement brownien des particules (floculation des particules péricinétique)
- Au déplacement d'une partie de fluide (floculation orthocinétique).

III.7.1.2 Floculation péricinétique

Durant ce type de floculation, le mouvement brownien des particules est fonction de la température de l'eau. Lorsqu'elles entrent en contact, les particules ont tendance à s'agglutiner les unes aux autres. Le nombre total de particules varie donc selon l'équation suivante :

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

Où N = nombre de particules par

Γ = facteur tenant en compte l'efficacité des collisions

k = constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

θ = température (K)

η = viscosité dynamique de l'eau ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

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. Au-delà de cette taille, d'autres mécanismes doivent être utilisés afin d'assurer un taux d'agrégation des particules raisonnable.

III.7.1.3 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 [56] :

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

Où

P = puissance réellement dissipée (W)

V = volume du bassin (m³)

μ = viscosité dynamique de l'eau (kg/m*s)

III.7.1.3 La floculation chimique

Elle consiste à une agglomération par pontage des particules colloïdales déchargées à l'aide de certains produits chimiques appelés floculants. L'action de ces produits peut manifester au niveau de la vitesse de réaction (floculation très rapide) ou au niveau de la qualité du floc (floc plus lourds, plus volumineux et plus cohérent).

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 boues [57].

III.7.2 Flocculant et processus de floculation

Pour une meilleure efficacité du procédé de CF, on utilise des flocculants [52].

On appelle flocculant, des produits utilisés en quantités plus faibles que les réactifs coagulants [50] permettant d'agglomérer les MES afin d'obtenir une taille plus grande et par conséquent des vitesses de séparation solide liquide plus élevée [58]. Le but étant de former un précipité ou floc qui soit visible et insoluble [50].

Aucune règle ne permet de prévoir le flocculant qui donnera le meilleur résultat. Il est toujours nécessaire de faire l'essai au laboratoire [59].

III.7.3. Les flocculants utilisés

Les flocculants, appelés aussi adjuvants soit de coagulation soit de floculation soit encore de filtration, peuvent être trois natures différentes :

- Les flocculants minéraux
- Les flocculants organiques

Les flocculants de synthèse [60]

III.7.3.1. Les flocculants minéraux

Ils sont des produits chimiques agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculants 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) [60]

III.7.3.2. Flocculants organiques

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent avoir une charge anionique, cationique ou neutre.

On peut citer comme exemple l'amidon, les alginate ou les polysaccharides [61].

III.7.3.3. Les flocculants synthèses

Ils sont des produits fabriqués à partir de monomère 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 polyacrylamide
- Cationique : conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle [61]

III.8. La décantation

La décantation est un procédé physique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation [62]. Cette technique est très répandue dans les usines d'épuration et de traitement des eaux.

III.8.1 Principe

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des matières en suspension (MES) et colloïdales (rassemblées sous forme de floes après l'étape de coagulation/floculation) il s'agit d'un procédé de séparation liquide/ solide basé sur la pesanteur. Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée [23].

Les forces du frottement exercé sur la particule par le fluide, du fait de sa viscosité (ces frottements croissent avec le carré de la vitesse relative particule-fluide) lorsque les forces de frottement visqueux équilibrent la résultante du poids et de la poussée d'Archimède, la particule se déplace alors à une vitesse Constante appelée vitesse de sédimentation.

Les facteurs clés de la sédimentation sont : la différence de masse volumique entre le solide et le liquide, la taille des particules et la viscosité du fluide. Pour des particules de quelquesmicrons, la vitesse de sédimentation (décantation) devient trop faible. A noter qu'au cours du temps, les apparies de clarifications sont devenus de plus en plus performants.

III.8.2. Types de décantation

III.8.2.1 Décantation des particules discrètes

Ce type de décantation est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physique initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. La vitesse de chute est indépendante de la concentration en solides. On retrouve ce type de décantation dans les dessableurs [54]

III.8.2.2 Décantation diffuse des particules floculées

Les particules peuvent s'agglutiner (coalescence), elles floculent et décantent avec une vitesse croissante ; dans un bassin à flux hydraulique horizontal la trajectoire de décantation est curviligne. L'efficacité de la décantation diffuse est liée non seulement à la charge superficielle, mais aussi au temps de décantation. Il n'existe pas de formule mathématique permettant le calcul de la vitesse de décantation.

III.8.2.3 Décantation freinée

La décantation freinée est caractéristique des boues activées et des suspensions chimiques floculées quand leur concentration est supérieure à 500mg/L. Les particules adhèrent entre elles et la masse décante en piston formant une interface entre les floes et le liquide surnageant.

III.8.2.4. La décantation en compression des boues

Dans ce type, les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent.

On retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boues par gravité [54]

III.8.3. Les types de décanteur

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les boues. Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage [63].

Il existe deux types de décanteurs :

III.8.3.1. Décanteur simple

Le décanteur le plus simple est constitué d'une cuve parallélépipédique munie d'une zone d'entrée et de deux zones de sortie (une pour la surverse et l'autre pour les boues).

Les décanteurs classiques sont caractérisés par la surface de décantation égale à la surface de base [46].

III.8.3.2. Décanteur lamellaire

Le décanteur lamellaire présente des plaques disposées parallèlement afin d'augmenter la surface de décantation. Les lamelles sont disposées de manière oblique de sorte à permettre le glissement des matières sédimentées vers le fond du décanteur [7].

III.8.3.3. Décanteurs à tube

On trouve deux types de décanteurs à tubes : ceux dont les tubes sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale (7°) et ceux dans les tubes sont fortement inclinés par rapport à l'horizontale (60°) [7].

b. Décanteurs à lamelles

L'amélioration de la décantation passe par une évacuation du dépôt de boues plus rapidement. Pour cela il suffit que la surface sur laquelle le floc se dépose soit inclinée pour que ce dernier puisse glisser vers le bas au fur et à mesure [7].

L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable [63].

Trois types de décantation lamellaire sont possibles [15]:

➤ **A contre-courant**

L'eau et la boue circulent en sens inverse

➤ **A co-courant**

L'eau et la boue circulent dans le même sens

➤ **A courant croisés**

L'eau et la boue circulent perpendiculairement l'un par rapport à l'autre (l'eau horizontalement et la boue du haut vers le bas) [15]

III.8.4. Problèmes liés à la décantation

- Présence de sable : un dessablage prévu pourra faire éviter l'envasement,
- Variation brutale de la température : elle provoque des dépôts de boues si l'eau n'est pas parfaitement répartie dans le décanteur,
- Abondance d'algues : les bulles gazeuses qu'elles mettent provoquent des remontées des boues [64].

III.8.5. La mise en œuvre de la clarification par coagulation-floculation et décantation

Selon la turbidité de l'eau brute, sa couleur, sa teneur en MES ou colloïdales et en matières organiques, la clarification des eaux peut être effectuée soit par :

- La clarification totale,
- La clarification partielle [65].

III.8.5.1. La clarification totale

Elle est attribuée aux eaux fortement turbides, de couleur très importante et de teneur en matières en suspension élevée. Elle peut être effectuée par une coagulation totale suivie d'une floculation, décantation et enfin filtration [65].

III.8.5.2. La clarification partielle

Lorsque l'eau est peu chargée en permanence avec une faible teneur en matières organiques, il est possible d'utiliser pour la traiter, la clarification partielle. Elle peut être effectuée par une coagulation partielle suivie d'une floculation puis directement d'une filtration. La floculation dans ce cas a pour but non pas d'activer la sédimentation mais d'empêcher la pénétration des floes dans le lit filtrant [65].

III.8.6. Avantages et inconvénients de la décantation

Tableau III.2 : Avantages et inconvénients de la décantation.

| | Avantages | Inconvénients |
|---------------------------|---|--|
| Humains/Techniques | -Pas de qualification nécessaire, simplicité de mise en œuvre | -Nécessite une grande Surface |
| Economiques | -coût de fonctionnement minime | -Investissement élevé |
| Biologiques | | -Efficacité limitée -Dépôt d'un biofilm sur les bords du bassin |

III.9. Conclusion

Les méthodes de coagulation et de floculation sont généralement utilisées pour séparer les matières en suspensions ainsi que les matières colloïdales de l'eau. Cette méthode implique des procédés séquentiels physico-chimiques. Dans les procédés de coagulation, en utilisant des coagulants cationiques, les colloïdes chargés négativement dans l'eau sont déstabilisés par neutralisation des forces qui les relient.

On cherche à obtenir au final l'eau la plus limpide et les floccs les plus gros et les mieux décantés.

Pour déterminer cela nous devrions faire plusieurs essais qui pourraient nous conduire aux résultats les plus fiables. Ainsi nous allons essayer de détailler les résultats obtenus à partir de ces expériences dans la seconde partie de notre travail.

CHAPITRE IV :
DESCRIPTION DES
BANCS D'ESSAI, MODE
OPERATOIRE ET LES
REACTIFS UTILISES

IV.1. Description des bancs d'essai

IV.1.1. Description du pilote TE600

A. Constitution

L'appareil se compose essentiellement en un décanteur statique, montée sur un châssis, ainsi que ses organes stockage de contrôle et de mesure.

1 : Cuve d'alimentation de la suspension, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 300 litre, avec une vanne de vidange et une vanne d'alimentation de type à boisseau sphérique.

2 : Canalisation d'alimentation de la suspension en PVC avec une vanne de réglage à pointeau en laiton chromé.

3 : Cuve d'alimentation du coagulant, capacité utile 30 litres, avec une vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC.

4 : Cuve d'alimentation du floculant, capacité utile 1 litre, avec une vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC.

5 : Réacteur de mélange de la suspension et des réactifs chimiques, de type cylindro-conique en verre borosilicaté, capacité utile 20 litres, avec une vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC.

6 : Agitateur du réacteur.

7 : Surverse de prélèvement de la suspension sortant de réacteur en PVC, réglable en hauteur.

8 : Décanteur statique de section rectangulaire avec cône de récupération des boues décantées en altuglas :

- Vanne d'alimentation de type trois voies en « L » à boisseau sphérique en PVC ;
- Chicane de passage du liquide clarifié ;
- Evacuation du liquide clarifié supérieur ;
- Chicane amovible d'évacuation du liquide clarifié pour fonctionnement à contre-courant ;
- Chicane amovible d'évacuation du liquide clarifié pour fonctionnement à Co-courant ;
- Vanne de vidange des boues du décanteur de type à boisseau sphérique en PVC.

9 : Lamelles de décantation, amovibles, pour fonctionnement à contre-courant et co-courant, en altuglas, à démontage et inversion rapides inclinaison des lamelles 30°) ;

10 : Canalisation de recyclage éventuel des boues du décanteur vers le réacteur avec une

vanne d'arrêts de type à boisseau sphérique en PVC en une vanne de réglage à pointeau en laiton chromé.

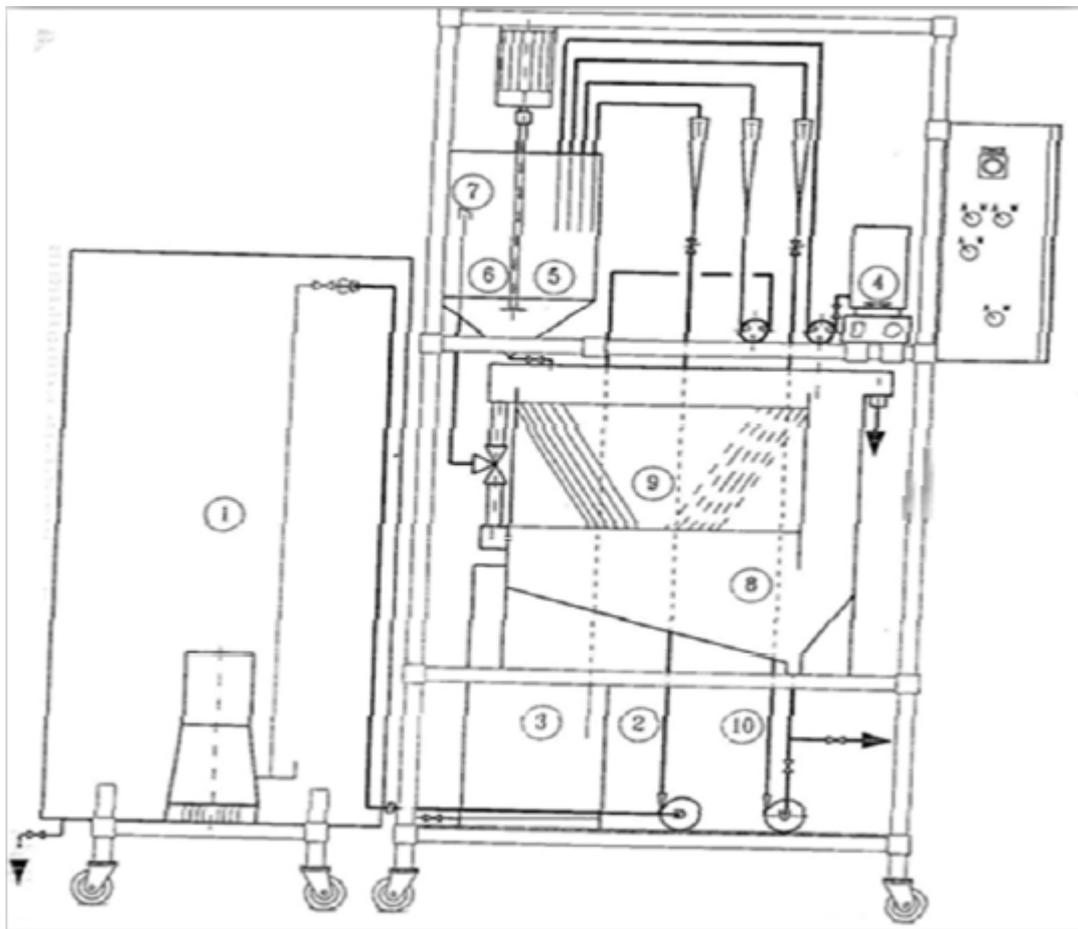


Figure IV.1 Constitution du Pilote TE600

B. Opération

Le pilote de coagulation floculation et décantation permet d'étudier deux type de traitements : la coagulation-floculation et la décantation. On peut facilement étudier les deux séparément ou bien simultanément.

Le produit est préparé dans le bac d'alimentation (1) sous l'agitation permanente grâce à une pompe centrifuge immergée, puis alimenté à travers un débitmètre et une vanne de réglage (2) dans le réacteur (5) par une pompe centrifuge.

Le coagulant est stocké dans un bac spécifique (3) puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une seconde pompe péristaltique.

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente (6) par un agitateur à hélice à vitesse variable. Le produit de la réaction est soutiré par surverse (7) puis alimenté dans le décanteur

statique (8) muni de lamelles orientables (9).

Une partie des produits décantés peuvent être recyclés par l'intermédiaire d'un circuit (10) avec une pompe centrifuge, une vanne de réglage et débitmètre.

C. Liste des vannes

- VA1: Vanne manuelle bac d'alimentation.
- VA2 : Vanne manuelle recyclage de boues.
- VS1 : Vanne manuelle sortie bac d'alimentation.
- VS2 : Vanne manuelle sortie boues.
- VS3 : Vanne manuelle sortie réacteur.
- VS4 : Vanne manuelle sortie bac coagulant.
- VS5 : Vanne manuelle sortie bac floculant.
- VR1 : Vanne manuelle de réglage d'alimentation.
- VR2 : Vanne manuelle de réglage recyclage boues
- VL1 : Vanne trois alimentations décanteur.

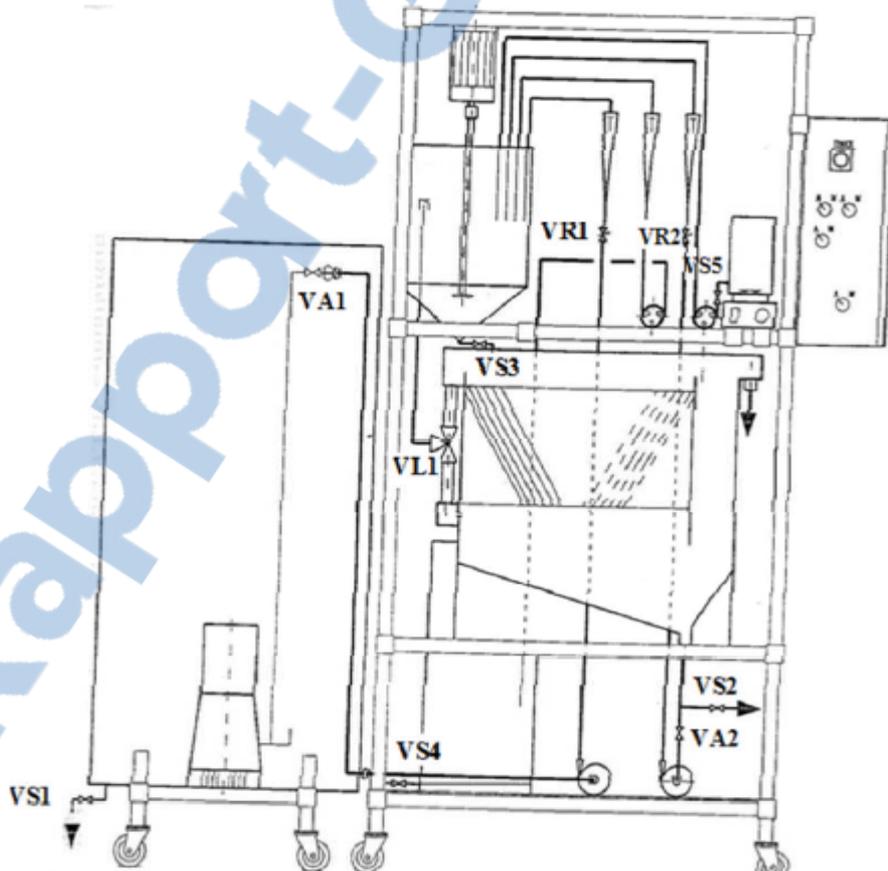


Figure IV.2 Les vannes composant le pilote

IV.1.2. Description du Jar-Test

Le Jar-test que nous avons utilisé, de marque flocculateur 11197, comporte 4 agitateurs dont la vitesse de rotation peut varier entre 0 et 200tr/min. Les pales sont de type à hélices et le volume des béchers est de 1 litre.

Remarque : Nous avons commencé notre travail au laboratoire du département d'Hydraulique de l'Université de Tlemcen avec le Jar-Test de marque flocculateur 11197 mais à cause des problèmes liés au turbidimètre qui donne des valeurs anormales (pour l'eau claire il donne des valeurs trop excessives) nous l'avons continué avec le Jar-Test de marque ISCO IDH3A000 se trouvant au laboratoire de Sekkak.

Le Jar-Test que nous avons utilisé, de marque ISCO IDH3A000, est composé de 6 agitateurs et leur vitesse de rotation peut varier de 0 à 300 tr/min. Les pales sont de type à hélices (photo IV.1) et le volume des béchers est de 1 litre.

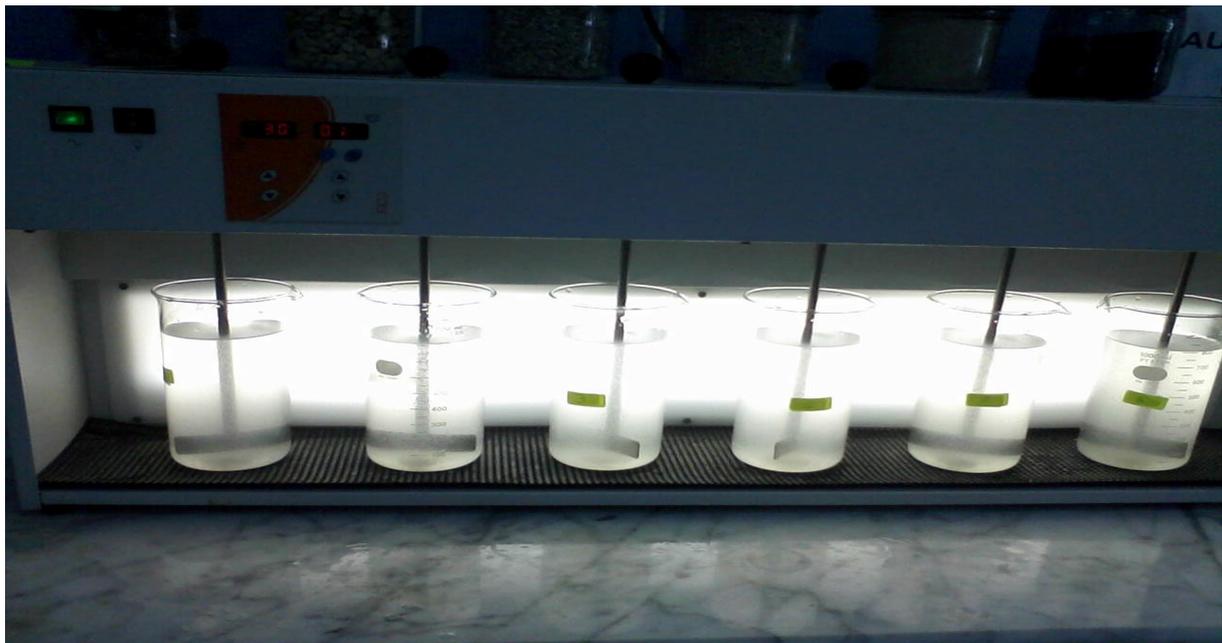


Photo IV.1 : Jar Test (ISCO IDH3A000) (station de Sekkak)

IV.2. Matériels utilisés

IV.2.1 Appareillage de mesure

Pour l'analyse des différents paramètres nous avons utilisé le turbidimètre pour la mesure de la turbidité, le conductimètre pour celle de la conductivité, le thermomètre pour celle de la température et le pH mètre pour celle du pH.

IV.2.1.1 Détermination de la turbidité

A. Principe

La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre.

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence des particules en suspensions dans l'eau (débris organiques, argile, organismes microscopique...). 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 [4].

B. Mode opératoire

Remplir la cellule avec l'échantillon jusqu'au trait de jauge d'une façon à éviter la formation des bulles d'air. On ferme la cellule. On place la cellule dans le turbidimètre, et on lit la valeur affichée sur l'écran.



Photo IV.2 : Turbidimètre (station de Sekkak)

IV.2.1.2 Détermination de la conductivité

A. Principe

Le passage du courant électrique est en fonction directe de la concentration ionique de la solution, sa détermination donne la quantité des sels dissouts.

Etablir les connexions électriques nécessaires du conductimètre, on lave l'électrode avec de l'eau distillée puis on plonge l'électrode dans un bécher contenant l'eau à analyser ensuite on lit la valeur indiquée sur l'écran de l'appareil.

Avant chaque mesure, l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que ces mesures soient justes.



Photo IV.3 : Conductimètre (station de Sekkak)

IV.2.1.3 Détermination de la température et du pH

A. Mode opératoire

L'appareil est composé de deux électrodes l'un pour la mesure de la température et l'autre pour la mesure du pH. Ainsi pour leur mesure il faut établir les connexions électriques nécessaires de l'appareil puis on lave avec de l'eau distillée les deux électrodes ensuite on plonge ces deux électrodes dans un bécher contenant l'eau à analyser au même point et on lit la valeur concernant le pH et celle concernant la température qui s'affiche sur l'appareil.



Photo IV.4 : Thermomètre et pH-mètre de la station de Sekkak

Verreries

- Entonnoir
- Bêchers
- Pipettes
- Burette
- Erlenmeyer
- Fiole jaugée
- Eprouvette



Photo IV.5 : Bêchers de 100 et 1000 ml



Photo IV.6 : Pipettes



Photo IV.7 : Burette et Erlenmeyer



Photo IV.8 : Fioles jaugée.

IV.2 MODE D'OPERATION EXPERIMENTALE

IV.2.1. Etude expérimentale de la coagulation floculation décantation

IV.2.1.1 Les objectifs du travail

Les différents buts convenants ce travail sont :

- L'étude de l'influence de la concentration du coagulant et floculant sur le rendement de l'élimination de la matière en suspension ;
- L'étude de l'influence de la turbidité de l'eau faiblement saumâtre sur la coagulation floculation ;
- L'étude de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation sur la coagulation floculation

- L'étude de l'influence de la décantation classique par rapport à celle lamellaire Co-courant et Contre-courant.

Pour atteindre ces objectifs il nous a fallu suivre les étapes suivantes :

- Pour la phase de coagulation floculation :

-Trouver la dose optimale du coagulant puis la dose optimale du floculant en fonction de la nature de l'eau à traiter ;

-Optimiser la vitesse et le temps d'agitation.

- Pour la phase de décantation :

Il s'agit d'étudier l'efficacité du décanteur classique par rapport à celle lamellaire Co-courant et Contre-courant.

IV.2.1.2 La manipulation

Les expériences ont été réalisées au laboratoire de traitement et d'épuration d'hydraulique des eaux du département d'Hydraulique de l'Université de Tlemcen et au laboratoire de traitement des eaux de Sekkak.

Avant d'entamer les essais de coagulation floculation sur un exemple d'eau de salinité faible et turbide (solution préparées par l'eau de robinet plus du sel et de la bentonite), nous avons effectué une analyse physico-chimique concernant certaines paramètres à savoir la turbidité, la conductivité, la température et la potentiel d'hydrogène (pH).

Afin de choisir les meilleures doses de coagulant et de floculant, nous avons fait l'étude de l'influence de la vitesse et le temps d'agitation sur la coagulation floculation en utilisant le jar-test et l'étude de la décantation sur le pilote TE600.

IV.2.1.3 Mode opératoire d'essai sur le Jar-test

Pour savoir les doses optimales du coagulant et du floculant ainsi que la vitesse d'agitation d'une eau donnée il nous faut faire recours à l'expérience des essais au laboratoire dite Jar-Test.

A. Mode opératoire de l'influence de la concentration de coagulant

Les étapes qu'on doit suivre durant l'étude de l'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation floculation de l'eau faiblement salée (1g/L, 3g/L et 5g/L de sel) et turbide (0.5g/L, 1g/L, 1.5g/L et 2g/L de bentonite) pour chaque concentration de sel avec les différentes concentrations de bentonite, sont les suivantes :

- Bien laver les béchers
- Peser les concentrations de sel
- Peser les concentrations de bentonite
- Mesurer un volume précis d'eau à traiter pour chaque bécher selon capacité des bécher utilisés
- Mettre les masses de sel et de bentonite pesées dans chaque bécher pour obtenir des solutions qui porte la même valeur de salinité et de turbidité
- Placer les béchers dans le Jar-Test agité à une vitesse de 250 tr/mn pendant 1min pour bien permettre le mélange afin d'avoir une solution homogène
- Mesurer les principaux paramètres
- Mettre en route les agitateurs à une vitesse rapide de 200tr/min
- Ajouter des doses croissantes de coagulant, la sulfate d'alumine, le plus rapidement possible et de façon identique dans chaque bécher à l'aide d'une burette et placer les béchers dans le Jar-Test et laisser l'agitation rapide pendant 2 min
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min et laisser l'agitation lente pendant 15 min puis la décantation pendant 10 min
- Ensuite prélever 50ml du surnageant à l'aide d'une pipette placée à une profondeur constante dans chaque bécher
- Mesurer pour chaque échantillon : la turbidité, la conductivité, la température et le pH de l'eau claire
- Enregistrer et comparer les résultats obtenus

B. Mode opératoire de l'influence de la concentration du floculant

Après avoir mesuré les paramètres pour trouver la dose optimale de coagulant pour différentes concentrations de sel et selon leur turbidité, il nous faut aussi la dose optimale de floculant suivant ces derniers.

Les étapes à suivre lors de l'étude de l'influence de concentration de polyamide sur la coagulation-floculation d'une eau de salinité faible et turbide sont les suivantes :

- Remplir les bécchers par les mêmes solutions dans l'étude de l'influence de concentration de coagulant,
- Placer les bécchers dans le Jar-Test agité à une vitesse de 250 tr/min pendant 1 min pour bien permettre le mélange
- Mettre en route les agitateurs avec une vitesse rapide égale à 200 tr/min
- Ajouter la dose optimale de coagulant dans chaque béccher et laisser l'agitation rapide pendant 2 min
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min
- Ajouter les doses croissantes de floculant
- Laisser l'agitation lente pendant 15 min puis la décantation pendant 10 min
- Prélever à partir de chaque béccher 50 ml d'eau décanté, mesurer les paramètres suivants la turbidité, la conductivité, la température et le pH
- Enregistrer et comparer les résultats

IV.2.2.2 Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation

A. Durant la coagulation

- Bien laver les bécchers
- Peser les concentrations de sel
- Peser les concentrations de bentonite
- Mesurer un volume précis d'eau à traiter pour chaque béccher selon capacité des béccher utilisés
- Mettre les masses de sel et de bentonite pesées dans chaque béccher pour obtenir des solutions qui porte la même valeur de salinité et de turbidité
- Placer les bécchers dans le Jar-Test agité à une vitesse de 250 tr/mn pendant 1min pour bien permettre le mélange afin d'avoir une solution homogène
- Ajouter la dose optimale du coagulant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du coagulant
- On varie à chaque fois la vitesse d'agitation rapide (120 ; 150 ; 200) tr/min
- Augmenter le temps d'agitation d'une façon croissante (2 min ; 3 min ; 5 min)

- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min (la vitesse durant la floculation est maintenue constante)
- Ajouter les doses optimales de floculant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du floculant
- Laisser l'agitation lente pendant 15 min puis la décantation pendant 10 min (la durée d'agitation durant la floculation est maintenue constantes)
- Prélever à partir de chaque béccher 50 ml d'eau décantée, mesurer les paramètres suivants : la turbidité, la conductivité, la température et le pH

Une fois que les conditions optimales de la phase rapide sont fixées, on a effectué les mêmes opérations avec la phase lente pour optimiser la durée et la vitesse.

B. Durant la floculation

Arès avoir mesuré ces paramètres pour la phase de coagulation on peut déterminer la vitesse et le temps d'agitation optimale de la phase de floculation.

- Remplir les bécchers par les mêmes solutions dans l'étude de l'influence de la vitesse et la durée d'agitation durant la coagulation
- Placer les bécchers dans le Jar-Test agité à une vitesse de 250 tr/mn pendant 1min pour bien permettre le mélange afin d'avoir une solution homogène
- Ajouter la dose optimale du coagulant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du coagulant avec une vitesse et un temps qui sont maintenus fixes
- Fixer l'agitateur mécanique à une vitesse correspondante 30, 45 et 60 tr/min
- Ajouter les doses optimales de floculant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du floculant
- Varier le temps d'agitation lente (15 mn, 30mn, 40mn et 50mn)
- Prélever à partir de chaque béccher 50 ml d'eau après une décantation de 10 min
- mesurer les paramètres suivants : la turbidité, la conductivité, la température et le pH

IV.2.2.3 Mode opératoire de la coagulation floculation et décantation sur le pilote

L'eau à traiter est maintenue dans le bac d'alimentation de la suspension sous agitation permanente grâce à une pompe centrifuge immergée, puis alimenté à travers un débitmètre et une vanne de réglage VR1 dans le réactif par une pompe centrifuge.

La solution du sulfate d'alumine est stockée dans un bac spécifique de 30 litres de capacité, puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique.

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente grâce à un agitateur à hélice à vitesse variable.

Le produit de réaction est soutiré par surverse, puis alimenté le décanteur qu'on veut faire soit classique, soit lamellaire Co-courant ou Contre-courant.

A. La coagulation floculation et décantation lamellaire co-courant

Le mode opératoire de la coagulation floculation et décantation co-courant oblige à suivre les étapes suivantes :

- Préparer une solution de floculant de concentration 0.006g/L chaque une heure pour un débit d'alimentation de 40L/h et celle de 0.012g/L chaque une heure pour celui de 80L/h dans le bac d'alimentation du floculant
- Préparer une solution de sulfate d'alumine de concentration 0.25g/L de concentration dans le bac d'alimentation du coagulant
- Régler le débit d'alimentation pour 40L/h et ensuite pour 80L/h
- Régler le débit d'alimentation du floculant à un débit fixé de 2L/h et 4L/h pour un débit d'alimentation de 40L/h et ensuite 80L/h respectivement
- Régler le débit d'alimentation du coagulant à 4L/h pour un débit d'alimentation de 40L/h et ensuite 8L/h pour celui de 80L/h
- Positionner les lamelles de telle manière que leur tige support supérieur soit introduite dans les rainures inférieures latérales des décanteurs vers la droite
- Positionner la vanne de distribution de décanteur VL1 de manière à alimenter celui-ci du haut vers le bas
- Positionner la plaque verticale de fermeture de circuit hydraulique dans le décanteur de manière à éviter le passage direct d'eau brute coagulée vers la surverse d'eau clarifiée
- Lorsque le bassin de décantation est plein nous prenons l'eau clarifiée et mesurons les paramètres suivants : la turbidité le pH, la température et la salinité.

B. La coagulation floculation et décantation lamellaire contre-courant

Le mode opératoire de la coagulation floculation et décantation contre-courant se déroule comme celui co-courant sauf que la partie reliée au bassin de décantation se traduit comme suit :

- Positionner les lamelles de telle sorte que leur tige support supérieure soit introduite dans les rainures du décanteur vers la droite du décanteur et leur base inférieure reposant sur les supports inférieurs latéraux du décanteur vers la gauche
- Positionner la vanne de distribution du décanteur VL1 de manière à alimenter celui-ci du bas vers le haut
- Positionner la plaque horizontale de fermeture du circuit hydraulique dans le décanteur de manière à éviter le passage direct d'eau coagulée vers la surverse d'eau clarifiée sans passer par les lamelles
- Lorsque le bassin de décantation est plein nous prenons l'eau clarifiée et mesurons les paramètres suivants : la turbidité le pH, la température et la salinité

C. La coagulation floculation et décantation classique

Le mode opératoire de la coagulation floculation et décantation classique est le même que celui lamellaire sauf que là on assiste à l'enlèvement total des lamelles.

Lorsque le bassin de décantation est plein nous prenons l'eau clarifiée et mesurons les paramètres suivants : la turbidité le pH, la température et la salinité

IV.3. Les réactifs utilisés

IV.3.1 le réactif coagulant

Au cours de nos expériences, nous avons utilisé comme réactif coagulant le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$), préparé par dissolution dans l'eau qui est un produit fabriqué par :

KEMIRA (compagnie espagnole livré en sac de 25 Kg) dont la fiche technique est la suivante :

| | |
|---|--|
| <i>Al₂(SO₄)</i> | 17% |
| <i>Al₂O₃ %</i> | 9.0+2.0 |
| <i>Al₂O₃ libre</i> | 0.3+0.2 |
| <i>Densité apparente (25°C, g/cm³)</i> | 0.9+0.2 |
| <i>pH solution</i> | 3.5+0.5 |
| <i>Formule chimique</i> | <i>Al₂(SO₄)₃.18H₂O</i> |
| <i>Concentration</i> | 666g/L |

IV.3.2 Le réactif floculant

Le réactif floculant que nous avons utilisé dans notre travail un floculant sous forme d'un polymère anionique que la station du barrage «SEKKAK» l'utilise comme un aide coagulant.

IV.3.3 La bentonite

L'argile est un excellent adsorbant, dont les propriétés de rétention sont bien connues en agriculture. Elle fixe à la surface de ses microcristaux.

Les roches argileuses sont formées de mélange de minéraux argileux auxquels viennent s'ajouter des minéraux tels que les feldspaths, du quartz, du mica,... Du point de vue chimique, les argiles sont des silicates d'aluminium contenant entre autres des cations alcalins, alcalino-terreux et du fer.

Dans le domaine des eaux potables, la bentonite est utilisée essentiellement comme adjuvant de floculation dans le but de recharger artificiellement une eau contenant trop peu de matières en suspension, ceci afin d'obtenir une meilleure décantation.

Dans notre cas, l'utilisation de la bentonite de charge industrielle a pour but de créer la turbidité d'une eau [43].

IV.4 PREPARATION DES SOLUTIONS

IV.4.1 PREPARATION DE LA SOLUTION DE COAGULANT

Nous allons travailler avec une concentration de sel de 5g/l pour différentes concentrations de bentonite à savoir 0.5g/L et 1g/L de B.C.I.

Tableau IV.1 : Doses optimales de coagulant et flocculant pour une concentration de 5g/l sel et 0.5g/l et 1g/l de B.C.I.

| Concentration de B.C.I (g/L) | Dose optimale de coagulant (mg/L) | Dose optimale de flocculant (mg/L) |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 0.5 | 25 | 0.15 |
| 1 | 45 | 0.26 |

A. Calcul de la concentration de coagulant

On a la relation suivante :

$$QET * C_{opti} = QR.C * C_{coag}$$

Avec :

QET : le débit d'eau à traiter (débit d'alimentation)= 80L/h

C_{opti} : la concentration optimale du coagulant= 0,045 g/L

QR.C : le débit de la pompe du coagulant=8 l/h

C.coag : la concentration du coagulant se calcule de la manière suivante :

$$C_{coag} = (QET * C_{opti}) / QR.C$$

$$C_{coag} = (80 * 0,045) / 8 = 0.45 \text{ Donc } C_{coag} = 0.45 \text{ g/L}$$

B. Calcul de la masse du coagulant

La masse M_c (g) du sulfate d'alumine nécessaire à verser dans le réacteur pour un volume total de 250L est calculée comme suit :

Sachant que la dose optimale de coagulant est de 0.045g/L, donc pour obtenir cette masse nous allons faire :

$$M_c = C_{opti} * V, \text{ ce qui donne, } M_c = 0.045 * 250 = 11.25$$

Donc 11.25g est la masse nécessaire pour un volume de 250L.

C. Calcul du volume du coagulant

Pour trouver le volume du coagulant nous allons procéder comme suit :

C.coag est aussi égale à $C_{coag} = M_c / V_c$ ce qui donne alors que $V_c = M_c / C_{coag}$

Ainsi l'application numérique donnera $V_c = 11.25 / 0.45 = 25$.

Donc le volume de sulfate d'alumine nécessaire pour une manipulation est équivalent à 25litres.

VI.4.2 PREPARATION DE LA SOLUTION DE FLOCCULANT

A. Calcul de la masse de flocculant

La dose optimale de flocculant pour une concentration de sel de 5g/L et celle de B.C.I de 1g/L est de 0.26mg/L de polyamide. De ce fait la masse de flocculant à avoir pour une manipulation, à travers cette équation, est de :

$$M_f = Q_{ET} * C_{opti} * t$$

Avec :

Q_{ET} : le débit d'eau à traiter (débit d'alimentation) = 80 L/h ; 40L/h

C_{opti} : la concentration optimale du flocculant = $0.26 \cdot 10^{-3}$ g/L

t : le temps de faire une manipulation = 3h ; 6h.

Donc l'application numérique nous donnera:

$M_f = 80 * 0.26 \cdot 10^{-3} * 3 = 0.0624$; alors il nous faut 0.0624g pour une manipulation.

B. Calcul du volume de flocculant

Pour trouver ce dernier nous avons fait plusieurs essais sur le pilote en variant les vitesses et à chaque fois en chronométrant le temps nécessaire. C'est ainsi que nous avons pu trouver pour utiliser un litre de flocculant la vitesse adéquate sur le pilote est de 6.5.

IV.4.3 CALCUL POUR LE BAC D'ALIMENTATION

A. Calcul du volume du bac (V)

Nous avons fait 2 manipulations sur le pilote avec des débits d'alimentation différents 40L/h et 80L/h pour traiter un volume d'eau de 250L.

Comme que nous travaillons seulement avec une concentration de sel de 5g/L, donc pour 250L il nous faut 1250g et concernant la concentration de B.C.I pour 0.5g/L il nous faut 125g et pour 1g/L cela sera équivalent à 250g.

B. Calcul de la hauteur de l'eau à traiter

$$V = h * S \rightarrow h = V / S$$

Avec:

V : le volume du bac (m^3) = 0,25 m^3

h : la hauteur d'eau (m)

S : la surface totale du bac (m^2)

On calcule la surface:

Le diamètre du bac = 0,59 m

Le rayon = $(0,59/2) = 0,45$ m

La surface du bac (S) = $\pi * r^2 = \pi * (0,45)^2 = 0,273$ m^2

Alors : $h = (0,25 / 0,273) = 0,989 \text{ m}$

$h = 91,5 \text{ cm}$.

Chapitre V

Résultats expérimentaux et interprétations

V.1. Etude expérimentale de la coagulation-floculation et décantation

V.1.1. Introduction

L'étude expérimentale de la coagulation-floculation a pour but de déterminer les conditions optimales nécessaires pour une réduction maximale de la MES de l'eau à traiter.

V.1.2. Caractéristiques de l'eau utilisée

L'eau utilisée dans les différents essais est une eau de robinet (eau dessalée provenant de l'usine de dessalement de HONAIN) dont les caractéristiques physico-chimiques se trouvent dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Caractéristiques de l'eau utilisée

| Les paramètres | La turbidité | La température | La conductivité | Le pH |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|-------|
| L'eau utilisée | 1 NTU | 18°C | 700µS/cm | 7.01 |

V.1.3 Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter

Avant chaque essai nous avons mesuré les paramètres physico-chimiques initiaux pour 1 g/L, 3 g/L et 5 g/L de sel avec les concentrations croissantes de B.C.I à savoir 0.5g/L, 1 g/L, 1.5g/L et 2 g/L.

Les valeurs trouvées sont regroupées dans les tableaux qui suivent.

❖ Pour 1g/L de sel

Tableau V.2 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter de concentration de sel 1g/L

| Paramètres B.C.I (g/L) | La turbidité NTU | La température °C | La conductivité µS/cm | Le pH |
|---------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|-------|
| 0.5 | 42.2 | 15.8 | 2500 | 6.95 |
| 1 | 209 | 16.3 | 2500 | 7.69 |
| 1.5 | 236 | 15.7 | 2500 | 8.14 |
| 2 | 488 | 15.4 | 2500 | 8.23 |

❖ Pour 3g/L de sel

Tableau V.3 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter de concentration de sel 3g/L

| Paramètres B.C.I (g/L) | La turbidité NTU | La température °C | La conductivité $\mu\text{S/cm}$ | Le pH |
|---------------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|-------|
| 0.5 | 87.2 | 16.3 | 6200 | 7.95 |
| 1 | 153 | 15.8 | 6200 | 8.18 |
| 1.5 | 365 | 16.2 | 6200 | 8.23 |
| 2 | 535 | 15.9 | 6200 | 8.29 |

❖ Pour 5g/L de sel

Tableau V.4 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter de concentration de sel 5g/L

| Paramètres B.C.I (g/L) | La turbidité NTU | La température °C | La conductivité $\mu\text{S/cm}$ | Le pH |
|---------------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|-------|
| 0.5 | 97 | 15.6 | 9600 | 8.23 |
| 1 | 161 | 15.8 | 9600 | 8.25 |
| 1.5 | 273 | 15.9 | 9600 | 8.47 |
| 2 | 525 | 15.5 | 9600 | 8.60 |

V.1.3.1 Effet de B.C.I sur la turbidité et le pH d'une eau salée

a. Effet de la B.C.I sur la turbidité

❖ Pour 1g/L de sel

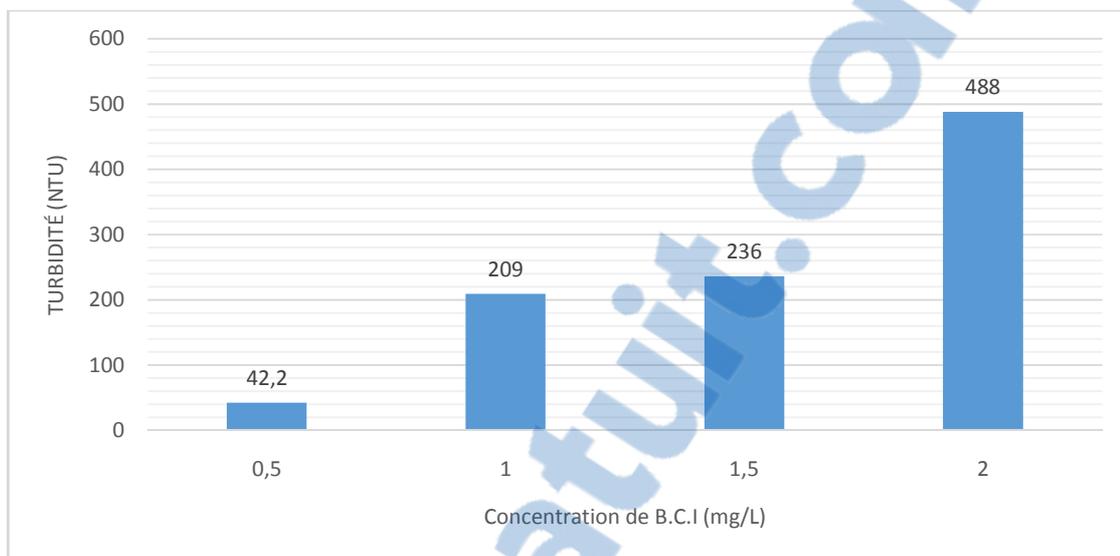


Figure V.1 : Variation de la turbidité en fonction de la B.C.I avant traitement (1g/L de sel)

❖ Pour 3g/L de sel

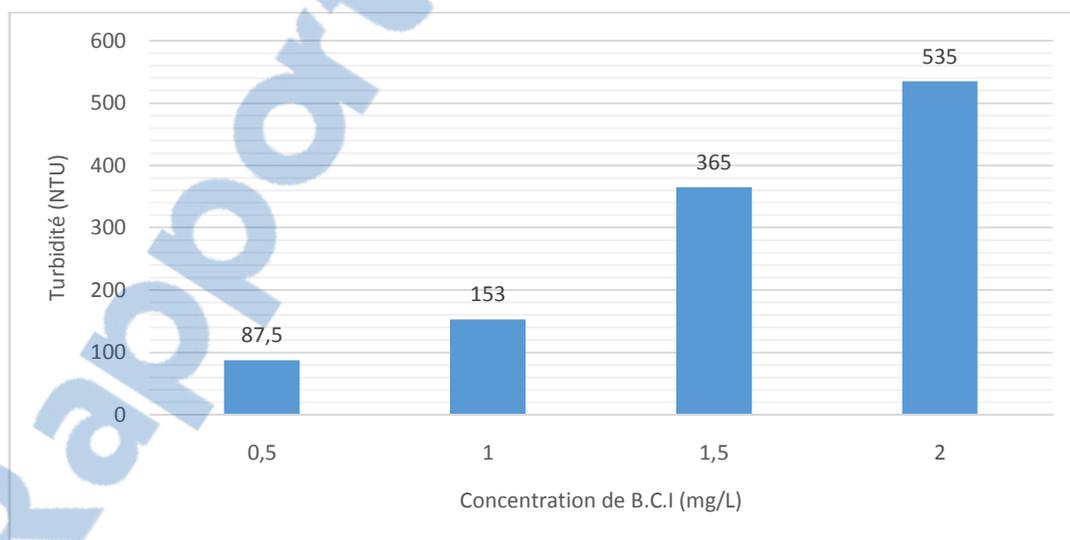


Figure V.2 : Variation de la turbidité en fonction de la B.C.I avant traitement (3g/L de sel)

❖ Pour 5g/L de sel

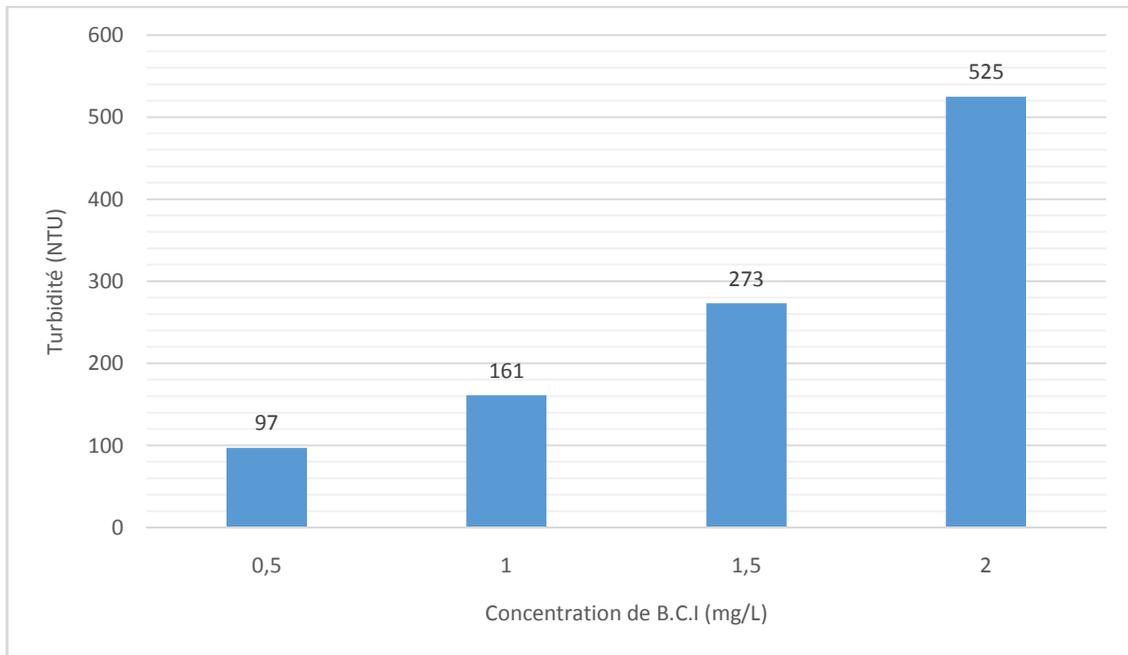


Figure V.3 : Variation de la turbidité en fonction de la B.C.I avant traitement (5g/L de sel)

D'après les figures V.1, V.2 et V.3 qui éclairent la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour différentes concentrations de sel (1g/L, 3g/L et 5g/L), nous remarquons que la turbidité augmente en fonction de la concentration de bentonite.

Cela s'explique par le fait que le mélange de la bentonite avec de l'eau provoque le détachement des particules fines de la bentonite à cause de leur forte hydratation amenant ainsi la libération de particules colloïdales.

b. Effet de la B.C.I sur le pH

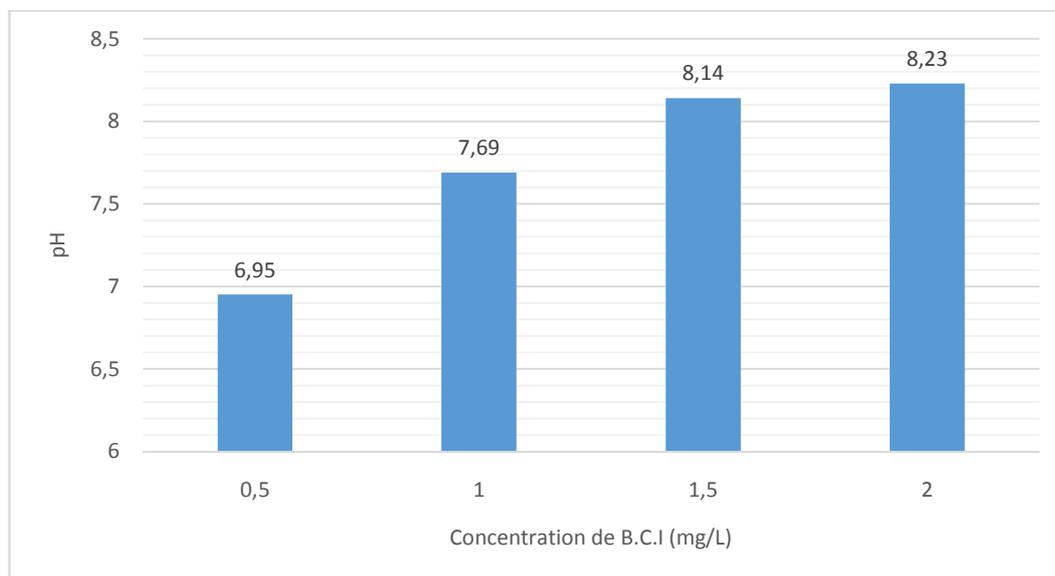


Figure V.4 : Variation du pH en fonction de la B.C.I avant traitement (1g/L de sel)

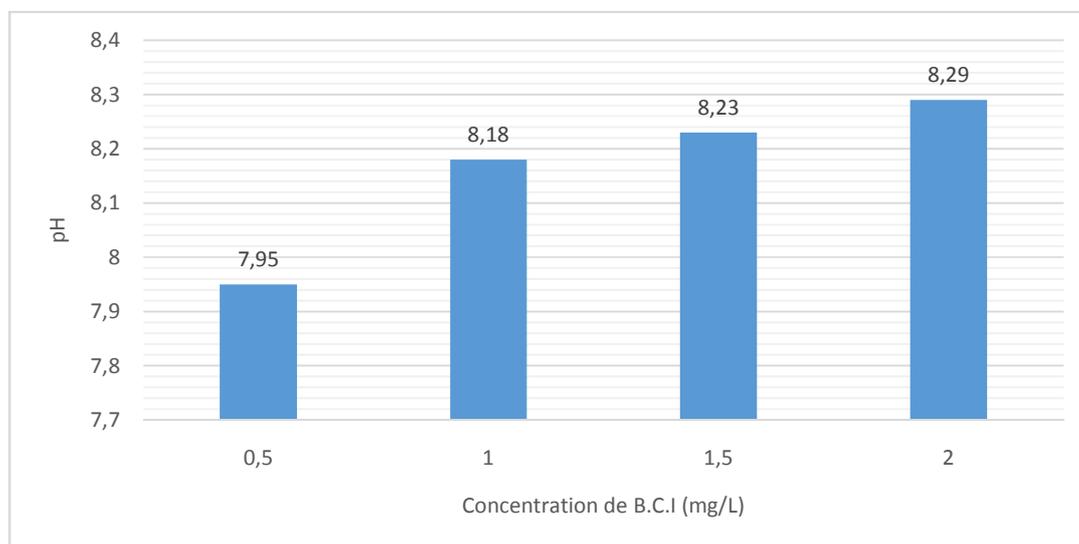


Figure V.5 : Variation du pH en fonction de la B.C.I avant traitement (3g/L de sel)

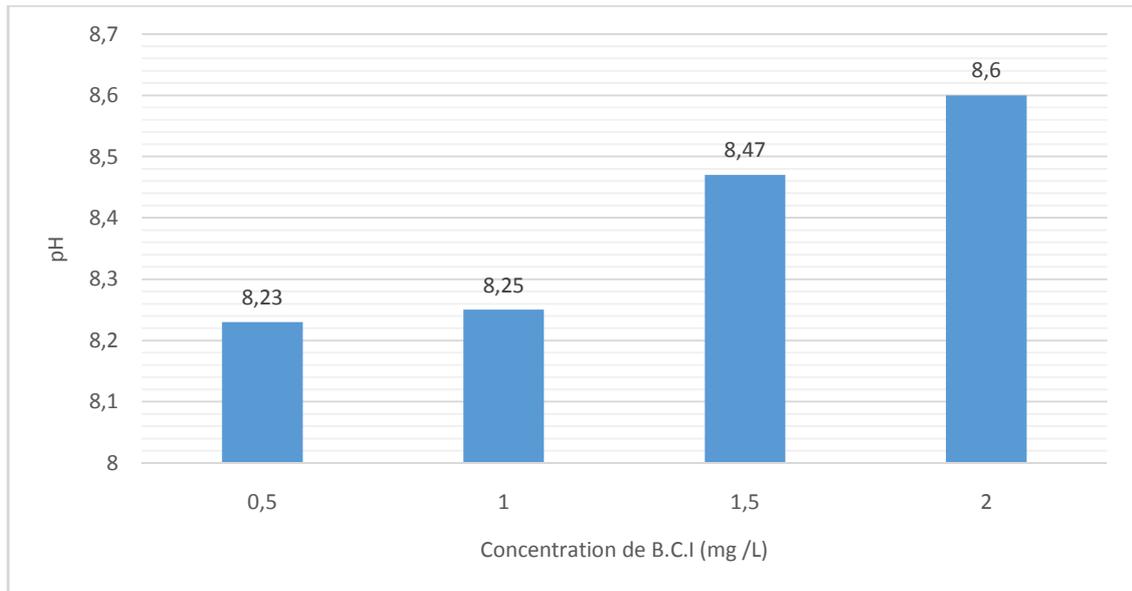


Figure V.6 : Variation du pH en fonction de la B.C.I avant traitement (5g/L de sel)

Ces figures ci- dessus reflètent l'augmentation du pH au fur et à mesure que la concentration de bentonite augmente elle aussi. Ceci est dû essentiellement à la nature des fonctions chimiques à caractères basiques existant dans la structure de la bentonite(B.C.I).

V.2. Résultats expérimentaux et interprétation

Nous avons fait des essais sur le Jar-Test pour déterminer les doses optimales du coagulant et du floculant, la vitesse d'agitation rapide lors de la coagulation, le temps de coagulation, la vitesse d'agitation lente de la floculation, le temps de floculation afin d'avoir une bonne décantation lors de notre travail sur le pilote TE600.

Les résultats expérimentaux sont exprimés en fonction du pourcentage de réduction de la turbidité autrement appelé le rendement.

$$\% \text{ réduction} = \frac{\text{turbidité initiale} - \text{turbidité résiduelle}}{\text{turbidité initiale}} * 100$$

V.2.1 Détermination de la concentration optimale de coagulant

Nous avons fait une série d'essai sur une eau salée turbide avec des concentrations croissantes de NaCl et de sulfate d'alumine pour être proche de la dose optimale de coagulant.

Après décantation nous prélevons le surnageant tout en évitant de prendre les floccs et la dose optimale de coagulant correspond à celle dont le surnageant est le plus clair.

Tableau V.5: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (1g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | <u>60</u> | 62 | 65 | 68 | 70 | 72 | 75 |
| Turbidité NTU | 1.75 | 1.36 | 0.55 | 0.89 | 0.69 | <u>0.36</u> | 0.70 | 0.49 | 0.53 | 0.75 | 0.55 | 0.89 |
| R (%) | 95.85 | 96.77 | 98.69 | 99.89 | 99.36 | 99.14 | 99.34 | 99.83 | 99.17 | 99.22 | 98.69 | 97.89 |
| Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$ | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 17 | 16.8 | 16.7 | 16.8 | 16.8 | 17 | 17.2 | 17 | 16.8 | 17.1 | 16.8 | 17.2 |
| pH | 7.25 | 7.16 | 7.07 | 6.52 | 6.50 | 6.49 | 6.44 | 6.43 | 6.43 | 6.38 | 6.35 | 6.27 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant est de 60mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Tableau V.6: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (1g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 62 |
| Turbidité NTU | 8.27 | 3.80 | 3.25 | 3.14 | 4.15 | 3.36 | 3.12 | 2.84 | 2.27 | 2.04 | 1.08 |
| R (%) | 96.04 | 98.18 | 98.44 | 98.49 | 98.01 | 98.39 | 98.5 | 98.64 | 98.91 | 99.02 | 99.48 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 17.8 | 15.7 | 17.8 | 15.7 | 17.8 | 15.6 | 17.7 | 15.6 | 17.9 | 18.2 | 15.6 |
| pH | 7.84 | 7.80 | 7.47 | 7.37 | 7.33 | 7.3 | 7.29 | 7.26 | 7.23 | 7.17 | 7.08 |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du coagulant mg/L | <u>65</u> | 68 | 70 | 72 | 75 | 80 |
| Turbidité NTU | <u>0.53</u> | 1.06 | 0.96 | 0.88 | 1.36 | 2.06 |
| R (%) | 99.74 | 99.49 | 99.54 | 99.57 | 99.34 | 99.01 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 15.6 | 15.7 | 15.7 | 15.5 | 15.4 | 15.5 |
| pH | 7.06 | 7.04 | 6.99 | 6.97 | 6.88 | 6.69 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant est 65mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tableau V.7: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (1g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | <u>40</u> | 50 | 60 | 62 | 65 | <u>68</u> | 70 | 72 | 75 |
|--------------------------------------|-------|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 15.5 | 5.90 | 6.08 | 3.67 | 3.58 | 4.14 | 4.00 | 2.63 | <u>1.60</u> | 2.52 | 3.29 | 3.67 |
| R (%) | 93.43 | 97.5 | 97.42 | 98.44 | 98.48 | 98.24 | 98.30 | 98.88 | 99.32 | 98.93 | 98.60 | 98.44 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 15.6 | 15.8 | 15.9 | 15.7 | 15.8 | 15.8 | 15.5 | 15.7 | 15.8 | 15.8 | 15.5 | 15.5 |
| pH | 8.77 | 7.64 | 7.48 | 7.4 | 7.38 | 7.21 | 7.19 | 7.15 | 7.07 | 6.86 | 6.85 | 6.66 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant est 68mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tableau V.8: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (1g/L de sel et 2g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 62 | 65 | 68 | <u>70</u> | 72 | 75 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 27.5 | 18.8 | 12.9 | 9.85 | 11.8 | 3.04 | 2.56 | 2.72 | 2.31 | <u>2.02</u> | 3.43 | 4.80 |
| R (%) | 94.36 | 96.14 | 97.35 | 97.98 | 97.58 | 99.37 | 99.47 | 99.44 | 99.52 | 99.58 | 99.29 | 99.01 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 15.8 | 15.7 | 15.8 | 15.8 | 15.8 | 15.8 | 15.7 | 16 | 16.1 | 15.9 | 15.8 | 16 |
| pH | 8.54 | 7.88 | 7.59 | 7.34 | 7.16 | 7.09 | 7.14 | 7.15 | 6.86 | 6.95 | 6.98 | 6.91 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 70mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Tableau V.9: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (3g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 23 | 26 | 29 | 30 | <u>32</u> | 35 | 38 | 40 | 50 | 60 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 1.25 | 0.91 | 1.64 | 0.72 | 0.58 | 0.49 | <u>0.39</u> | 0.47 | 0.57 | 0.61 | 0.45 | 0.44 |
| R (%) | 98.56 | 98.95 | 97.88 | 99.17 | 99.33 | 99.43 | 99.55 | 99.46 | 99.34 | 99.30 | 99.48 | 99.49 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 16.8 | 16.8 | 16.7 | 16.7 | 16.6 | 16.8 | 15.9 | 15.9 | 16 | 15.8 | 15.8 | 15.8 |
| pH | 7.23 | 7.04 | 7.01 | 6.86 | 6.84 | 6.83 | 7.81 | 6.77 | 6.7 | 6.67 | 6.6 | 6.37 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 32mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Tableau V.10: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (3g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | <u>59</u> | 60 | 61 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 3.39 | 1.99 | 1.92 | 1.85 | 1.71 | 1.18 | 1.06 | 0.73 | 0.77 | <u>0.71</u> | 1.58 | 0.72 |
| R (%) | 97.78 | 98.69 | 98.74 | 98.79 | 98.88 | 99.22 | 99.30 | 99.52 | 99.49 | 99.53 | 98.96 | 99.52 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 6200 | 6200 | 6200 | 6300 | 6300 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 16 | 16.01 | 16.2 | 16.3 | 15.9 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.4 | 16.1 | 17.4 |
| pH | 7.71 | 7.53 | 7.42 | 7.20 | 7.05 | 6.98 | 6.95 | 6.94 | 6.93 | 6.90 | 6.91 | 6.88 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 59mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tableau V.11: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (3g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | <u>66</u> | 67 | 68 | 68.5 | 69 | 69.5 |
| Turbidité NTU | 15.1 | 5.60 | 6.81 | 2.88 | 1.15 | 1.76 | <u>0.72</u> | 1.28 | 1.35 | 0.96 | 2.32 | 1.39 |
| R (%) | 95.86 | 98.46 | 98.13 | 99.21 | 99.68 | 99.51 | 99.80 | 99.64 | 99.63 | 99.73 | 99.36 | 99.61 |
| Conductivité μ s | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 |
| Température °C | 16.4 | 16.4 | 16.4 | 16.4 | 16.3 | 16.4 | 16.4 | 16.5 | 16.5 | 16.4 | 16.3 | 16.4 |
| pH | 7.93 | 7.67 | 7.50 | 7.27 | 7.11 | 6.97 | 6.88 | 6.83 | 6.81 | 6.8 | 6.79 | 6.76 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 66mg/L d' $Al_2(SO_4)_3$.

Tableau V.12: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (3g/l de sel et 2g/l de B.C.I)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 66 | 67 | 68 | 68.5 | <u>69</u> | 69.5 |
| Turbidité NTU | 18.5 | 4.91 | 4.51 | 6.07 | 4.73 | 5.06 | 2.08 | 1.48 | 2.21 | 1.76 | <u>1.33</u> | 1.59 |
| R (%) | 96.54 | 99.08 | 99.15 | 98.86 | 99.11 | 99.05 | 99.61 | 99.72 | 99.58 | 99.67 | 99.75 | 99.70 |
| Conductivité μ s | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 | 6200 |
| Température °C | 16.3 | 16.3 | 16.3 | 16.4 | 16.2 | 16.4 | 16.1 | 16.2 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.2 |
| pH | 7.68 | 7.55 | 7.38 | 7.35 | 7.27 | 7.23 | 7.23 | 7.14 | 7.07 | 7.05 | 7.00 | 6.99 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 69mg/L d' $Al_2(SO_4)_3$

Tableau V.13: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 13 | 16 | 19 | 20 | 22 | <u>25</u> | 30 | 40 | 50 | 60 | 62 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 1.30 | 1.42 | 0.93 | 0.94 | 0.89 | 0.51 | <u>0.43</u> | 0.49 | 0.64 | 0.61 | 0.74 | 0.48 |
| R(%) | 98.65 | 98.53 | 99.04 | 99.03 | 99.08 | 99.47 | 99.55 | 99.49 | 99.34 | 99.37 | 99.23 | 99.50 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 16.1 | 16.7 | 16.9 | 16.80 | 16.8 | 16.7 | 16.9 | 16.00 | 15.90 | 16.0 | 16.10 | 15.90 |
| pH | 7.62 | 6.26 | 7.13 | 7.1 | 7.01 | 6.99 | 6.96 | 6.96 | 7.95 | 7.95 | 6.9 | 6.85 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 25mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tableau V.14: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 33 | 36 | 39 | 40 | 42 | <u>45</u> | 48 | 50 | 60 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 4.04 | 1.73 | 0.68 | 1,53 | 0.91 | 1,15 | 1.44 | 1.07 | <u>0.65</u> | 0,94 | 0.96 | 0.73 |
| R (%) | 97.49 | 98.92 | 99.57 | 99.04 | 99.43 | 99.28 | 99.10 | 99.33 | 99.59 | 99.41 | 99.40 | 99.24 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.9 | 15.8 | 15.8 | 15.9 | 15.8 | 15.7 | 15.9 |
| pH | 7.61 | 7.44 | 7.31 | 7.00 | 6.92 | 6.72 | 6.53 | 6.52 | 6.51 | 6.42 | 6.36 | 6.26 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration de coagulant est 45mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tableau V.15: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (5g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | <u>59</u> | 59.5 | 60 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Turbidité NTU | 14.2 | 2.83 | 2.27 | 2.34 | 1.88 | 1.61 | 1.72 | 3.89 | 1.84 | <u>1.29</u> | 1.59 | 1.37 |
| R (%) | 94.79 | 98.96 | 99.16 | 99.14 | 99.31 | 99.41 | 99.36 | 98.57 | 99.32 | 99.52 | 99.41 | 99.49 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 16 | 16 | 16.1 | 15.8 | 15.9 | 16.6 | 16.7 | 16.8 | 16.7 | 16.7 | 16.8 | 15.4 |
| pH | 7.82 | 7.67 | 7.28 | 7.25 | 7.10 | 6.99 | 6.68 | 6.5 | 6.49 | 6.48 | 6.47 | 6.39 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 59mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tableau V.16: Evolution des paramètres en fonction de la dose de sulfate d'alumine pour une eau salée turbide (5g/L de sel et 2g/L de B.C.I)

| Concentration du coagulant mg/L | 50 | 60 | 62 | 65 | 68 | 68.5 | 69 | 69.5 | 70 | 70.5 | <u>71</u> | 71.5 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Turbidité NTU | 4.27 | 2.39 | 2.72 | 2.41 | 2.15 | 1.36 | 2.68 | 2.77 | 1.81 | 4.87 | <u>1.43</u> | 2.22 |
| R (%) | 99.18 | 99.54 | 99.48 | 99.54 | 99.59 | 99.74 | 99.48 | 99.47 | 99.65 | 99.07 | 99.72 | 99.57 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 | 9700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 15.4 | 15.5 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.4 | 15.7 | 15.6 | 15.6 | 15.6 | 15.5 | 15.4 |
| pH | 7.28 | 7.11 | 7.02 | 6.98 | 6.94 | 6.9 | 6.59 | 6.58 | 6.57 | 6.53 | 6.51 | 6.5 |

Après injection des doses croissantes de coagulant nous avons pu trouver que la concentration optimale de coagulant la concentration optimale de coagulant est 71mg/L d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Après cela les courbes que nous pouvons en inférer sont :

- L'influence de la turbidité de l'eau brute sur la dose optimale de coagulant ;
Turbidité après = f (concentrations du coagulant).
- Le pH après manipulation en fonction de la concentration du coagulant ;
pH après = f (concentrations du coagulant).
- La conductivité en fonction de la concentration de sel ;

Conductivité = f (concentrations du sel).

A. Effet de la concentration du coagulant sur la turbidité

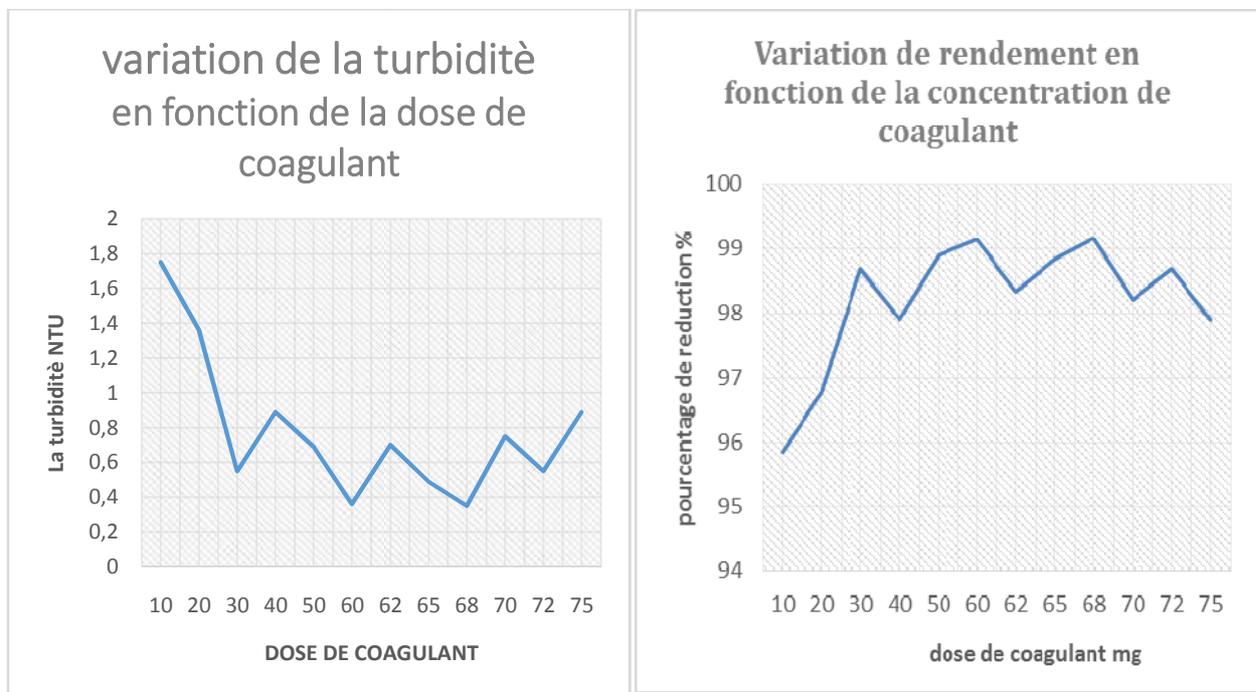


Figure V.7 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (1g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

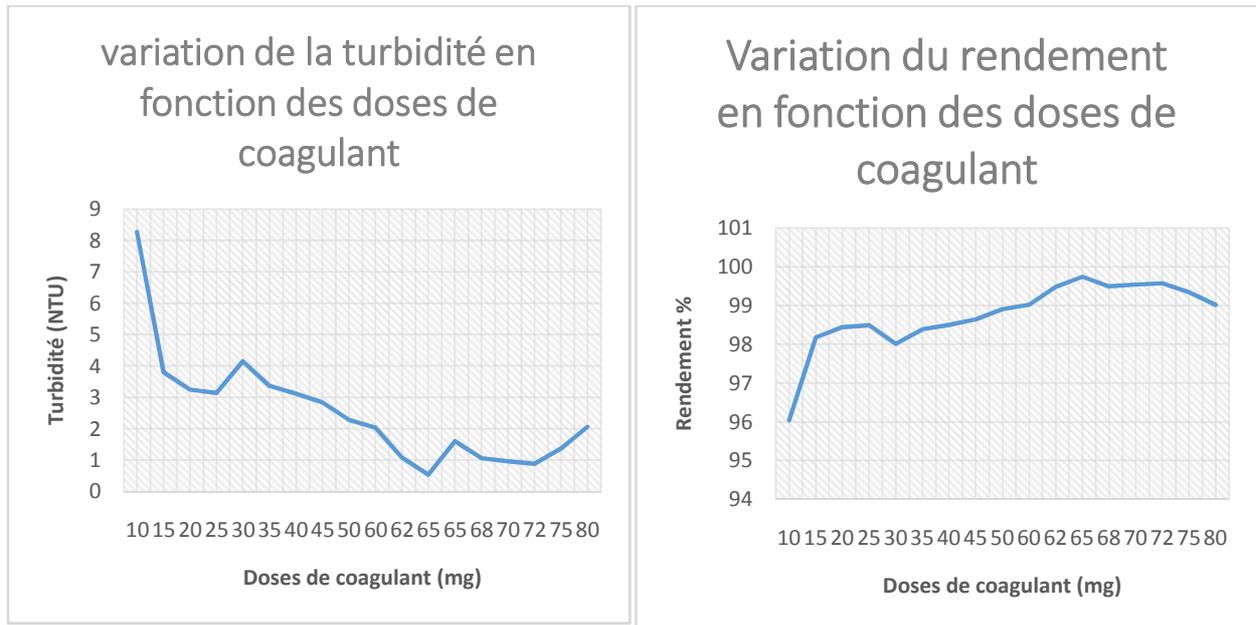


Figure V.8 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (1g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

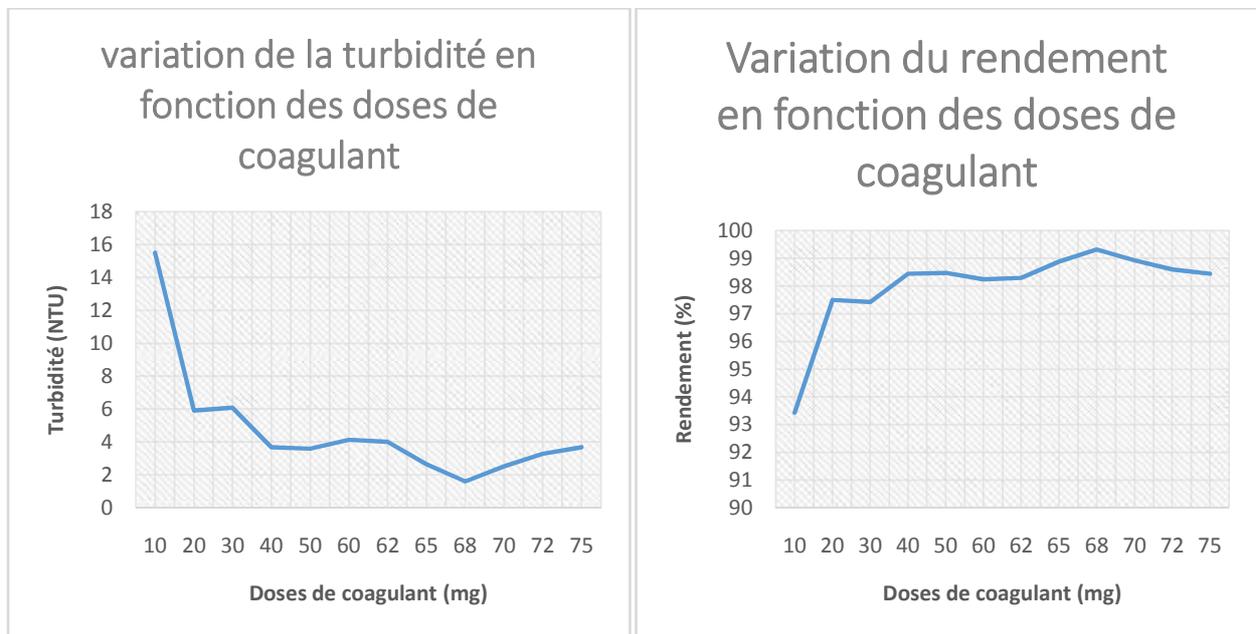


Figure V.9 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (1g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I)

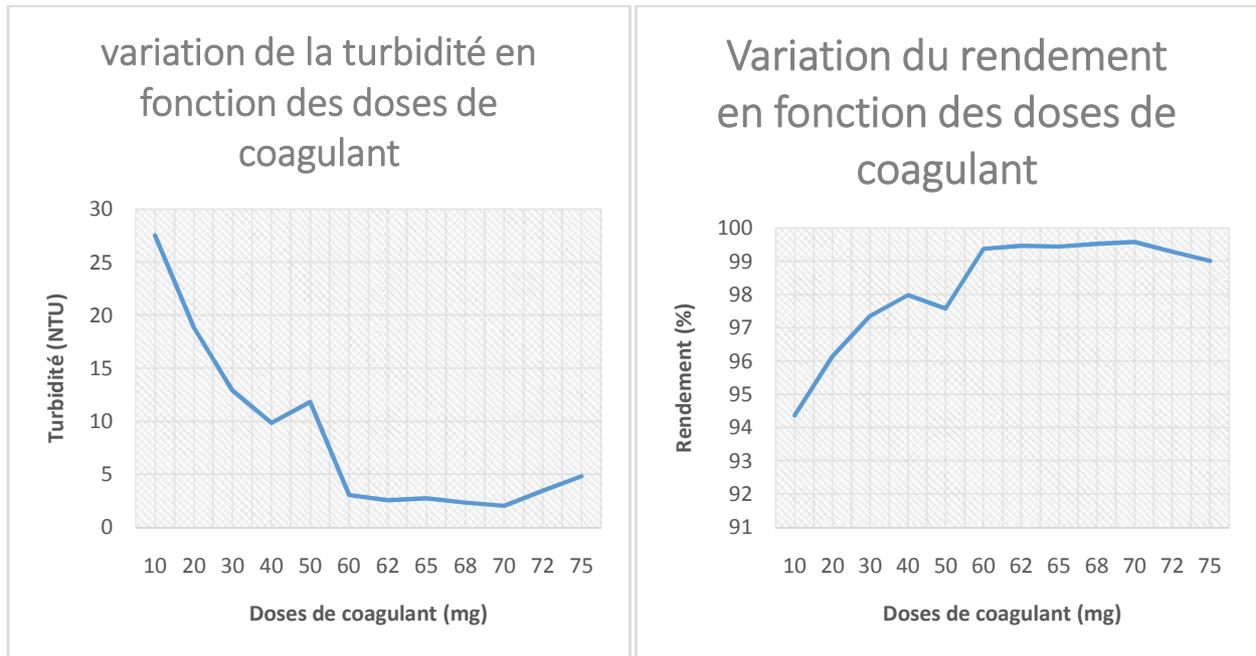


Figure V.10 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (1g/L de sel et 2g/L de B.C.I)

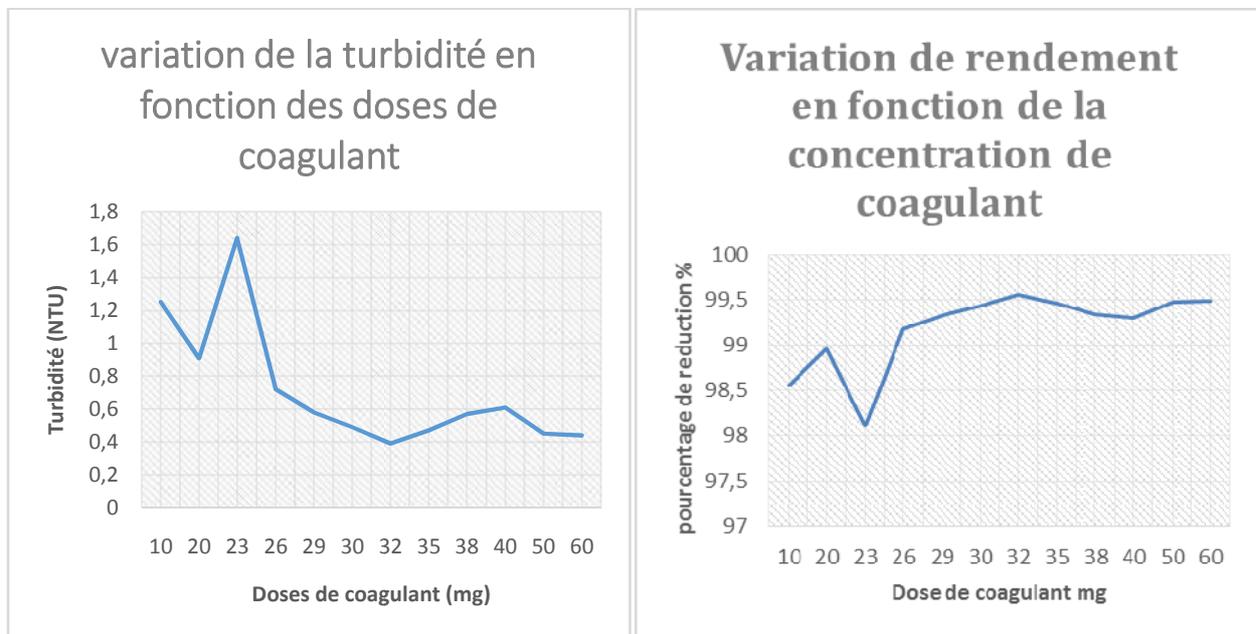


Figure V.11 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (3g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

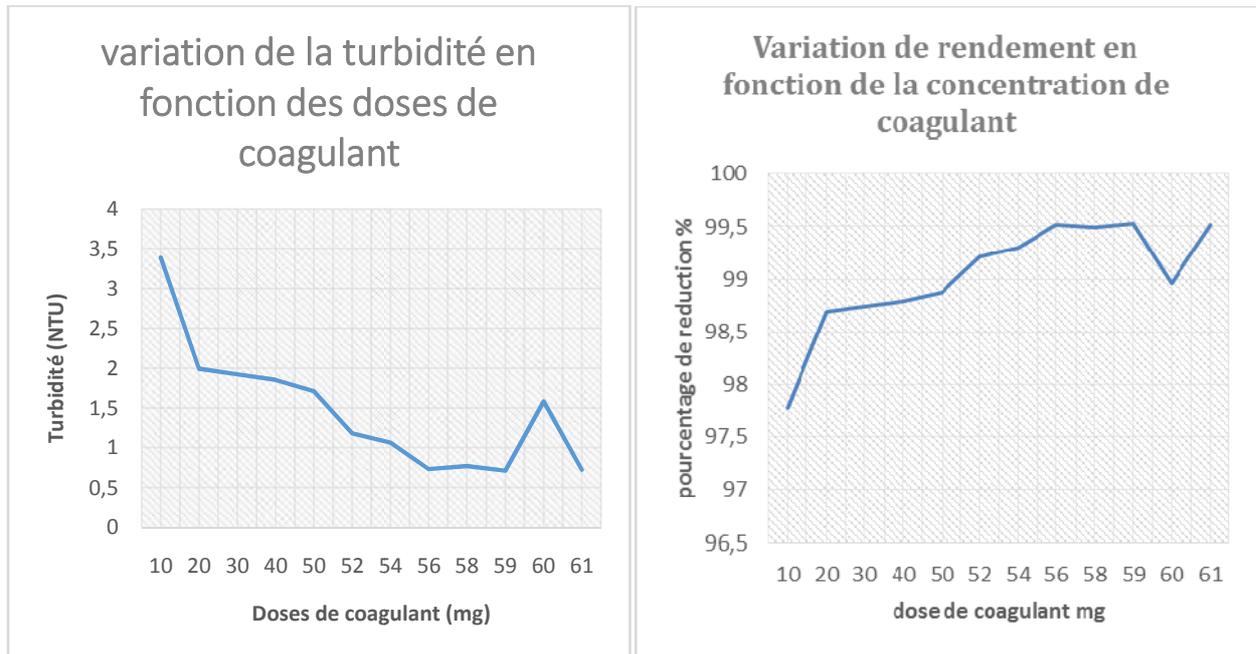


Figure V.12 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (3g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

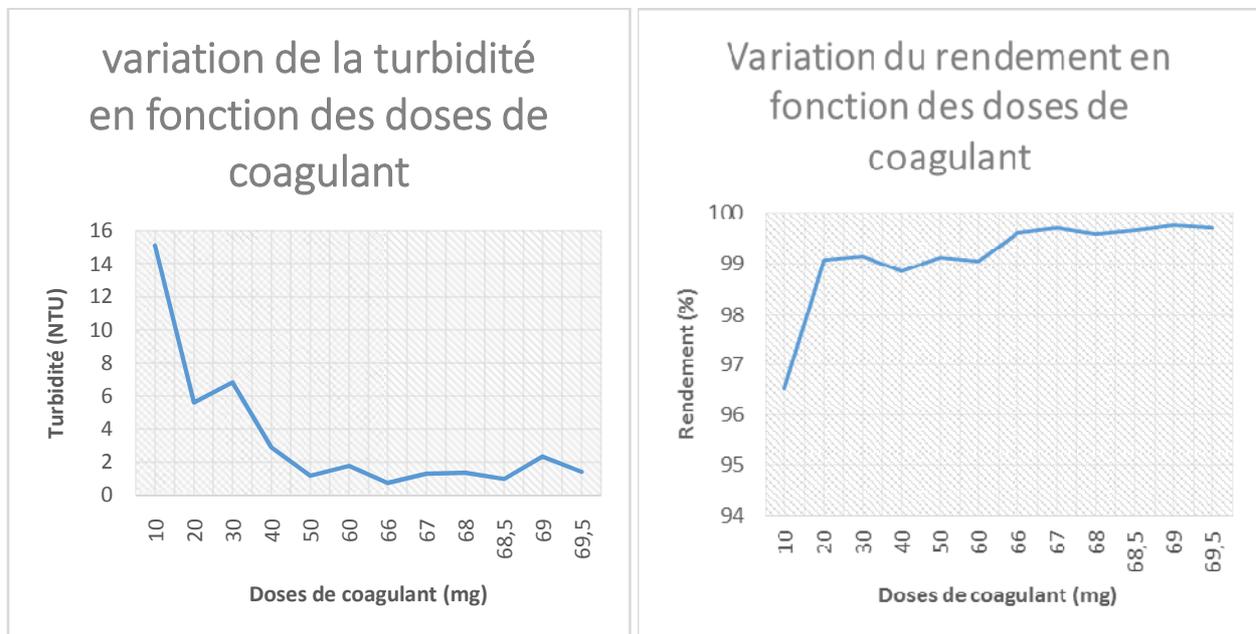


Figure V.13 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (3g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I)

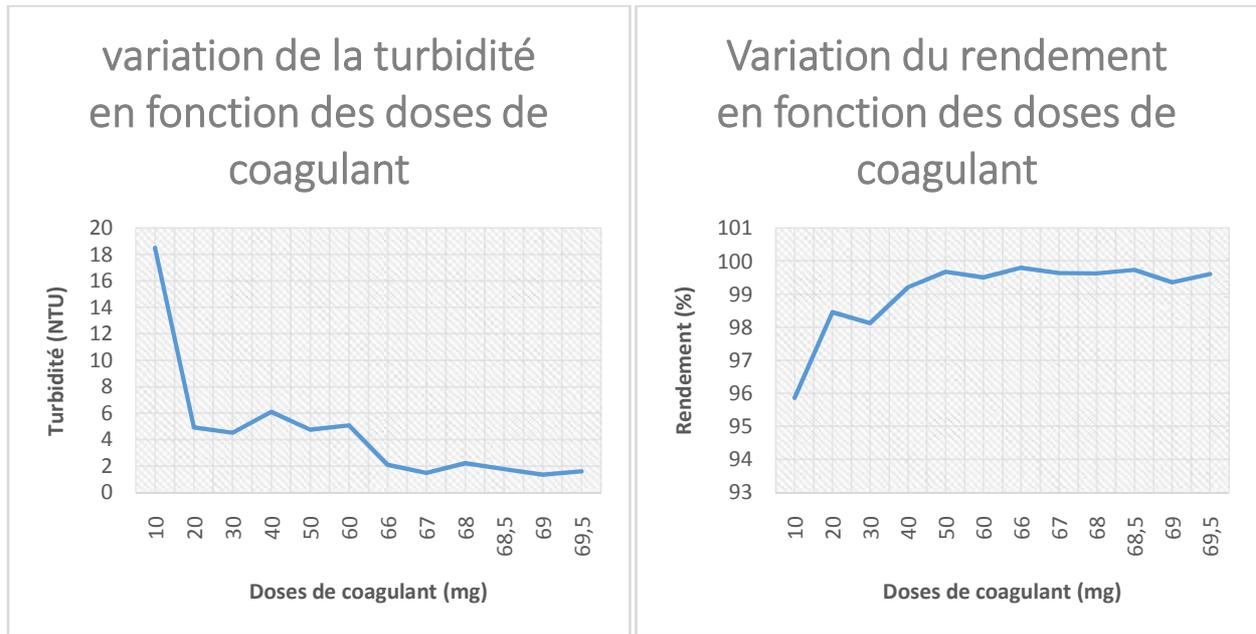


Figure V.14 : L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (3g/L de sel et 2g/L de B.C.I)

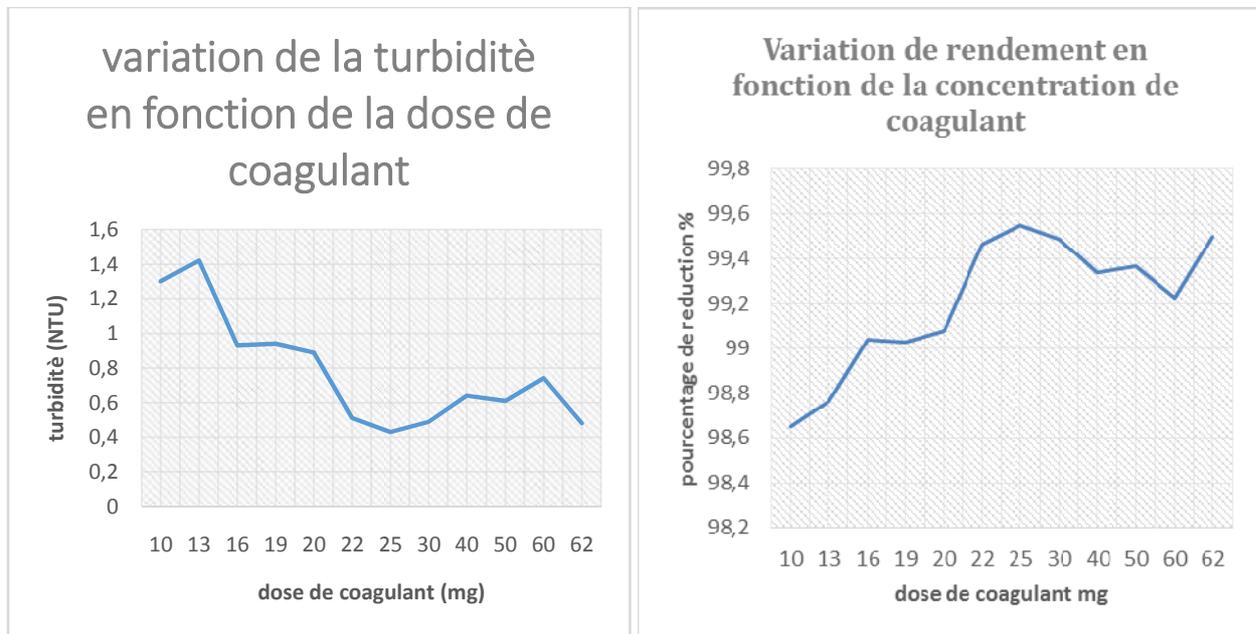


Figure V.15 L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

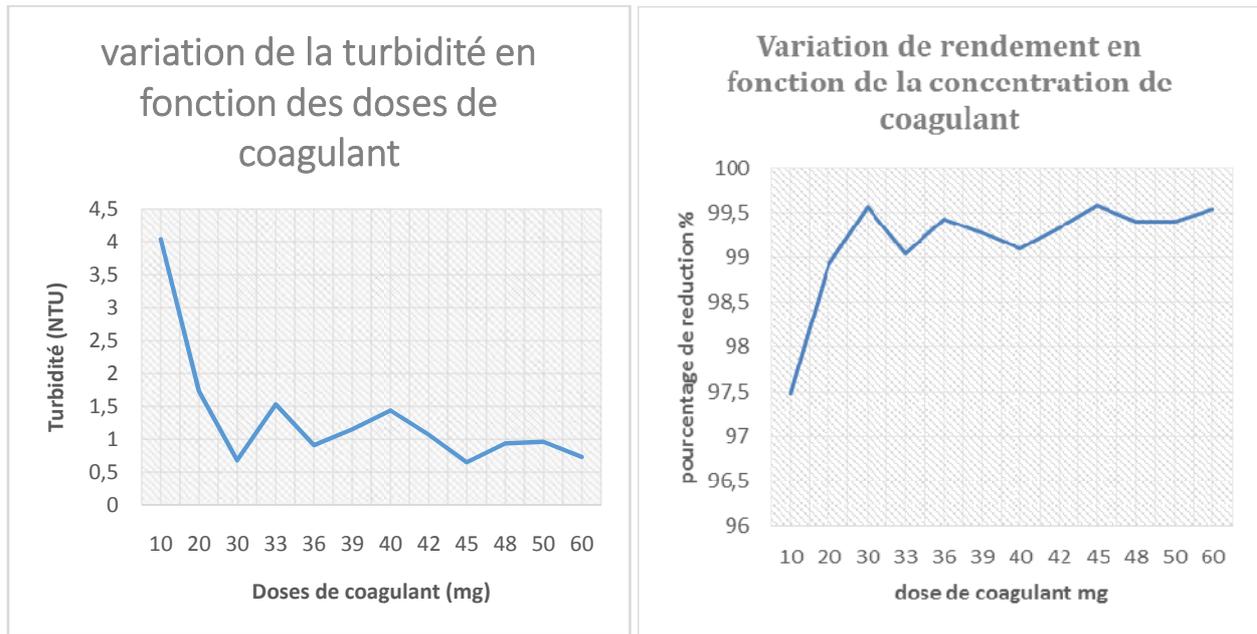


Figure V.16 L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

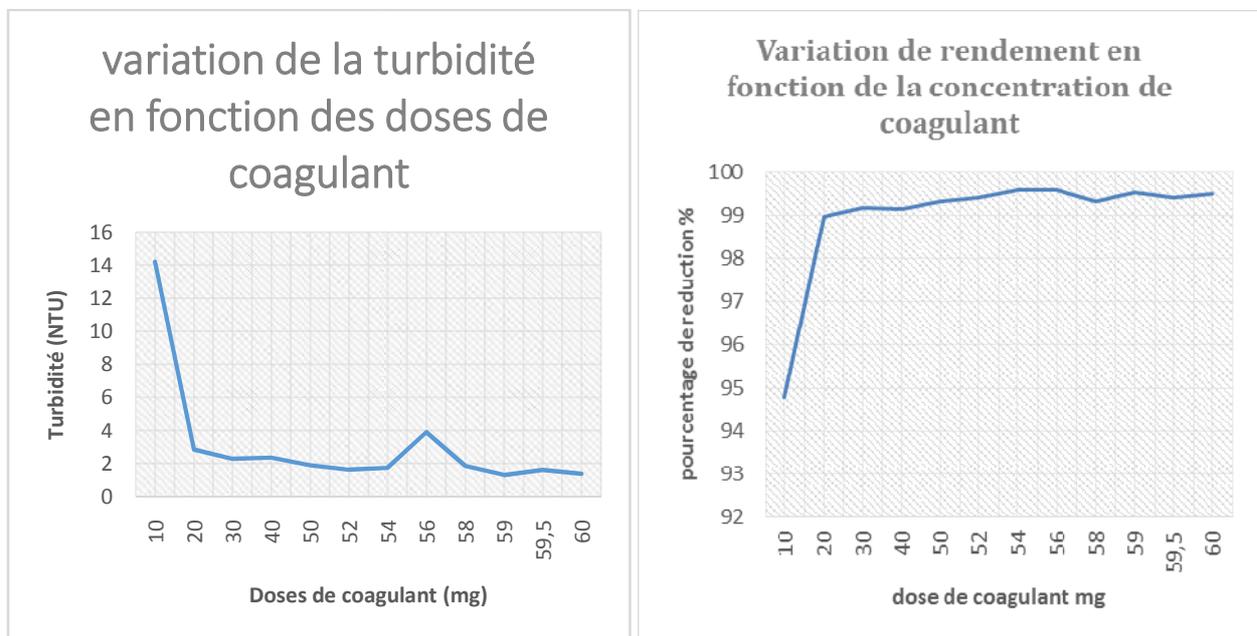


Figure V.17 L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (5g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I)

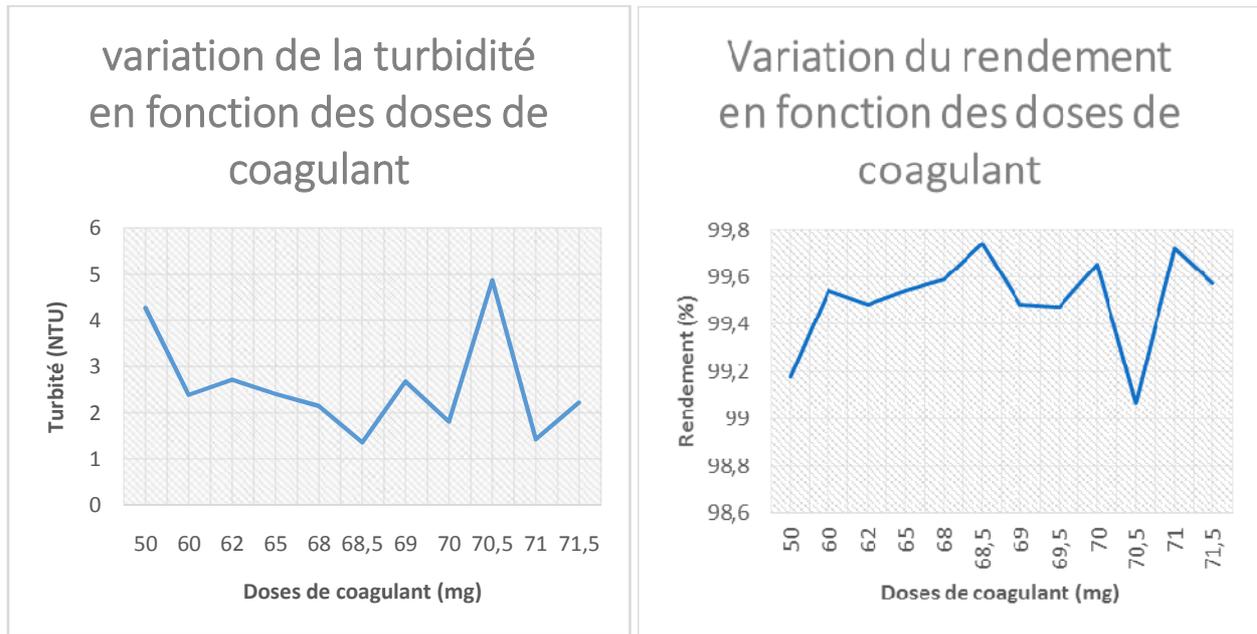


Figure V.18 L'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la turbidité et le rendement (5g/L de sel et 2g/L de B.C.I)

L'ensemble des graphes obtenus lors des essais de coagulation, nous donne la variation de la turbidité en fonction des différentes doses de coagulant ajouté. A travers ces graphes nous pouvons remarquer la quantité de coagulant nécessaire pour avoir une bonne coagulation qui correspond à la pique de turbidité le plus bas c'est-à-dire à la turbidité minimale.

Toutes les courbes obtenues possèdent un minimum considéré comme le plus bas de la courbe la séparant en deux côtés :

- Le coté de gauche correspond à la neutralisation des charges électriques des particules qui grossissent par agglomération et sédimentent.
- Le coté de droite ou la turbidité commence à accroître, traduit la restabilisation des particules, due à l'excès des charges de même signe qui empêchent ces particules de s'agglomérer. Ce sont des forces stabilisatrices. Ainsi cela peut expliquer dès fois les baisses et les hausses de turbidité suite à l'ajout des doses de coagulant que l'on peut remarquer sur ces figures mais n'étant jamais inférieur à celle de la concentration optimale.

Et cela nous confirme que la dose de coagulant 65mg/L (1g/L de sel et 1g/L de BCI) représente la dose optimale car c'est le point correspondant à la plus faible valeur de la turbidité où la courbe est décroissante avant cette dose puis devienne croissante.

On comprend de cela que la surdose en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales ainsi la disponibilité de leurs sites diminue et empêche la formation des ponts inter-particulaires et on aura donc une eau très chargée en coagulant avec une mauvaise clarification. [43].

L'intérêt de ces courbes dans la connaissance de la dose optimale du réactif (coagulant) qu'il faut ajouter en vue d'atteindre une neutralisation total des forces stabilisatrice.

Le tracé de pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'alumine pour divers solutions de l'eau de différente concentration de B.C.I et de sel , a permis d'obtenir des courbes représenter ci-dessus.

A partir des résultats de coagulation sur les eaux traitées par des doses croissantes de sulfate d'alumine, nous avons pu constater que le pourcentage de réduction de la turbidité atteint son maximum avec la dose optimale où la turbidité subit le contraire.

L'ajout d' Al_3^+ permet la coagulation du fait de l'effet lié à l'augmentation de la force ionique (compression de la couche diffuse), le mécanisme de la coagulation repose sur la neutralisation de 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 deviennent alors positive.

Les particules seraient ainsi restabilisées [50].

✓ Pour 1g/L de sel

- 0.5g/L de B.C.I : Nous constatons que l'ajout de 60mg/L de sulfate d'alumine permet la diminution de la turbidité de 42.2 NTU à 0.36 NTU avec un rendement de 99.14%.
- 1g/L de B.C.I : Nous avons une turbidité qui passe de 209 NTU à 0.53 NTU avec l'addition de 65mg/L de flocculant et le pourcentage de réduction atteint 99.74%.
- 1.5g/L de B.C.I : Le bon rendement est de 99.32% et la turbidité s'abaisse de 236 NTU jusqu'à 1.60 NTU suite à l'ajout de 68mg/L de sulfate d'alumine.
- 2g/L de B.C.I : l'adjonction de 70mg/L de coagulant diminue la turbidité de 488 NTU à 2.02 NTU avec un rendement de 99.58%.

✓ Pour 3g/L de sel et :

- 0.5g/L de B.C.I : Nous assistons à une réduction de la turbidité de 87.2 NTU à 0.39 NTU avec l'addition de 32mg/L de coagulant et le rendement arrive jusqu'à 99.55%.
 - 1g/L de B.C.I : L'ajout de 59mg/L de coagulant permet la diminution de la turbidité de 153 NTU jusqu'à 0.71 NTU et celle-ci aura un pourcentage de réduction de 99.53%.
 - 1.5g/L de B.C.I : la turbidité est allégée de 365 NTU à 0.72 NTU lorsque 66mg/L de coagulant y est additionné et le rendement est de 99.8%.
 - 2g/L de B.C.I : Le meilleur pourcentage de réduction atteint 99.75% et la turbidité décroît de 535 NTU jusqu'à 1.33 NTU après l'ajout de 69mg/L de coagulant.
- ✓ Pour 5g/L de sel et :
- 0.5g/L de B.C.I : La turbidité passe de 97 NTU à 0.43 NTU après l'addition de 25mg/L de coagulant et le rendement est de 99.55%.
 - 1g/L de B.C.I : Nous remarquons que suite à l'ajout de 45mg/L de coagulant la turbidité diminue de 161 NTU jusqu'à 0.65 NTU correspondant à un rendement de 99.59%.
 - 1.5g/L de B.C.I : Le pourcentage de réduction atteint 99.52% grâce à l'addition de 71mg/L de coagulant et la turbidité est allégée de 273 NTU à 1.43 NTU.
 - 2g/L de B.C.I : L'addition de 71mg/L de coagulant induit le passage de la turbidité de 525 NTU à 1.43 NTU avec un rendement de 99.72%.

B. Effet de la concentration de coagulant sur le pH

Les résultats obtenus concernant la variation du pH en fonction des doses de coagulant sont évoqués respectivement sur les figures qui suivent :

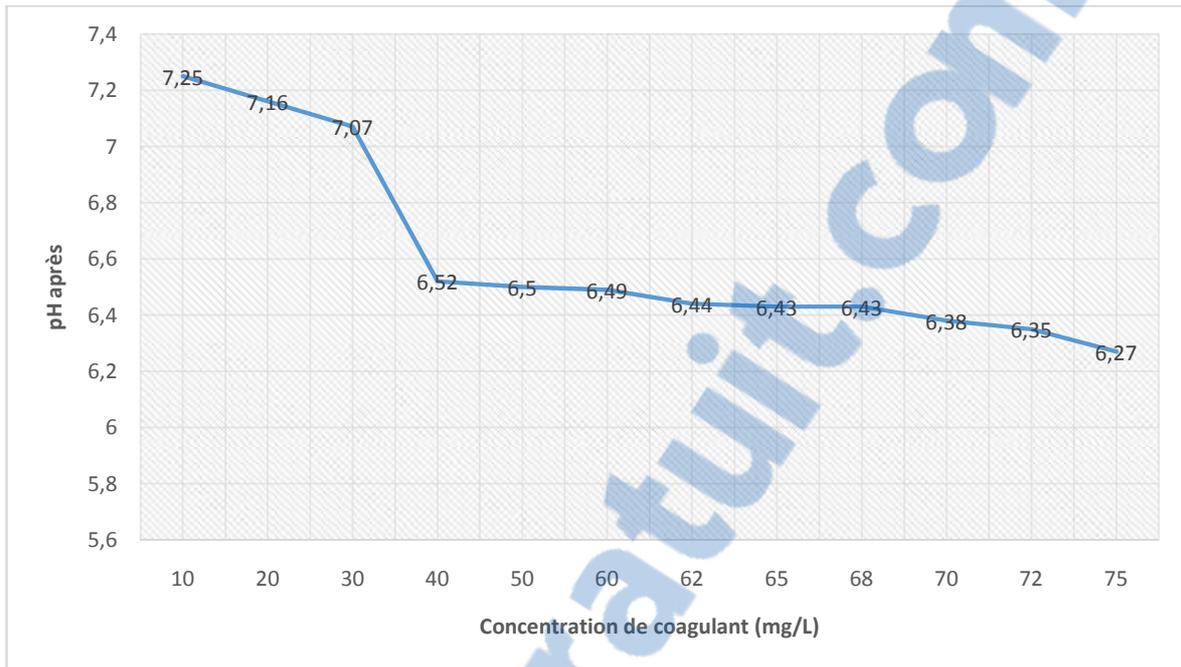


Figure V.19 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 1g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I.

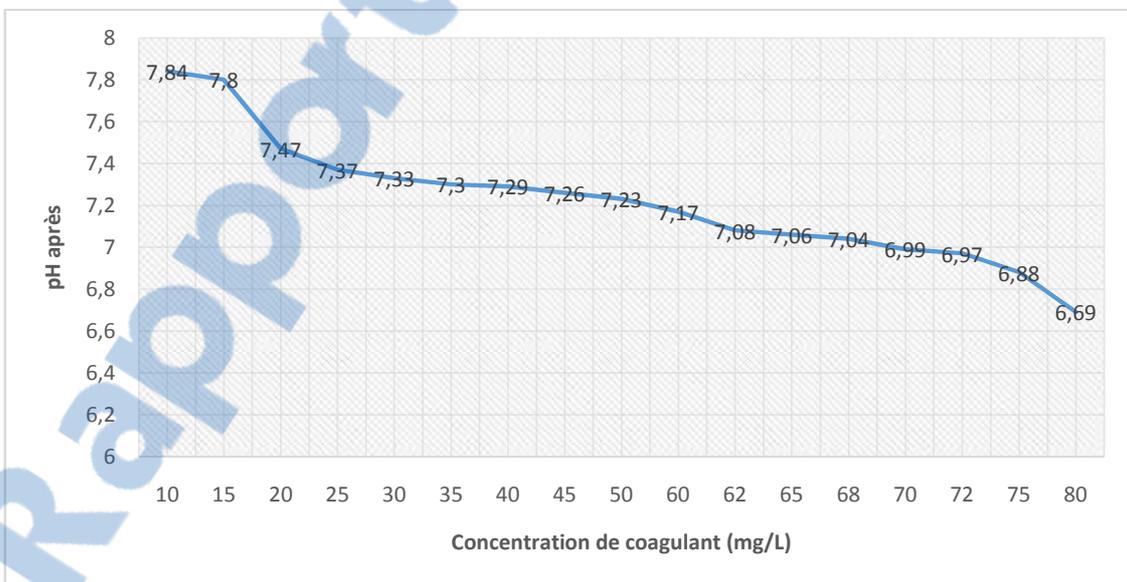


Figure V.20 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 1g/L de sel et 1g/L de B.C.I.

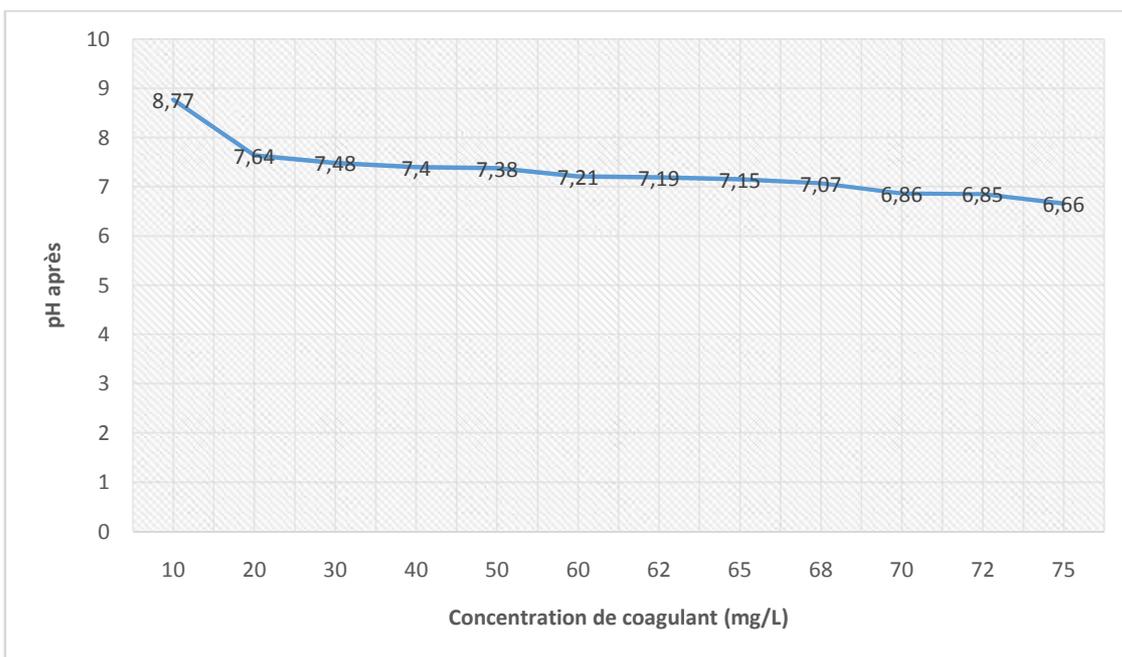


Figure V.21 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 1g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I.

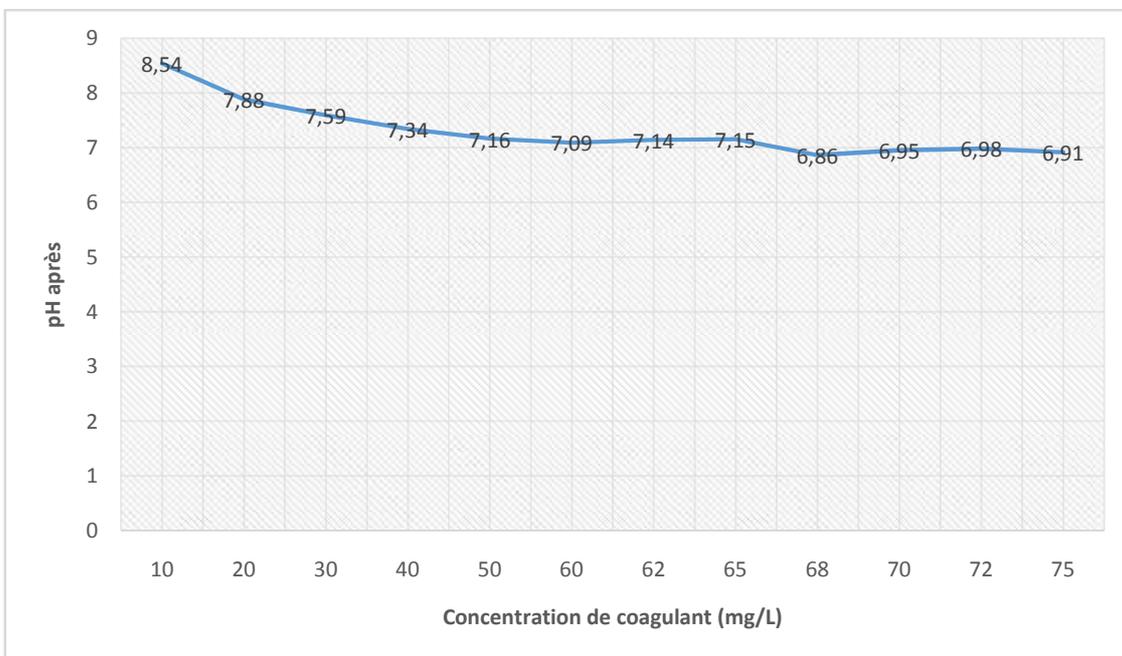


Figure V.22 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 1g/L de sel et 2g/L de B.C.I.

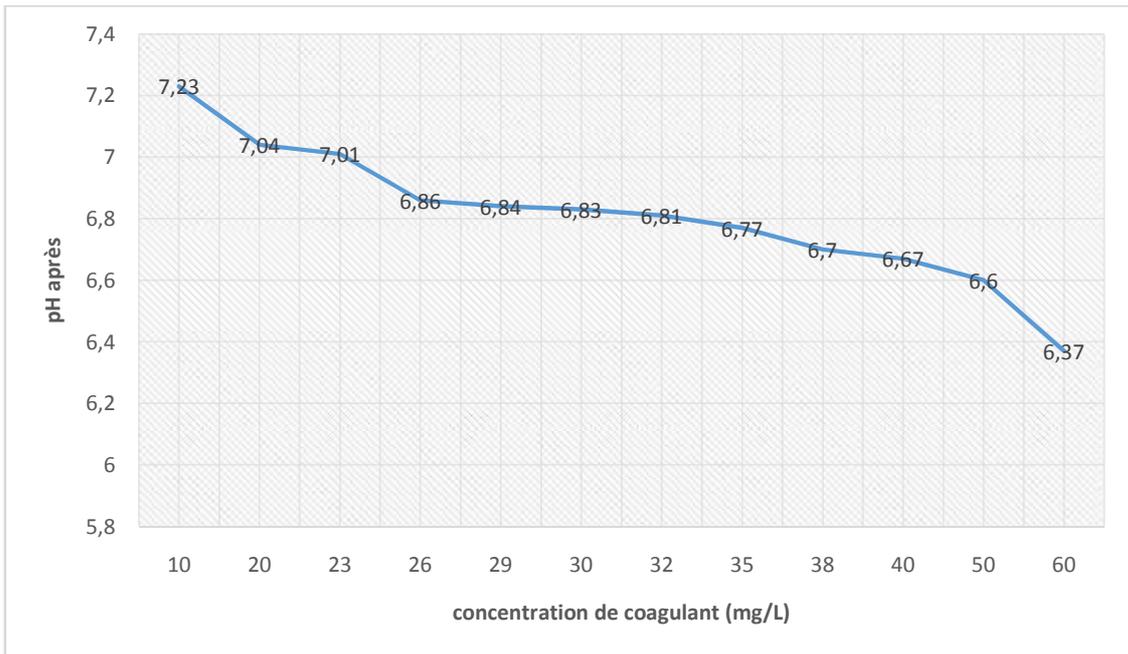


Figure V.23 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 3g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I.

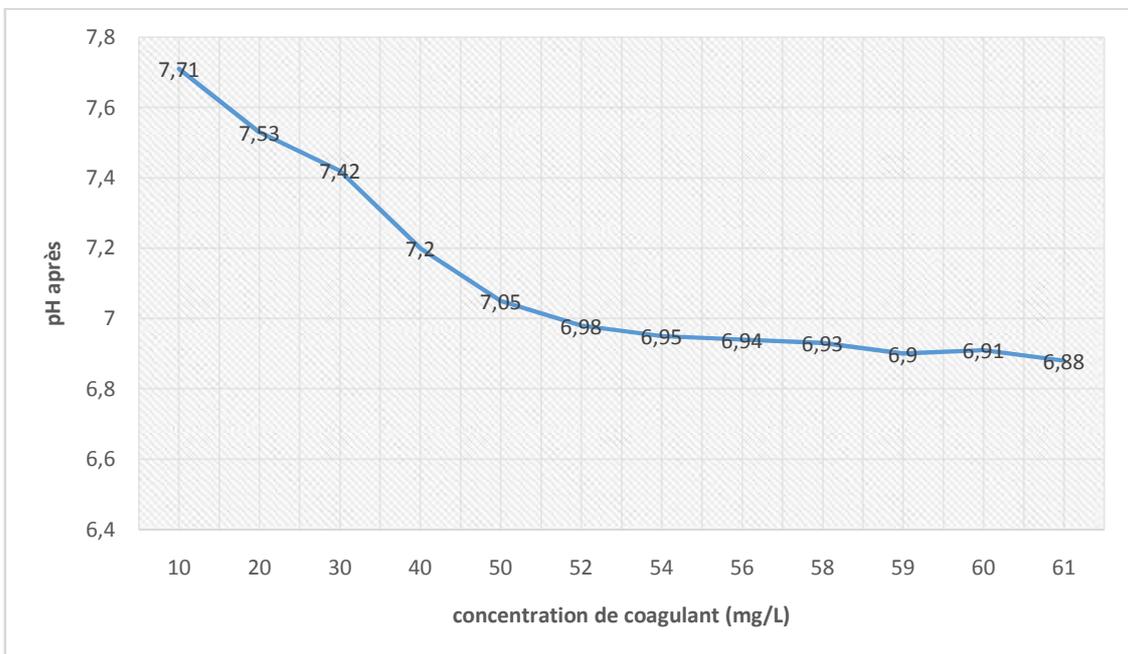


Figure V.24 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 3g/L de sel et 1g/L de B.C.I.

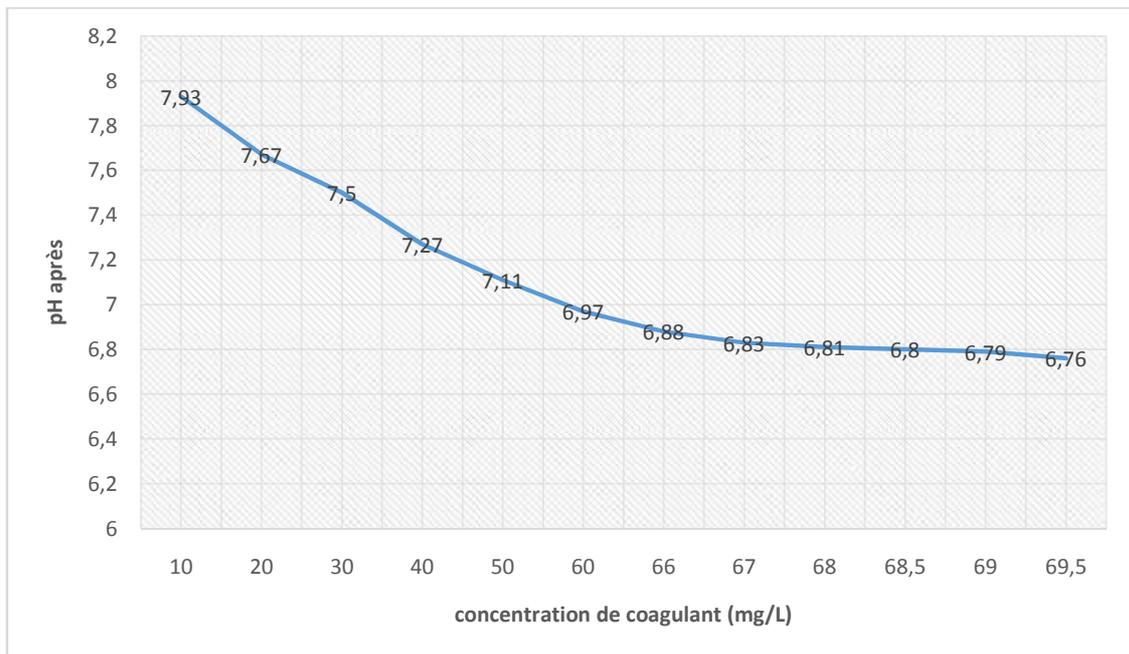


Figure V.25 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 3g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I.

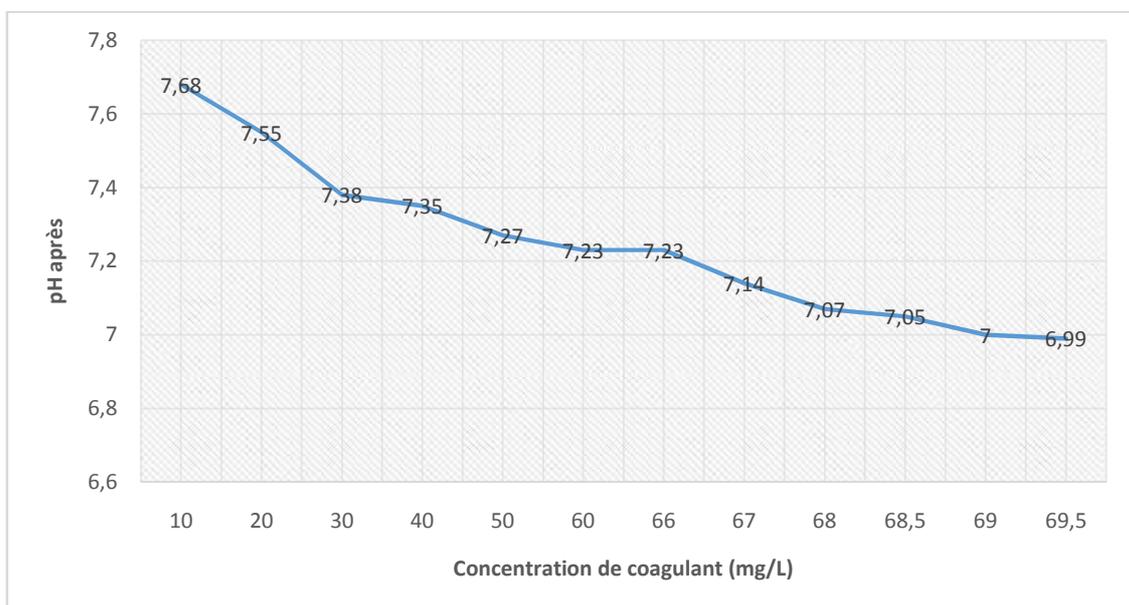


Figure V.26 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 3g/L de sel et 2g/L de B.C.I.

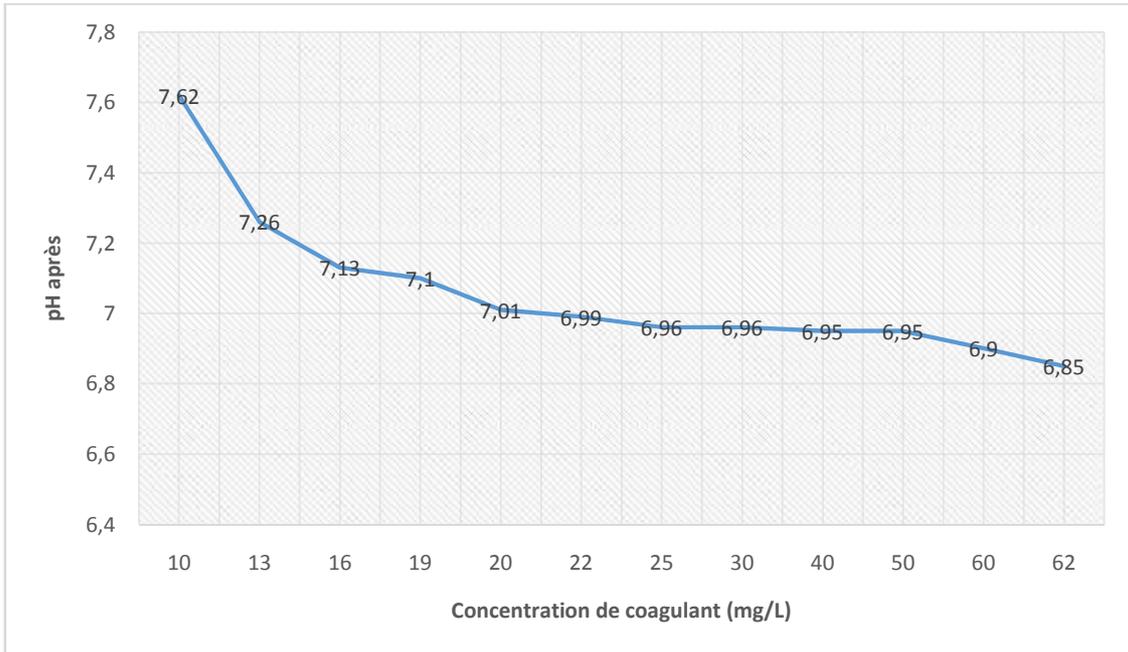


Figure V.27 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I.

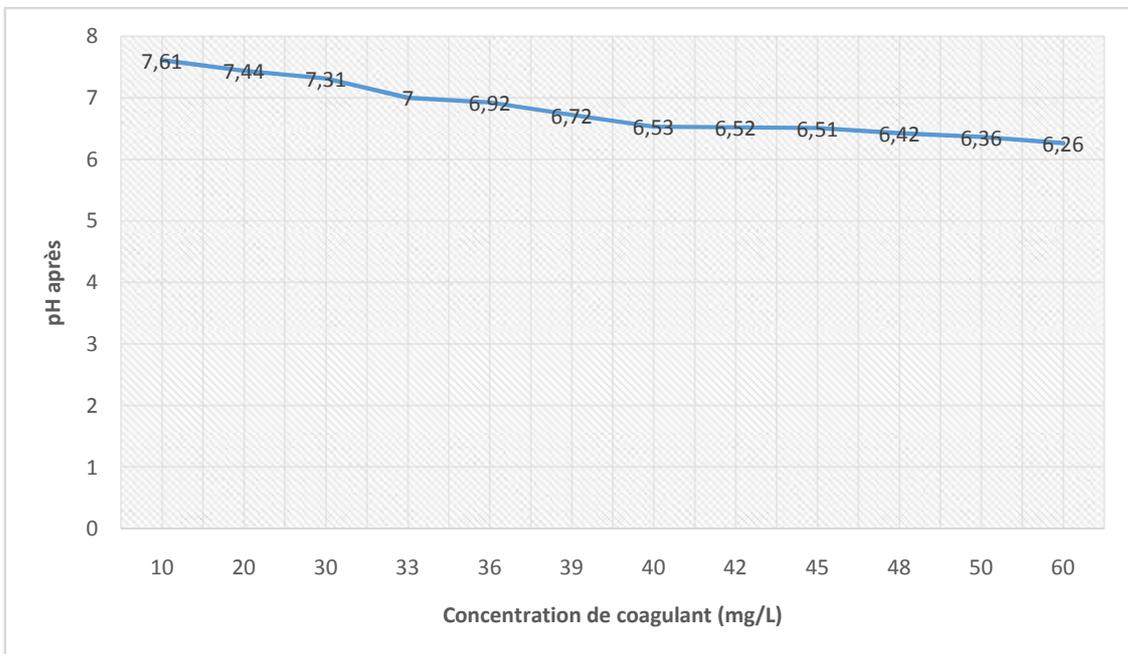


Figure V.28 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I.

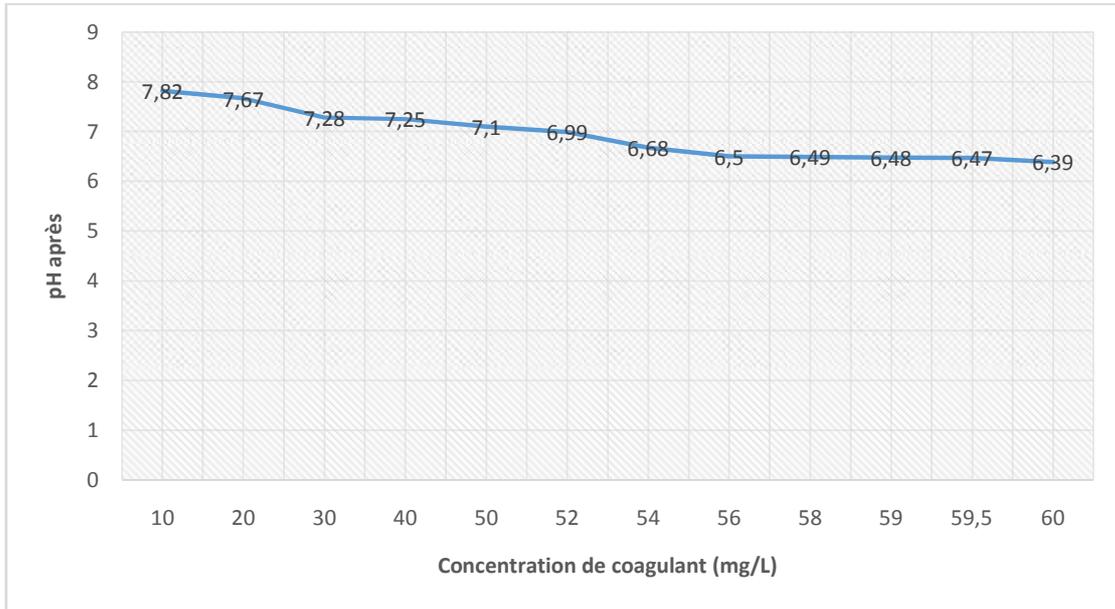


Figure V.29 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 5g/L de sel et 1.5g/L de B.C.I.

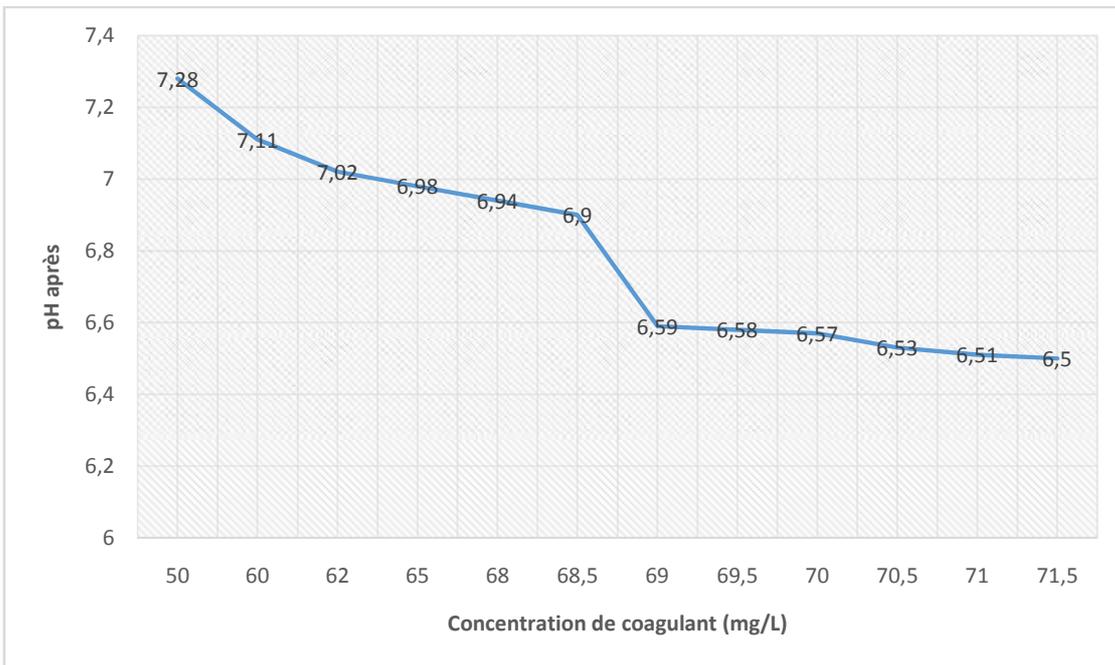


Figure V.30 : Variation du pH après coagulation en fonction des concentrations de coagulant pour une concentration de 5g/L de sel et 2g/L de B.C.I.

A partir des graphes nous observons une diminution du pH lorsque la concentration du coagulant augmente.

D'après les figures présentées ci-dessus nous remarquons que la variation du pH après coagulation en fonction des concentrations du coagulant est toujours une fonction décroissante. Cela est dû à l'effet acidifiant du produit.

Au fait l'ajout du coagulant entraîne la formation d'hydroxyde du métal avec libération d'une certaine acidité (hydrolyse) ce qui explique la diminution de la valeur du pH [42], amenant ainsi l'acidification du milieu.

C. Effet de la concentration de sel sur la conductivité.

La variation de la conductivité en fonction de la concentration de sel est illustrée dans l'histogramme suivant :

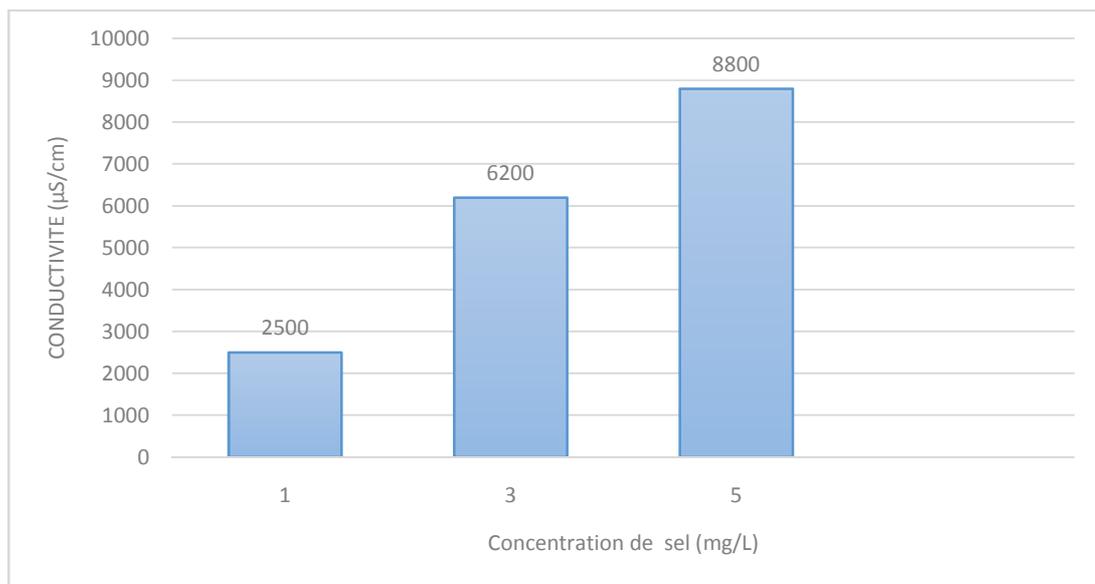


Figure V.31 : Variation de la conductivité en fonction des concentrations de sel

Nous constatons d'après la figure V.31 que la conductivité croît au moment où la concentration de sel augmente. Cette variation est une fonction croissante.

La conductivité augmente à cause de la dissociation de la molécule de NaCl en ion Na^+ et Cl^- , donc si la concentration de sel devient plus grande alors la présence de ces ions la devienne aussi.

V.2.2 Détermination de la concentration optimale de flocculant

Pour définir la concentration optimale de flocculant, nous allons injecter dans une série d'échantillon, une même dose de coagulant qui est le meilleur résultat ayant été obtenu pour une dose de :

- **1g/L de sel**

60mg/L de sulfate d'alumine pour 0.5g/L de B.C.I

65mg/L de sulfate d'alumine pour 1g/L de B.C.I

68mg/L de sulfate d'alumine pour 1.5g/L de B.C.I

70mg/L de sulfate d'alumine pour 2g/L de B.C.I

- **3g/L de sel**

32mg/L de sulfate d'alumine pour 0.5g/L de B.C.I

59mg/L de sulfate d'alumine pour 1g/L de B.C.I

66mg/L de sulfate d'alumine pour 1.5g/L de B.C.I

69mg/L de sulfate d'alumine pour 2g/L de B.C.I

- **5g/L de sel**

25mg/L de sulfate d'alumine pour 0.5g/L de B.C.I

45mg/L de sulfate d'alumine pour 1g/L de B.C.I

59mg/L de sulfate d'alumine pour 1.5g/L de B.C.I

71mg/L de sulfate d'alumine pour 2g/L de B.C.I

Tableau V.17 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (1g/L de sel, 0.5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 60mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.05 | 1.15 | 1.2 | 1.25 | <u>1.30</u> | 1.35 | 1.40 |
| Turbidité NTU | 0.83 | 3.02 | 1.67 | 1.16 | 1.36 | 0.70 | 0.61 | 0.60 | 0.42 | <u>0.29</u> | 0.55 | 0.76 |
| R (%) | 98.03 | 92.84 | 96.04 | 97.25 | 96.77 | 98.34 | 98.55 | 98.57 | 99.00 | 99.31 | 98.69 | 98.19 |
| Conductivité μ S/cm | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 17.8 | 18 | 17.9 | 17.8 | 17.8 | 18 | 17.5 | 17.2 | 17.2 | 17.2 | 17.3 | 17.4 |
| pH | 6.60 | 6.60 | 6.59 | 6.53 | 6.51 | 6.47 | 7.07 | 7.06 | 7.08 | 7.08 | 7.04 | 7.02 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 1.30mg/L de polyamide.

Tableau V.18 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (1g/L de sel, 1g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 65mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | <u>0.55</u> | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 0.70 | 2.49 | 0.77 | 0.86 | 0.67 | 0.75 | 0.43 | <u>0.32</u> | 0.77 | 0.96 | 1.63 | 0.90 |
| R (%) | 99.66 | 98.8 | 99.63 | 99.58 | 99.67 | 99.64 | 99.79 | 99.84 | 99.63 | 99.54 | 99.22 | 99.56 |
| Conductivité μ S/cm | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 18.6 | 18.6 | 18.6 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 17.9 | 17.8 | 17.8 | 17.7 | 17.6 |
| pH | 6.87 | 6.85 | 6.80 | 6.78 | 6.77 | 6.76 | 6.79 | 6.78 | 6.79 | 6.79 | 6.81 | 6.83 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.55mg/L de polyamide.

Tableau V.19 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (1g/L de sel, 1.5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 68mg/L)

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.15 | 1.2 | 1.25 | 1.30 | <u>1.35</u> | 1.40 |
| Turbidité NTU | 4.29 | 1.89 | 1.91 | 1.93 | 1.90 | 1.68 | 1.50 | 1.22 | 1.12 | <u>0.83</u> | 0.97 |
| R (%) | 98.18 | 99.19 | 99.19 | 99.18 | 99.19 | 99.28 | 99.36 | 99.48 | 99.52 | 99.64 | 99.58 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 18.5 | 18.4 | 18.4 | 18.4 | 18.4 | 17.7 | 17.6 | 17.5 | 17.3 | 17.4 | 17.4 |
| pH | 6.95 | 6.94 | 6.93 | 6.90 | 6.87 | 7.07 | 7.02 | 7.01 | 7.00 | 7.03 | 6.98 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 1.35mg/L de polyamide.

Tableau V.20 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (1g/L de sel, 2g/L de B.C.I et dose optimale du coagulant 70mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 1.30 | 1.40 | 1.45 | 1.60 | <u>1.65</u> | 1.70 |
| Turbidité NTU | 2.55 | 2.15 | 2.44 | 2.62 | 1.71 | 1.78 | 2.09 | 1.64 | 1.67 | 1.24 | <u>0.94</u> | 1.02 |
| R (%) | 99.47 | 99.55 | 99.5 | 99.46 | 99.64 | 99.63 | 99.57 | 99.66 | 99.65 | 99.74 | 99.8 | 99.79 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 17.7 | 17.6 | 17.7 | 17.6 | 17.6 | 17.7 | 18.0 | 17.9 | 17.8 | 17.8 | 17.8 | 17.8 |
| pH | 6.86 | 6.80 | 6.84 | 6.85 | 6.89 | 6.88 | 6.72 | 6.73 | 6.76 | 6.78 | 6.79 | 6.80 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 1.65mg/L de polyamide.

Tableau V.21 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (3g/L de sel, 0.5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 32mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.15 | <u>0.18</u> | 0.20 | 0.25 | 0.28 | 0.35 | 0.38 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 0.56 | <u>0.33</u> | 0.49 | 0.92 | 0.65 | 0.80 | 0.86 | 0.60 | 0.66 | 0.61 | 0.75 | 0.55 |
| R (%) | 99.35 | 99.79 | 99.43 | 98.94 | 99.25 | 99.08 | 99.01 | 99.31 | 99.24 | 99.30 | 99.13 | 99.36 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 17.6 | 17.6 | 17.6 | 17.6 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.5 | 17.6 | 17.5 | 17.6 | 17.6 |
| pH | 6.98 | 6.98 | 6.90 | 6.97 | 6.96 | 6.95 | 6.93 | 6.93 | 6.94 | 6.95 | 6.96 | 6.97 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.18mg/L de polyamide.

Tableau V.22 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (3g/L de sel, 1g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 59mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.4 | <u>0.43</u> | 0.46 | 0.49 | 0.52 | 0.55 | 0.58 | 0.60 | 0.80 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 0.43 | 0.42 | <u>0.35</u> | 0.45 | 0.81 | 0.6 | 0.74 | 0.85 | 0.45 | 0.81 | 0.94 | 0.72 |
| R (%) | 99.71 | 99.72 | 99.77 | 99.7 | 99.67 | 99.6 | 99.51 | 99.44 | 99.7 | 99.47 | 99.38 | 99.52 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 16.3 | 16.4 | 16.5 | 16.4 | 16.7 | 16.7 | 16.4 | 16.5 | 16.3 | 16.4 | 16.3 | 16.2 |
| pH | 7.04 | 7.03 | 6.59 | 6.6 | 6.63 | 6.61 | 6.63 | 6.67 | 6.93 | 6.88 | 6.86 | 6.87 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.43mg/L de polyamide.

Tableau V.23 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (3g/L de sel, 1.5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 66mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.4 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.52 | <u>0.55</u> | 0.58 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 1.31 | 1.00 | 0.96 | 0.99 | 1.04 | 1.34 | <u>0.64</u> | 1.55 | 1.42 | 1.18 | 1.50 | 1.39 |
| R (%) | 99.64 | 99.72 | 99.73 | 99.72 | 99.71 | 99.63 | 99.82 | 99.57 | 99.61 | 99.67 | 99.58 | 99.61 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 16.5 | 16.5 | 16.6 | 16.4 | 16.5 | 16.4 | 16.4 | 16.3 | 16.6 | 16.5 | 16.3 | 16.4 |
| pH | 6.68 | 6.66 | 6.54 | 6.53 | 6.55 | 6.54 | 6.56 | 6.58 | 6.69 | 6.66 | 6.64 | 6.62 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver quela concentration optimale du floculant est de 0.55mg/L de polyamide.

Tableau V.24 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (3g/L de sel, 2g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 69mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.15 | 1.20 | 1.25 | 1.30 | 1.35 | <u>1.40</u> | 1.45 |
| Turbidité NTU | 2.70 | 1.13 | 3.28 | 2.46 | 1.29 | 1.58 | 1.08 | 1.28 | 1.73 | 1.62 | <u>0.93</u> | 1.33 |
| R (%) | 99.49 | 99.78 | 99.38 | 99.54 | 99.75 | 99.70 | 99.79 | 99.76 | 99.67 | 99.69 | 99.82 | 99.75 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 16.5 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.4 | 16.7 | 16.6 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| pH | 6.87 | 6.88 | 6.90 | 6.89 | 6.87 | 6.91 | 6.87 | 6.90 | 6.89 | 6.88 | 6.89 | 6.88 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.93mg/L de polyamide.

Tableau V.25 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (5g/L de sel, 0.5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 25mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | <u>0.15</u> | 0.18 | 0.2 | 0.25 | 0.28 | 0.35 | 0.38 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | <u>0.35</u> | 0.84 | 0.62 | 0.71 | 0.95 | 0.69 | 0.64 | 0.73 | 0.7 | 0.73 | 0.77 | 1.5 |
| R (%) | 99.63 | 99.13 | 99.35 | 99.26 | 99.02 | 99.28 | 99.34 | 99.24 | 99.27 | 99.24 | 99.2 | 98.45 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 17.4 | 17.2 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.3 | 17.3 | 17.2 | 17.1 | 17.1 | 17.1 | 17.1 |
| pH | 6.78 | 6.80 | 6.88 | 6.83 | 6.86 | 6.88 | 6.9 | 6.9 | 6.89 | 6.92 | 6.93 | 6.9 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.15mg/L de polyamide.

Tableau V.26 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (5g/L de sel, 1g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 45mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.23 | <u>0.26</u> | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 0.55 | 0.61 | <u>0.39</u> | 0.96 | 0.74 | 0.83 | 1.1 | 0.51 | 0.71 | 0.49 | 0.64 | 0.75 |
| R (%) | 99.65 | 99.57 | 99.75 | 99.40 | 99.54 | 99.48 | 99.31 | 99.68 | 99.55 | 99.69 | 99.60 | 99.53 |
| Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température $^{\circ}\text{C}$ | 17.3 | 17.6 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.4 | 17.6 | 17.3 | 17.3 | 17.2 | 17.3 | 17.4 |
| pH | 6.56 | 6.62 | 6.58 | 6.62 | 6.63 | 6.61 | 6.64 | 6.58 | 6.62 | 6.63 | 6.65 | 6.66 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.26mg/L de polyamide.

Tableau V.27 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (5g/L de sel, 1.5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 59mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | <u>0.4</u> | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.52 | 0.55 | 0.58 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 1.01 | <u>0.62</u> | 1.14 | 0.95 | 1.83 | 1.07 | 1.58 | 1.11 | 0.7 | 1.02 | 1.2 | 1.1 |
| R (%) | 99.63 | 99.77 | 99.58 | 99.65 | 99.32 | 99.60 | 99.42 | 99.59 | 99.74 | 99.63 | 99.56 | 99.59 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 17.5 | 17.5 | 17.6 | 17.6 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.4 | 17.6 | 17.5 | 17.6 | 17.6 |
| pH | 6.83 | 6.84 | 6.72 | 6.7 | 6.69 | 6.67 | 6.72 | 6.74 | 6.86 | 6.84 | 6.85 | 6.86 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.40mg/L de polyamide.

Tableau V.28 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide (5g/L de sel, 5g/L de B.C.I et concentration optimale du coagulant 71mg/L)

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentration du floculant mg/L | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.85 | <u>0.90</u> | 0.95 | 1 | 1.1 | 1.15 | 1.18 | 1.2 |
| Turbidité NTU | 1.46 | 1.22 | 1.12 | 0.92 | 1.55 | <u>0.52</u> | 1.55 | 0.65 | 1.30 | 1.21 | 1.47 | 1.68 |
| R (%) | 99.72 | 99.76 | 99.78 | 99.82 | 99.70 | 99.90 | 99.70 | 99.87 | 99.75 | 99.76 | 99.72 | 99.68 |
| Conductivité $\mu\text{S/cm}$ | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| Température °C | 17.7 | 17.7 | 17.6 | 17.5 | 17.8 | 17.7 | 17.5 | 17.7 | 17.5 | 17.6 | 17.7 | 17.6 |
| pH | 7.09 | 7.02 | 7.01 | 7.00 | 6.88 | 6.85 | 6.83 | 6.98 | 6.82 | 6.8 | 6.79 | 6.97 |

Après injection des doses croissantes de floculant nous avons pu trouver que la concentration optimale du floculant est de 0.90mg/L de polyamide.

V.2.2.1 Effet de la concentration du Floculant sur la turbidité

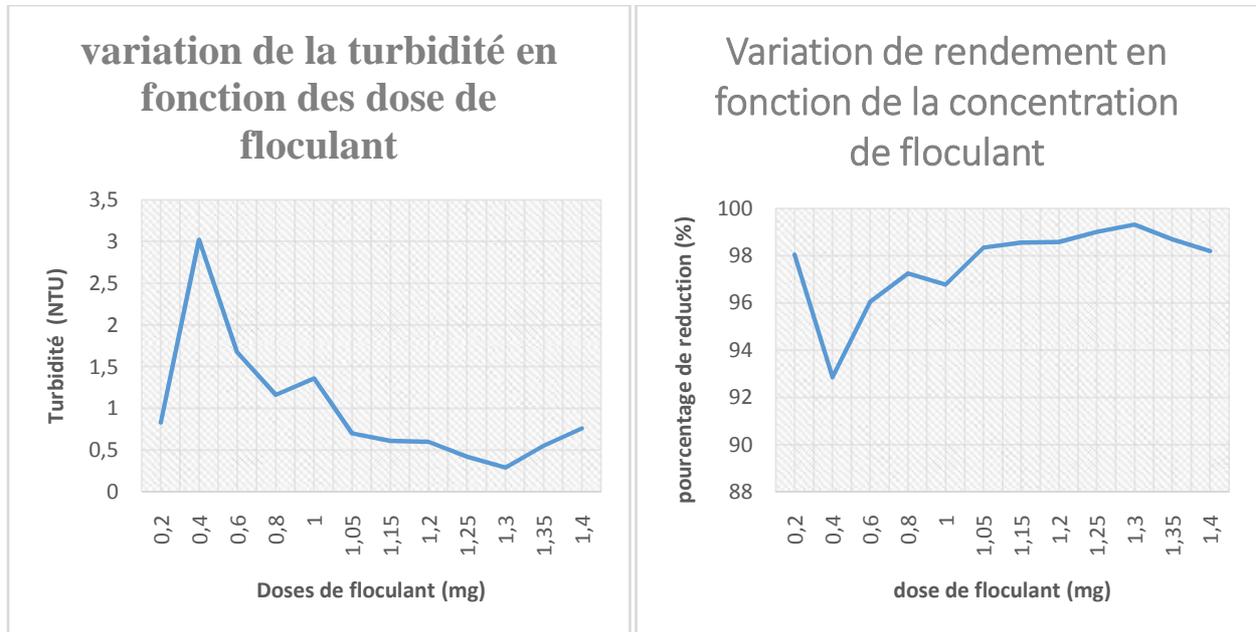


Figure V.32 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (1g/L de sel, 0,5g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 60mg/L)

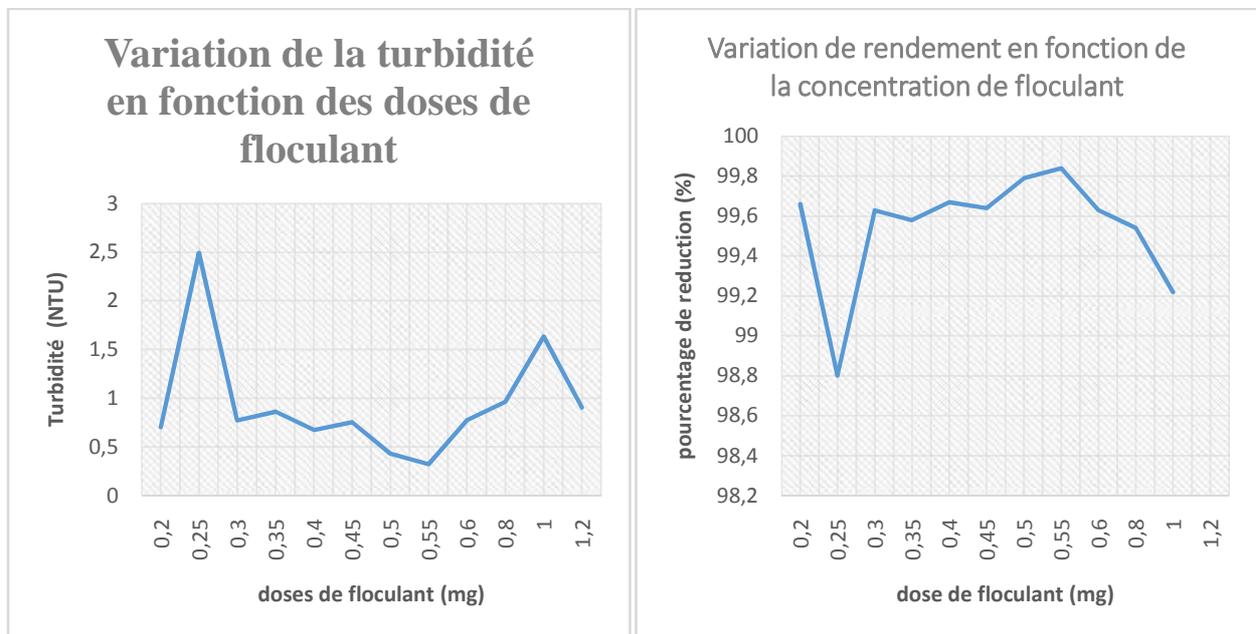


Figure V.33 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (1g/L de sel, 1g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 65mg/L)

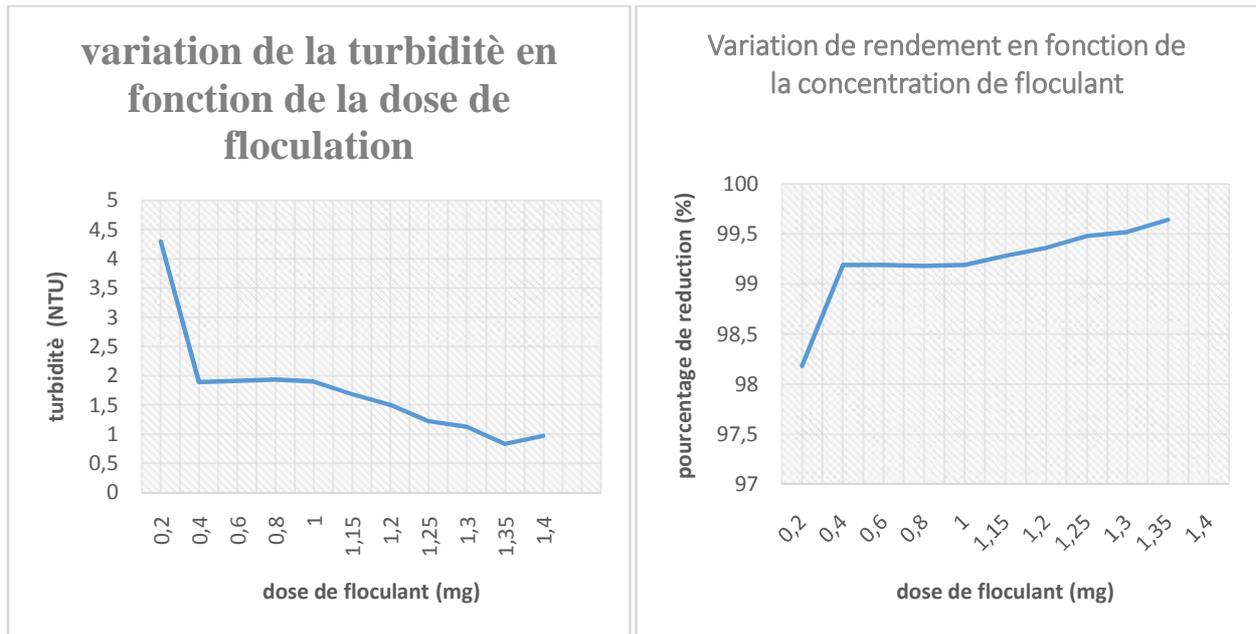


Figure V.34 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide et le rendement (1g/L de sel, 1.5g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 68mg/L)

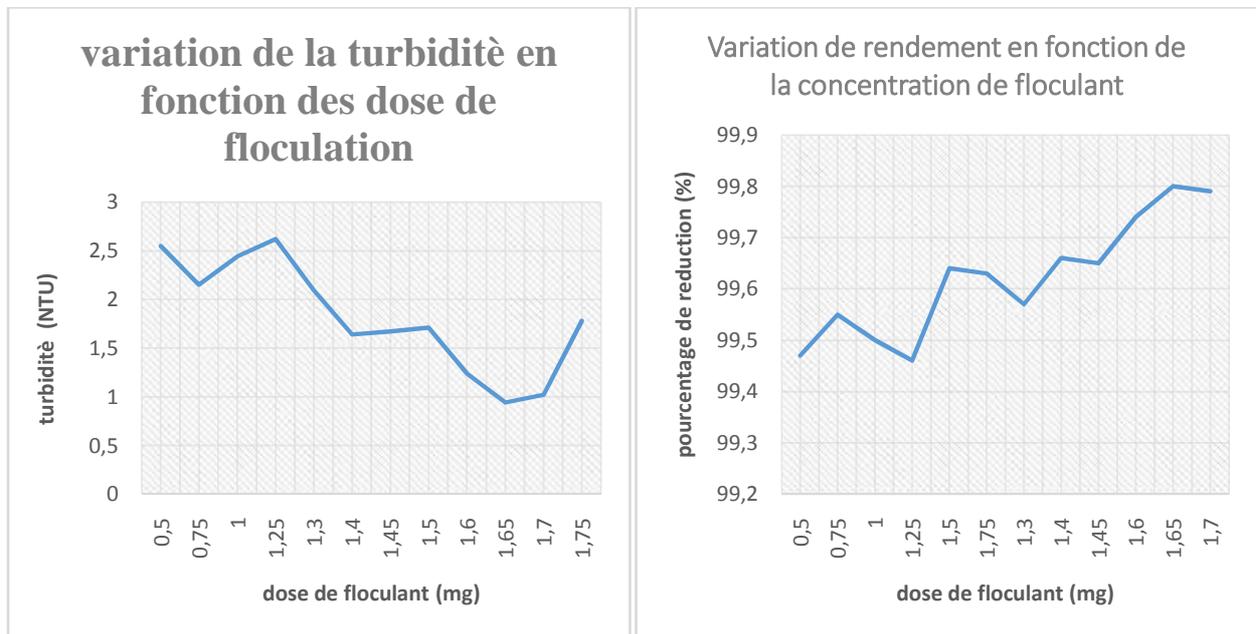


Figure V.35 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide et le rendement (1g/L de sel, 2g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 67mg/L)

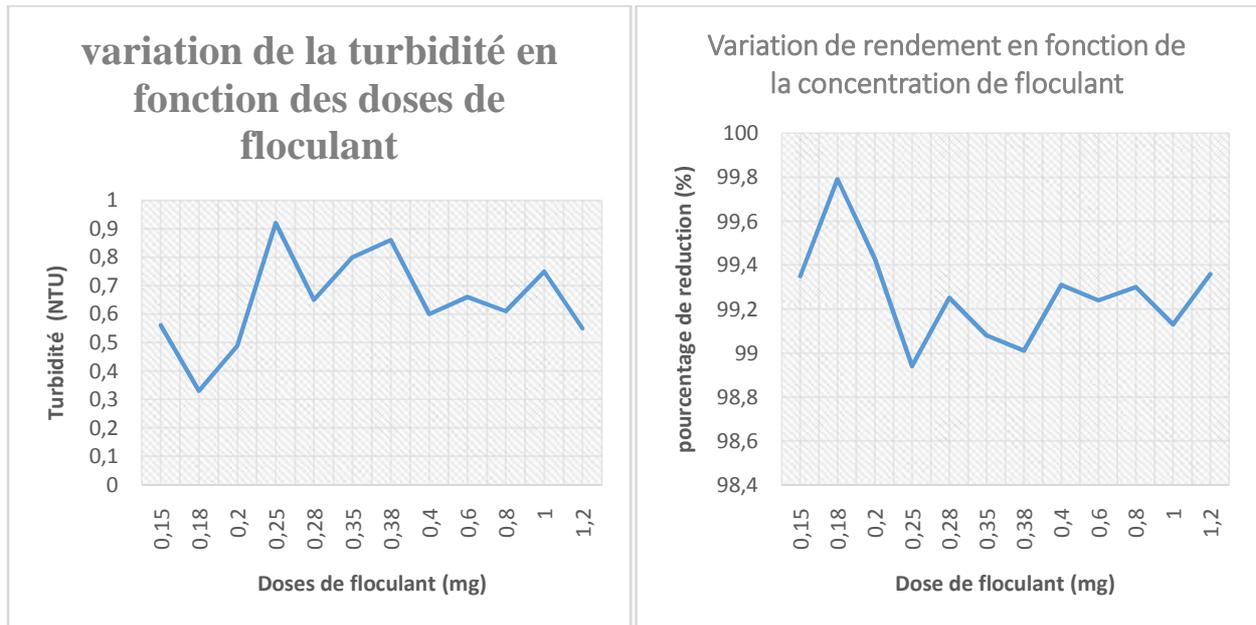


Figure V.36 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (3g/L de sel, 0.5g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 32mg/L)

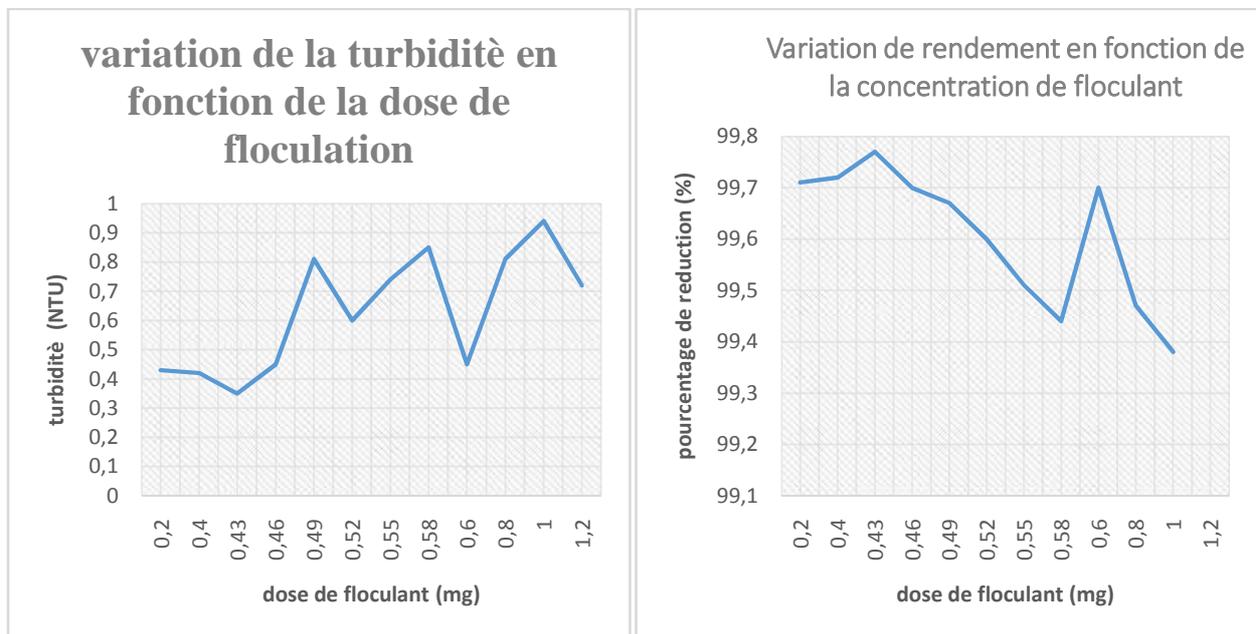


Figure V.37 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (3g/L de sel, 1g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 59mg/L)

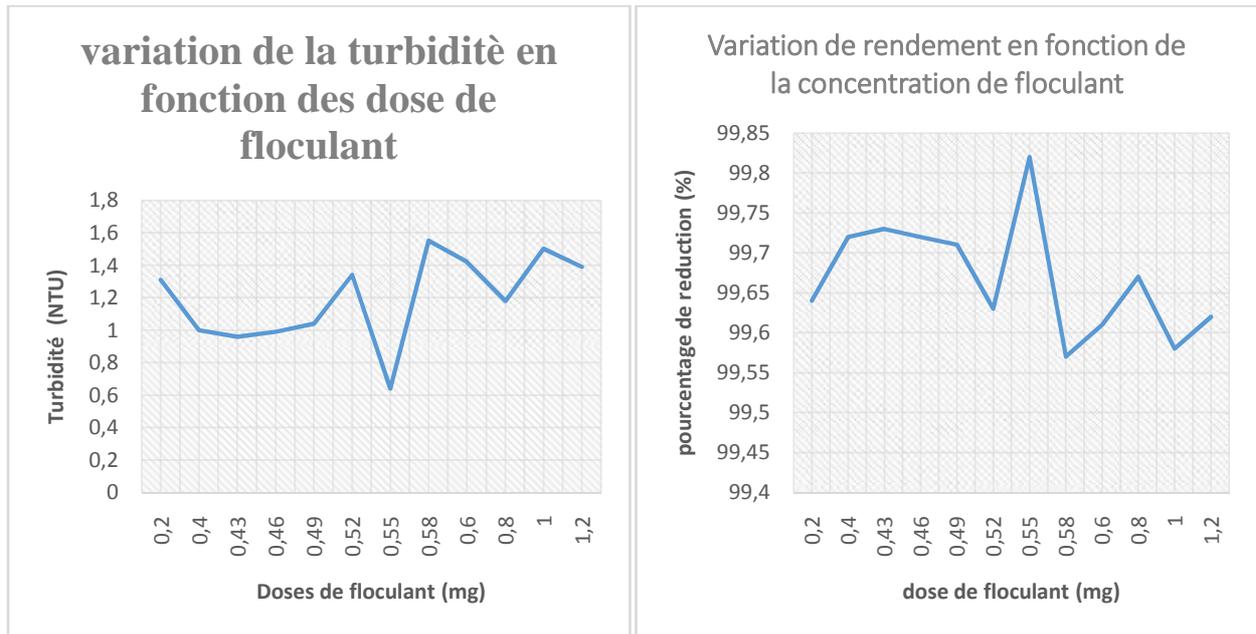


Figure V.38 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (3g/L de sel, 1.5g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 66mg/L)

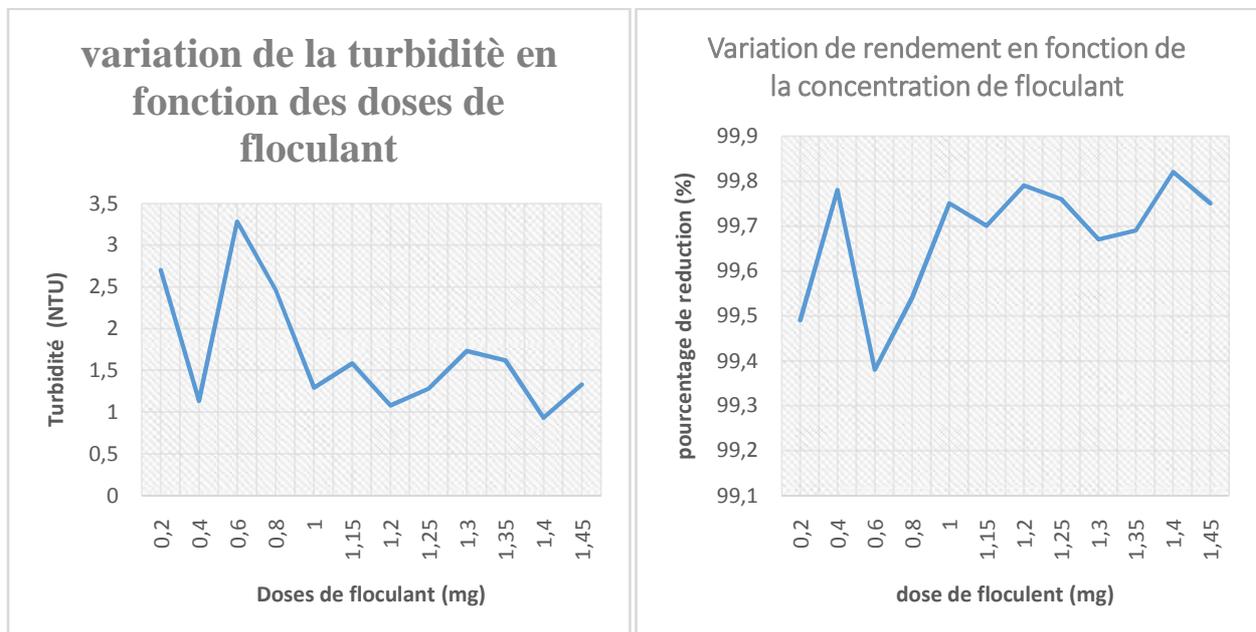


Figure V.39 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide et le rendement (3g/L de sel, 2g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 69mg/L)

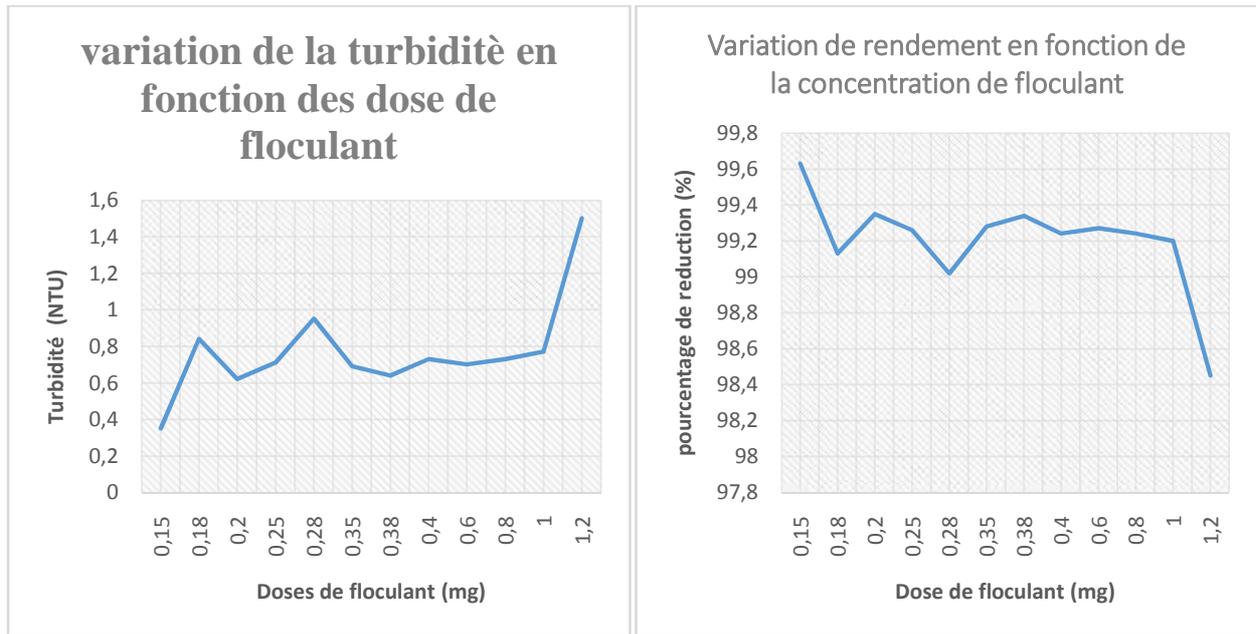


Figure V.40 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (5g/L de sel, 0.5g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 25mg/L)

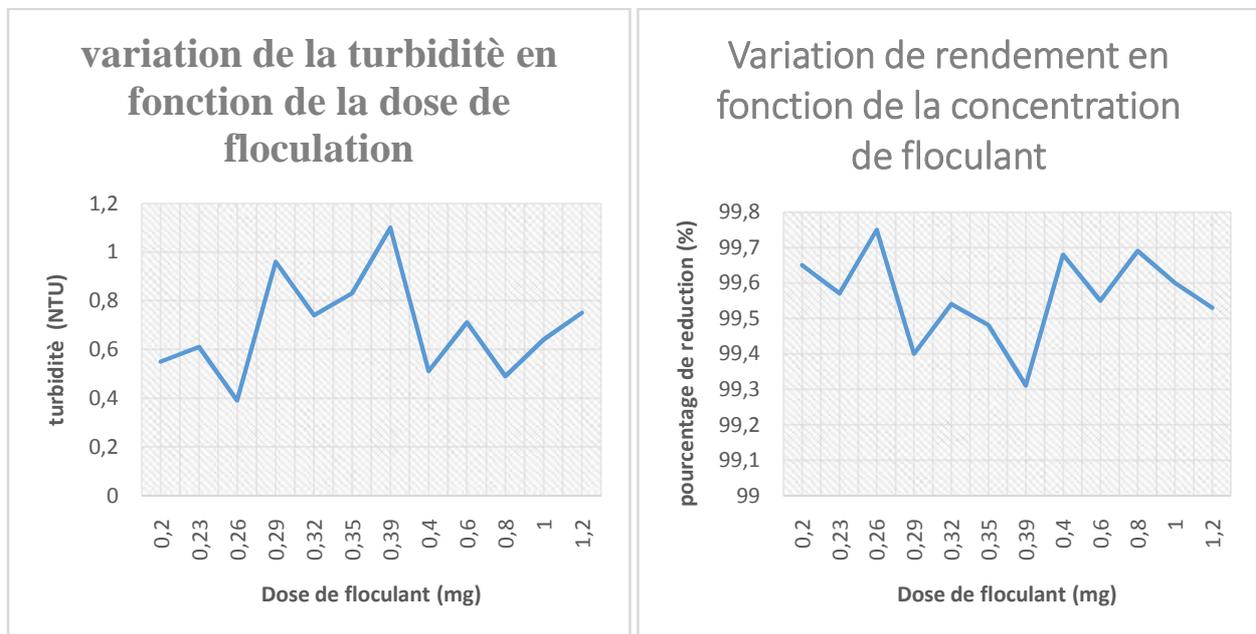


Figure V.41 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbide et le rendement (5g/L de sel, 1g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 45mg/L)

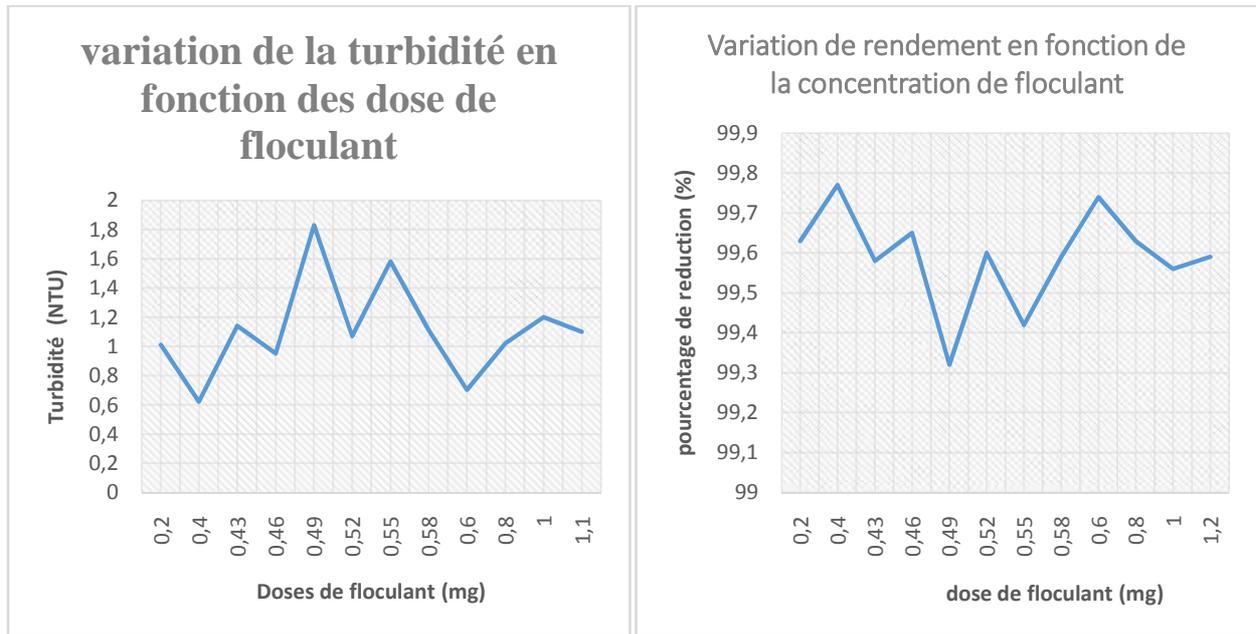


Figure V.42 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (5g/L de sel, 1.5g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 59mg/L)

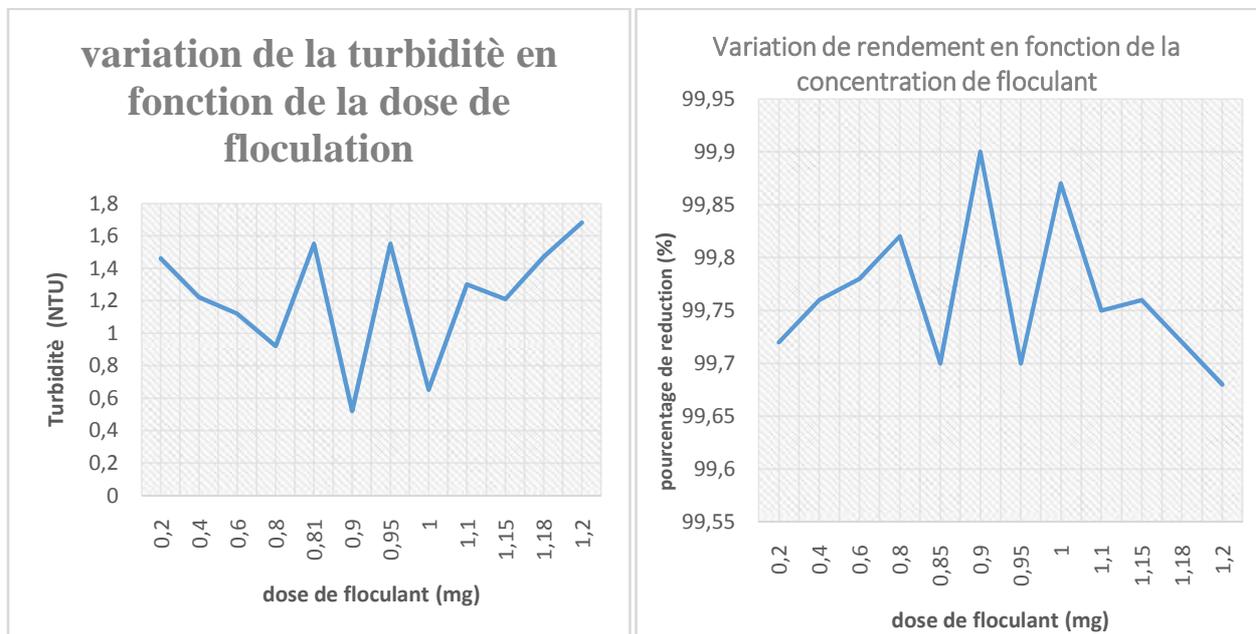


Figure V.43 : L'influence de la concentration de polymère sur la coagulation floculation d'une eau salée turbideet le rendement (5g/L de sel, 2g/L de B.C.I et concentration optimale coagulant 71mg/L)

Avec l'utilisation du floculant nous assistons à une amélioration du rendement d'élimination de la turbidité pour les différentes solutions de l'eau. L'ajout du floculant a permis l'augmentation du pourcentage de réduction de la turbidité où les valeurs de la turbidité maximale diminuent et l'eau devient plus limpide. Les floes formés sont plus volumineux et la décantation se fait rapidement qu'avec l'utilisation du sulfate d'alumine seul.

✓ Pour 1g/L de sel et :

- 0.5g/L de B.C.I : Nous constatons que l'ajout de 1.30mg/L de polymère permet la diminution de la turbidité de 0.29 NTU avec un rendement de 99.31%. Au-delà de cette concentration de floculant une désorption se produit.
- 1g/L de B.C.I : Nous avons une turbidité de 0.32 NTU avec l'addition de 0.55mg/L de floculant et le pourcentage de réduction atteint 99.84%.
- 1.5g/L de B.C.I : Le bon rendement est de 99.64% et la turbidité s'abaisse jusqu'à 0.83 NTU suite à l'ajout de 1.35 mg/L de polymère.
- 2g/L de B.C.I : l'adjonction de 1.65mg/L de floculant diminue la turbidité de 0.94 NTU avec un rendement de 99.8%.

✓ Pour 3g/L de sel et :

- 0.5g/L de B.C.I : Nous assistons à une réduction de la turbidité de 0.33 NTU avec l'addition de 0.18mg/L de polymère et le rendement arrive jusqu'à 99.79%.
- 1g/L de B.C.I : L'ajout de 0.43mg/L de floculant permet la diminution de la turbidité de 0.35 NTU et celle-ci aura un pourcentage de réduction de 99.77%.
- 1.5g/L de B.C.I : la turbidité est allégée de 0.64 NTU lorsque 0.55mg/L de polymère y est additionné et le rendement est de 99.82%.
- 2g/L de B.C.I : Le meilleur pourcentage de réduction atteint 99.82% et la turbidité décroît jusqu'à 0.93 NTU après l'ajout de 1.40mg/L de floculant.

✓ Pour 5g/L de sel et :

- 0.5g/L de B.C.I : La turbidité est de 0.35 NTU après l'addition de 0.15mg/L de polymère et le rendement est de 99.63%.
- 1g/L de B.C.I : Nous remarquons que suite à l'ajout de 0.26mg/L de polymère la turbidité diminue jusqu'à 0.39 NTU correspondant à un rendement de 99.75%.
- 1.5mg/L de B.C.I : Le pourcentage de réduction atteint 99.77% grâce à l'addition de 0.4mg/L de floculant et la turbidité est de 0.62 NTU

- 2g/L de B.C.I : L'ajout de 0.90 mg/L de polymère induit à un abaissement de la turbidité de 0.52 NTU avec un rendement de 99.90%.

V.2.3 L'influence de la durée et de la vitesse d'agitation

V.2.3.1 L'influence de la durée et la vitesse d'agitation pendant la coagulation

A. L'influence de la durée d'agitation pendant la coagulation

Tableau V.29 : Diminution de la turbidité pour différentes durées pendant la coagulation (pour 1g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Temps d'agitation lente = 20 min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente = 30tr/min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation rapide (pour la coagulation) 200(tr/min) | Temps d'agitation rapide (pour la coagulation) min | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|--|--|--|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 2 | 209 | 0.53 | 99.74 |
| | | | 3 | 209 | 9.14 | 95.62 |
| | | | 5 | 209 | 21.82 | 89.56 |

Tableau V.30 : Diminution de la turbidité pour différentes durées pendant la coagulation (pour 3g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Temps d'agitation lente = 20 min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente = 30tr/min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) (pour la coagulation) 200 | Temps d'agitation rapide (pour la coagulation) Min | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|--|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 2 | 153 | 0.71 | 99.53 |
| | | | 3 | 153 | 8.34 | 94.54 |
| | | | 5 | 153 | 13.68 | 91.05 |

**Tableau V.31 : Diminution de la turbidité pour différentes durées pendant la coagulation
(pour 5g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).**

| Temps d'agitation lente = 20 min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente = 30tr/min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) (pour la coagulation) 200 | Temps d'agitation rapide (pour la coagulation) Min | Turbidité (NTU) | | R (%) |
|--|--|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 2 | 161 | 0.65 | 99.59 |
| | | | 3 | 161 | 6.29 | 93.09 |
| | | | 5 | 161 | 11.41 | 92.91 |

B. L'influence de la vitesse d'agitation durant la coagulation

**Tableau V.32 : Diminution de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation
(pour 1g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).**

| Temps d'agitation lente = 20 min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente = 30tr/min (pour la floculation) | Temps d'agitation rapide = 2min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) (pour la coagulation) Cc = 65 | Turbidité (NTU) | | R (%) |
|--|--|---|---|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 120 | 209 | 8,72 | 95.8 |
| | | | 150 | 209 | 4,17 | 98.0 |
| | | | 200 | 209 | 0.53 | 99.74 |

**Tableau V.33 : Diminution de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation
(pour 3g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).**

| Temps d'agitation lente = 20 min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente = 30tr/min (pour la floculation) | Temps d'agitation rapide = 2min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) (pour la coagulation) Cc = 59 | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|--|---|---|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 120 | 153 | 9.23 | 93.96 |
| | | | 150 | 153 | 3.17 | 97.93 |
| | | | 200 | 153 | 0.71 | 99.53 |

Tableau V.34 : Diminution de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation (pour 5g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Temps d'agitation lente = 20 min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente = 30tr/min (pour la floculation) | Temps d'agitation rapide = 2min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) (pour la coagulation) Cc = 45 | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|--|---|---|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 120 | 161 | 7.26 | 95.49 |
| | | | 150 | 161 | 3.12 | 98.06 |
| | | | 200 | 161 | 0.65 | 99.59 |

C. L'effet de la durée et de la vitesse d'agitation sur la turbidité pendant la coagulation

Nous allons construire des courbes concernant la turbidité en fonction de la durée d'agitation et la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation pour avoir une aperçue sur l'évolution de celle-ci par rapport à ces deux données.

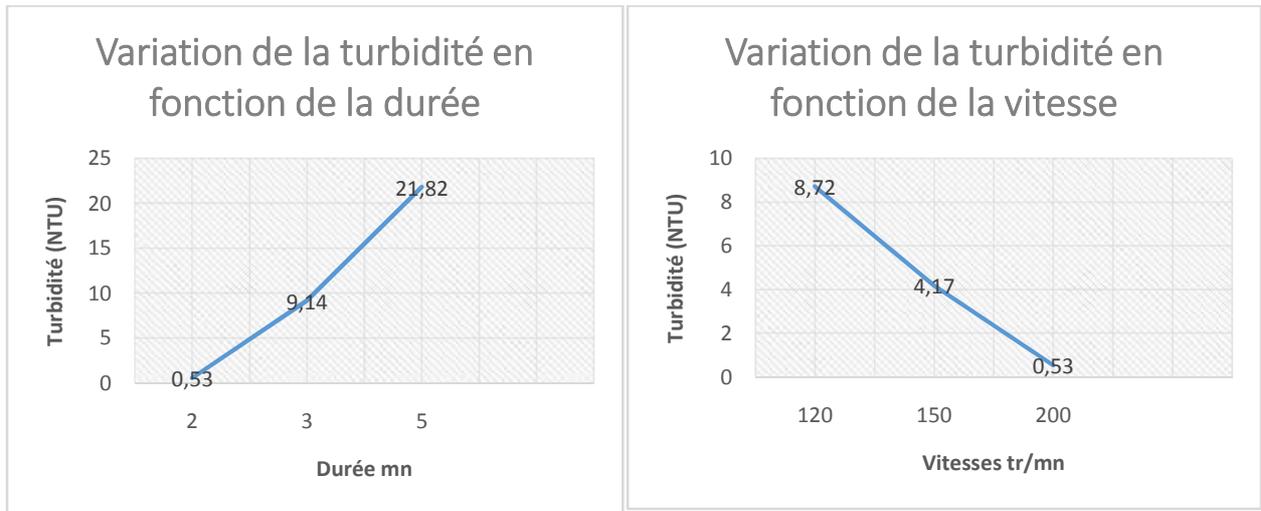


Figure V.44 : la variation de la turbidité en fonction de la durée et de la vitesse (1g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

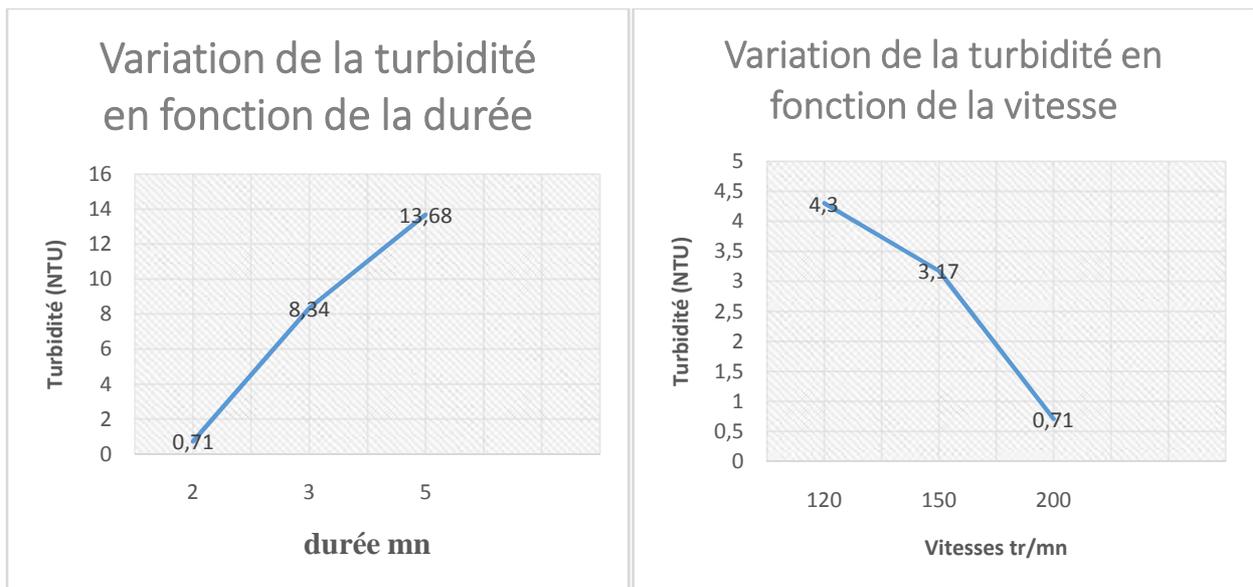


Figure V.45 : la variation de la turbidité en fonction de la durée et de la vitesse (3g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

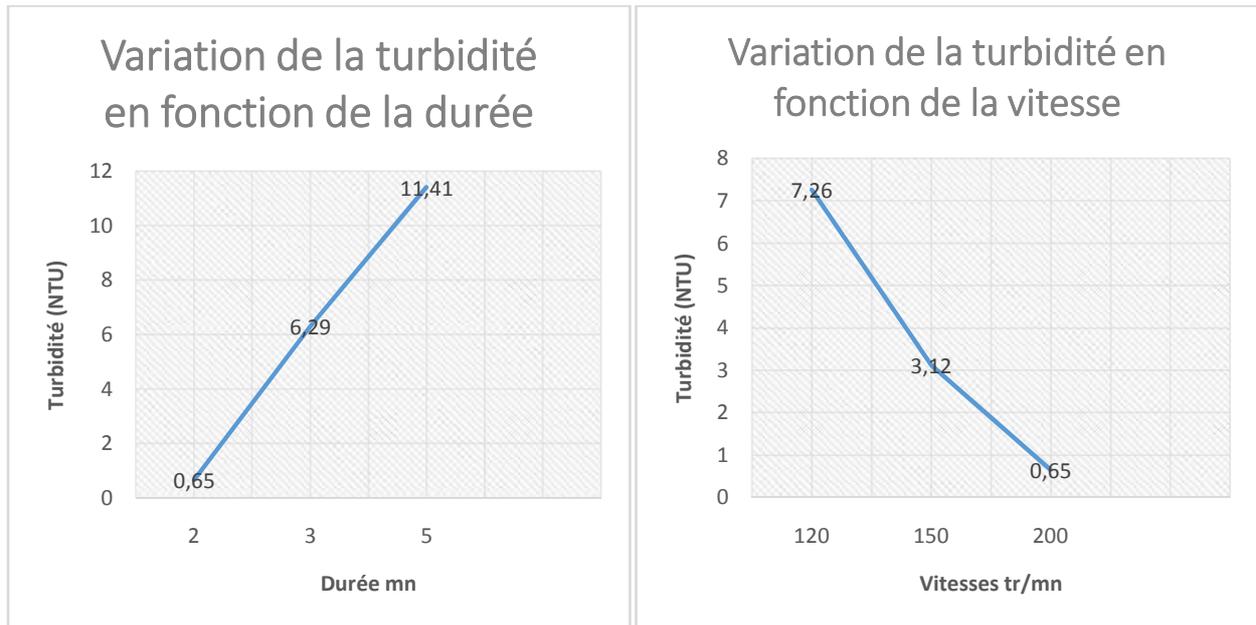


Figure V.46 : la variation de la turbidité en fonction de la durée et de la vitesse

(5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

Nous distinguons, d'après ces figures ci-dessus, la variation de la vitesse en fonction de la durée d'agitation rapide. La turbidité minimale étant 0,53 NTU, 0,71 NTU, 0,65 NTU pour 1g/L de sel et 1g/L de B.C.I, pour 3g/L de sel et 1g/L de B.C.I et pour 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I respectivement.

Le meilleur temps d'agitation rapide correspondant à la plus faible turbidité est de 2 minutes.

Le processus de coagulation est très rapide, et il nécessite un temps très court pour la déstabilisation des colloïdes, en maintenant une agitation intense de 200 tr/min et un temps de coagulation de 2 minutes le meilleur pourcentage de réduction est de 99,74%, 99,53%, 99,59% pour 1g/L de sel et 1g/L de B.C.I, pour 3g/L de sel et 1g/L de B.C.I et pour 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I

V.2.3.2 L'influence de la durée et la vitesse d'agitation pendant la floculation

A. L'influence de la durée d'agitation pendant la floculation

Tableau V.35 : Diminution de la turbidité pour différentes durées pendant la floculation

(1g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Vitesse d'agitation lente= 30tr/ min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la coagulation) | Temps d'agitation lente (min) (pour la floculation) | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|---|---|-----------------|-------|-------|
| | | | Avant | Après | |
| | | 15 | 209 | 0.32 | 99.84 |
| | | 30 | 209 | 0.34 | 99.83 |
| | | 40 | 209 | 0.35 | 99.83 |
| | | 50 | 209 | 0.35 | 99.83 |

Tableau V.36 : Diminution de la turbidité pour différentes durées pendant la floculation

(3g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Vitesse d'agitation lente= 30tr/ min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la coagulation) | temps d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | Avant | Après | |
| | | 15 | 153 | 0.35 | 99.77 |
| | | 30 | 153 | 0.38 | 99.75 |
| | | 40 | 153 | 0.39 | 99.74 |
| | | 50 | 153 | 0.4 | 99.73 |

Tableau V.37 : Réduction de la turbidité pour différentes durées pendant la floculation

(5g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Vitesse d'agitation lente= 30 tr/min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la coagulation) | Temps d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | Avant | Après | |
| | | 15 | 161 | 0.39 | 99.75 |
| | | 30 | 161 | 0.41 | 99.74 |
| | | 40 | 161 | 0.42 | 99.73 |
| | | 50 | 161 | 0.42 | 99.73 |

B. L'influence de la vitesse d'agitation pendant la floculation

Tableau V.38 : Réduction de la turbidité pour différentes vitesses pendant la floculation (1g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Temps d'agitation rapide = 2min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide = 200tr/min (pour la coagulation) | Temps d'agitation lente = 15min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Turbidité (NTU) | | R (%) |
|---|--|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 30 | 209 | 0,32 | 99.84 |
| | | | 45 | 209 | 0.58 | 99.72 |
| | | | 60 | 209 | 1.21 | 99.42 |

Tableau V.39 : Réduction de la turbidité pour différentes vitesses pendant la floculation (3g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Temps d'agitation rapide = 2 min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour coagulation) | Temps d'agitation lente = 15min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Turbidité (NTU) | | R (%) |
|--|--|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 30 | 153 | 0.35 | 99.77 |
| | | | 45 | 153 | 0.64 | 99.58 |
| | | | 60 | 153 | 1.38 | 99.09 |

Tableau V.40 : Réduction de la turbidité pour différentes vitesses pendant la floculation (5g/L de sel +1 g/L de la B.C.I).

| Temps d'agitation rapide = 2 min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la coagulation) | Temps d'agitation lente = 15min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Turbidité (NTU) | | R(%) |
|--|---|---|--|-----------------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | |
| | | | 30 | 161 | 0.39 | 99.75 |
| | | | 45 | 161 | 0.71 | 99.55 |
| | | | 60 | 161 | 1.53 | 99.04 |

C. L'effet de la durée et de la vitesse d'agitation lente pendant la floculation

Nous allons tracer des courbes représentant la turbidité en fonction de la durée d'agitation et la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation pour voir l'amélioration de celle-ci afin de remarquer nettement le temps et la vitesse d'agitation le plus fiable pour avoir une bonne floculation.

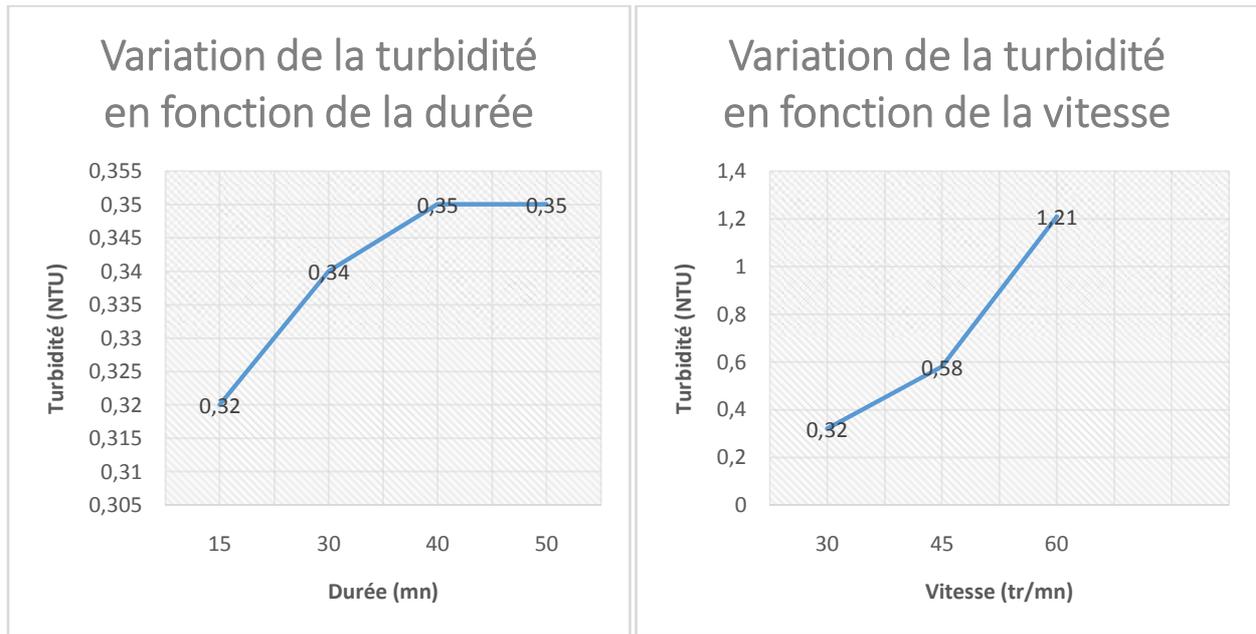


Figure V.47 : la variation de la turbidité en fonction de la durée et de la vitesse d'agitation (1g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

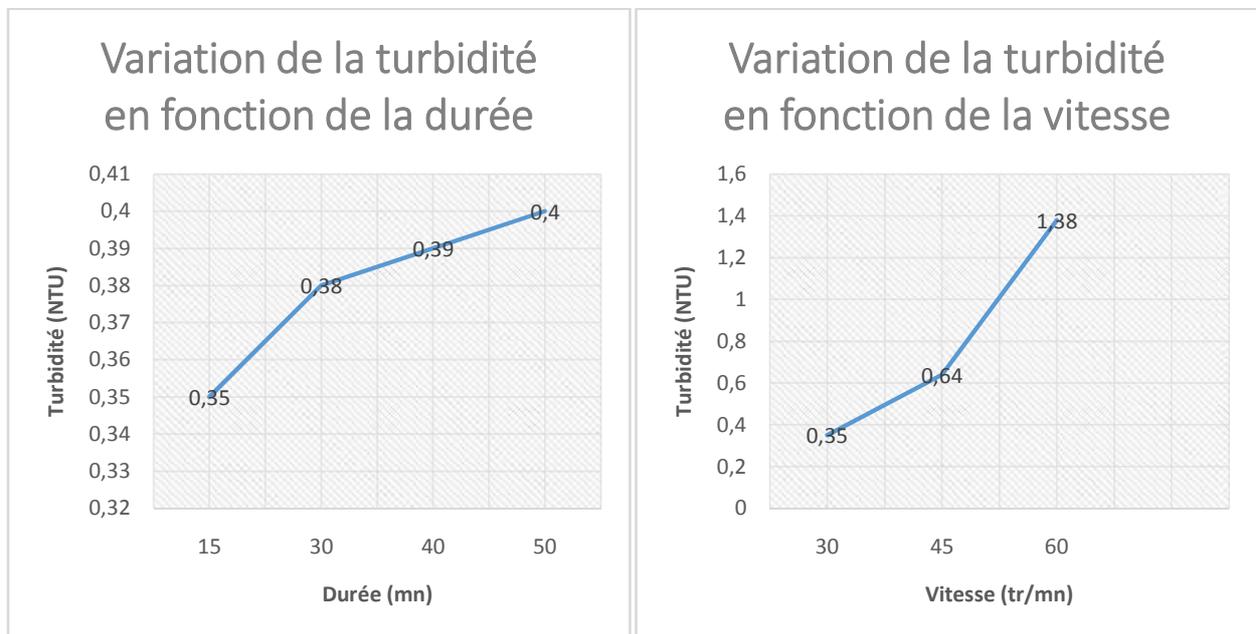


Figure V.48 : la variation de la turbidité en fonction de la durée et de la vitesse d'agitation (3g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

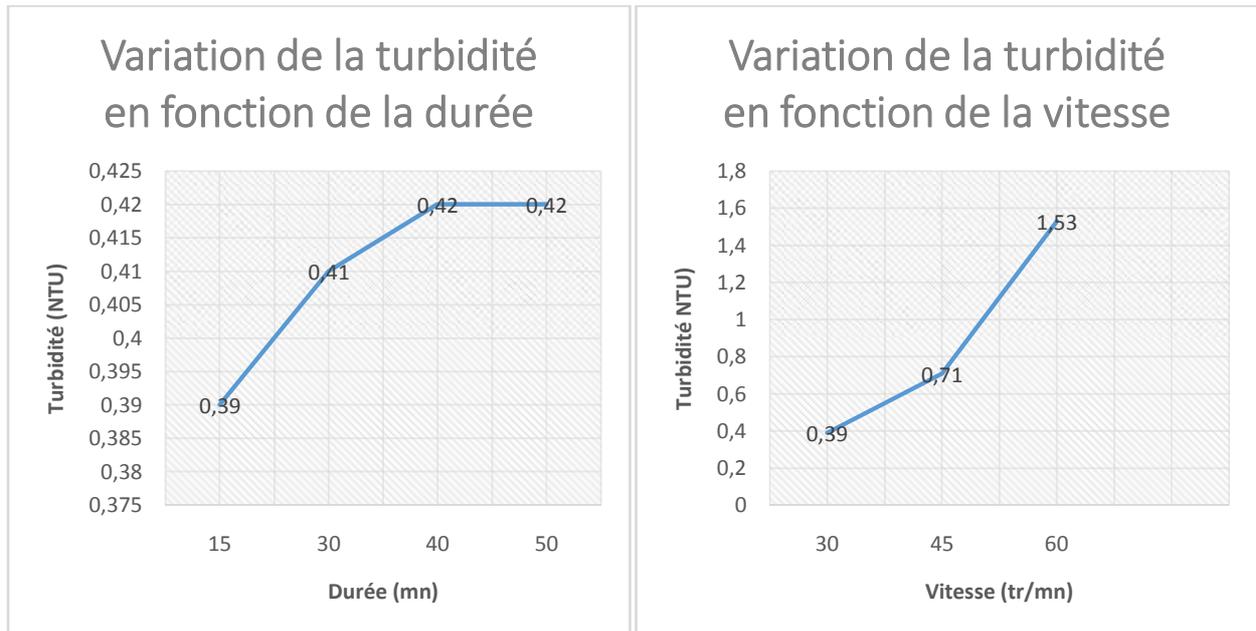


Figure V.49 : la variation de la turbidité en fonction de la durée et de la vitesse d'agitation (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

La turbidité la plus faible est de 0,32 NTU, 0,35 NTU, 0,39 NTU pour 1g/L de sel et 1g/L de B.C.I, 3g/L de sel et 1g/L de B.C.I, 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I respectivement avec une agitation lente de 30 tr/mn.

La vitesse d'agitation durant la floculation est très importante. En effet, à cette étape, il faut modérer la vitesse pour permettre l'adhérence des micros floes déjà formés lors de la coagulation afin qu'ils soient plus volumineux et éviter aussi leur destruction. Ainsi une vitesse trop élevée ne serait pas adéquate à l'agitation contrairement à l'étape de coagulation et nous constatons que plus la vitesse augmente, plus l'aspect des floes est mauvais.

Pour les trois cas nous remarquons que le temps d'agitation lent correspondant à la plus faible turbidité est de 15 minutes.

Donc, pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse lente optimale durant la floculation a été maintenue à 30 tr/min et cela durant un temps de 15 min.

V.2.4 L'influence de la vitesse d'agitation sur le pH et la conductivité pendant la phase de coagulation-floculation

Tableau V.41 : l'influence de la vitesse d'agitation sur le pH et la conductivité (1g/L de sel+1g/L de B.C.I, dose optimale : 65mg/L coagulant et 0.55mg/l floculant)

| Temps d'agitation rapide = 2 min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la coagulation) | Temps d'agitation lente = 15min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Conductivité NTU | | pH | |
|--|---|---|--|------------------|-------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | Avant | Après |
| | | | 30 | 2500 | 2500 | 7.69 | 6.78 |
| | | | 45 | 2500 | 2500 | 7.69 | 6.78 |
| | | | 60 | 2500 | 2500 | 7.69 | 6.78 |

Tableau V.42 : l'influence de la vitesse d'agitation sur le pH et la conductivité (3g/L de sel+1g/L de B.C.I, dose optimale : 59mg/L coagulant et 0.43mg/L floculant)

| Temps d'agitation rapide = 2 min (pour la coagulation) | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la coagulation) | Temps d'agitation lente = 15min (pour la floculation) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Conductivité NTU | | pH | |
|--|---|---|--|------------------|-------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | Avant | Après |
| | | | 30 | 6200 | 6200 | 8.18 | 6.59 |
| | | | 45 | 6200 | 6200 | 8.18 | 6.59 |
| | | | 60 | 6200 | 6200 | 8.18 | 6.59 |

Tableau V.43 : l'influence de la vitesse d'agitation sur le pH et la conductivité (5g/L de sel+1g/L de B.C.I, dose optimale : 45mg/L coagulant et 0.23mg/L floculant)

| Temps d'agitation rapide = 2 min (pour la | Vitesse d'agitation rapide = 200 tr/min (pour la | Temps d'agitation lente = 15min (pour la | Vitesse d'agitation lente (tr/min) (pour la floculation) | Conductivité NTU | | pH | |
|---|--|--|--|------------------|-------|-------|-------|
| | | | | Avant | Après | Avant | Après |
| | | | 30 | 9600 | 9600 | 8.25 | 6.58 |

| | | | | | | | |
|-------------|--------------|--------------|----|------|------|------|------|
| coagulation | coagulation) | floculation) | 45 | 9600 | 9600 | 8.25 | 6.58 |
| | | | 60 | 9600 | 9600 | 8.25 | 6.58 |

V.2.4.L'effet de la vitesse d'agitation sur le pH et la conductivité pendant la phase de coagulation-floculation

❖ Pour la conductivité

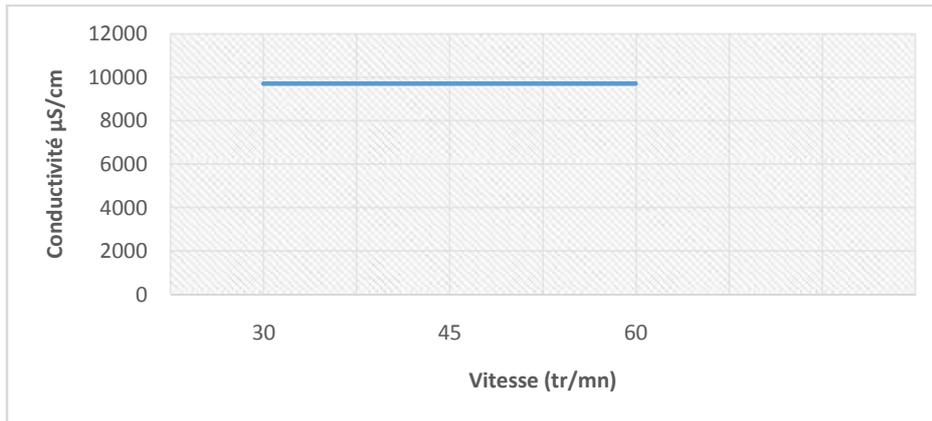


Figure V.50 : la variation de la conductivité en fonction de la vitesse (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

❖ Pour le pH

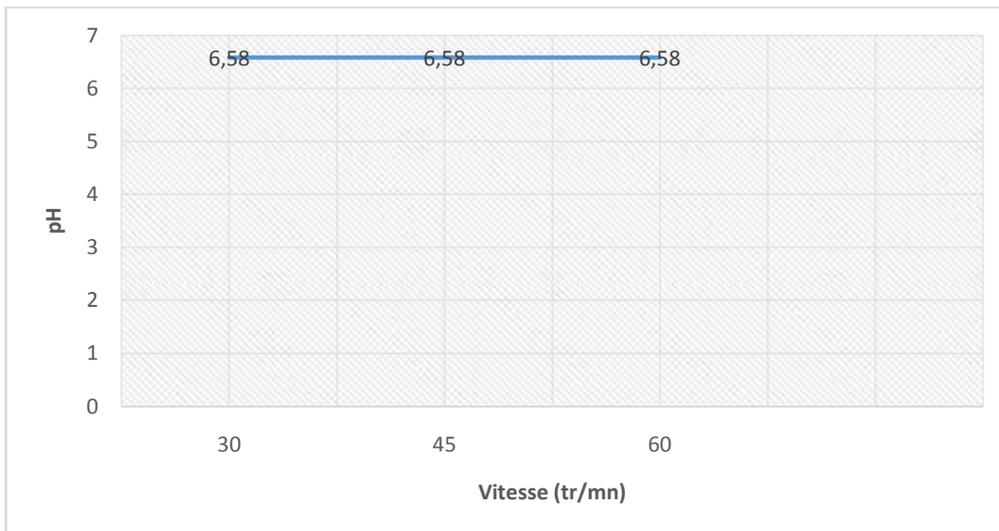


Figure V.51 : La variation du pH en fonction de la vitesse (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

Les figures ci-dessus ne montre pas de changement de la conductivité ni du pH vis-à-vis de la vitesse. Ils sont constants pour les différentes variations de la vitesse d'agitation dû au fait qu'il s'agit de la même solution et de la même concentration pour les trois cas étudiés.

V.2.5 La variation de la dose optimale de coagulant / flocculant en fonction de la qualité de l'eau brute

Nous pouvons tracer la courbe de la variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la concentration de B.C.I en nous référant au tableau suivant :

Tableau V.44: L'influence de la turbidité de l'eau sur la coagulation floculation pour 5g/L de sel avec différentes concentration de B.C.I

| | | | | |
|---|------|------|-----|-----|
| Concentration de B.C.I mg/L | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 |
| Concentration optimale de coagulant mg/L | 25 | 45 | 59 | 71 |
| Concentration optimale de flocculant mg/L | 0.15 | 0.26 | 0.4 | 0.9 |

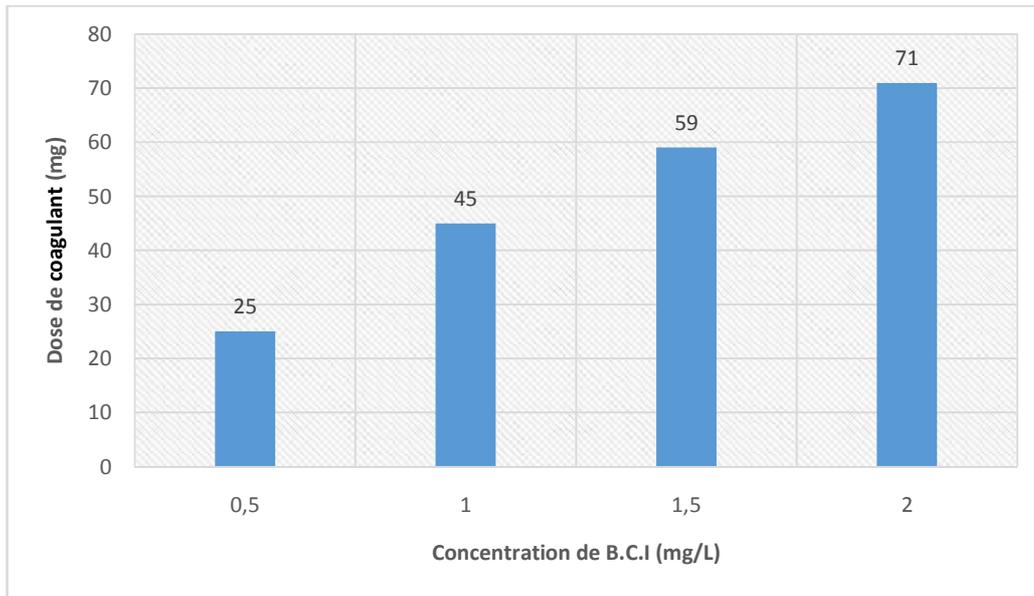


Figure V.52 : Variation de la dose optimale de coagulant en fonction de la B.C.I

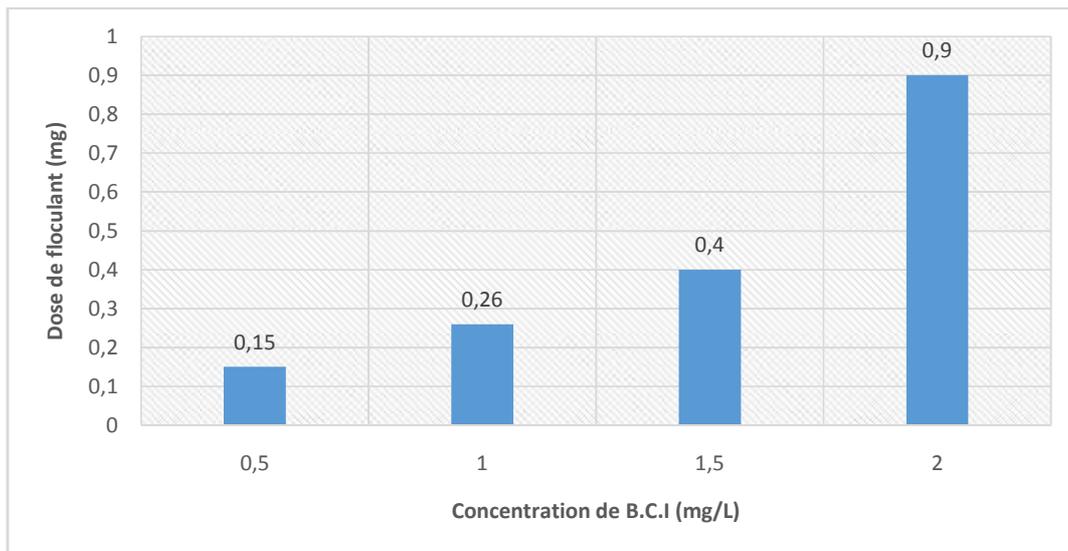


Figure V.53 : Variation de la dose optimale de flocculant en fonction de la B.C.I

Les figures V.52 et V.53 montrent bien que plus la concentration de B.C.I augmente plus la concentration optimale de coagulant et de flocculant augmente elle aussi pour avoir une meilleure diminution de la turbidité.

Le procédé de coagulation-floculation avec l'utilisation de sulfatés d'alumine comme coagulant et la polyamide comme flocculant réalise un bon rendement d'élimination de la turbidité.

La dose optimale de coagulant et de floculant varie selon la qualité de l'eau brute et la dose augmente avec l'accroissement de la turbidité.

V.3. Résultats expérimentaux d'application de la coagulation floculation, décantation sur le pilote

Notre étude a été réalisée sur deux solutions salées et turbides de même concentration de sel 5g/L de NaCl et de concentration de B.C.I différentes 0.5g/L et 1g/L.

La dose optimale de coagulant et de floculant étant :

- pour 5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I : 0.025g/L de coagulant et 0.15mg/L de floculant
- pour 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I : 0.045g/L de coagulant et 0.26mg/L de floculant.

En mesurant l'influence d'un certain nombre de facteurs (type de décantation) sur la coagulation-floculation et décantation.

❖ Pour 5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I

Tableau V.45 : L'influence du type de décantation sur l'évolution des paramètres physico-chimique pour un débit de 40L/h (5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

| Type de décantation | Débit 40L/h | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|-------|----------------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------|
| | Turbidité NTU | | Température °C | | pH | | Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ | |
| | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après |
| Lamellaire Co-courant | 97 | 5.13 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.53 | 9600 | 9600 |
| Lamellaire Contre-courant | 97 | 7.2 | 15.6 | 24.00 | 8.23 | 7.68 | 9600 | 9600 |
| classique | 97 | 11.2 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.66 | 9600 | 9600 |

Tableau V.46 : L'influence du type de décantation sur l'évolution des paramètres physico-chimique pour un débit de 80L/h (5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)

| Type de | Débit 80L/h | | | |
|---------|-------------|----------------|----|--------------|
| | Turbidité | Température °C | pH | Conductivité |

| décantation | NTU | | | | | | μS/cm | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après |
| Lamellaire Co-courant | 97 | 8.6 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.62 | 9600 | 9600 |
| Lamellaire Contre-courant | 97 | 13.4 | 15.6 | 24.2 | 8.23 | 7.67 | 9600 | 9600 |
| classique | 97 | 17.6 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.62 | 9600 | 9600 |

❖ Pour 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I

Tableau V.47 : L'influence du type de décantation sur l'évolution des paramètres physico-chimique pour un débit de 40L/h (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

| Type de décantation | Débit 40L/h | | | | | | | |
|------------------------------|------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|
| | Turbidité NTU | | Température °C | | pH | | Conductivité μS/cm | |
| | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après |
| Lamellaire Co-courant | 161 | 5.7 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.72 | 9600 | 9600 |
| Lamellaire Contre-courant | 161 | 8.4 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.66 | 9600 | 9600 |
| classique | 161 | 12.6 | 15.6 | 24.00 | 8.23 | 7.68 | 9600 | 9600 |

Tableau V.48 : L'influence du type de décantation sur l'évolution des paramètres physico-chimique pour un débit de 80L/h (5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)

| Type de décantation | Débit 80L/h | | | |
|------------------------|------------------|----------------|----|-----------------------|
| | Turbidité NTU | Température °C | pH | Conductivité μS/cm |

| | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après | Avant | Après |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lamellaire Co-courant | 161 | 9.3 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.52 | 9600 | 9600 |
| Lamellaire Contre-courant | 161 | 14.6 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.49 | 9600 | 9600 |
| classique | 161 | 17.2 | 15.6 | 24.1 | 8.23 | 7.56 | 9600 | 9600 |

V.3.1 L'effet du type de décantation sur la turbidité suivant les débits d'alimentation 40L/h et 80L/h

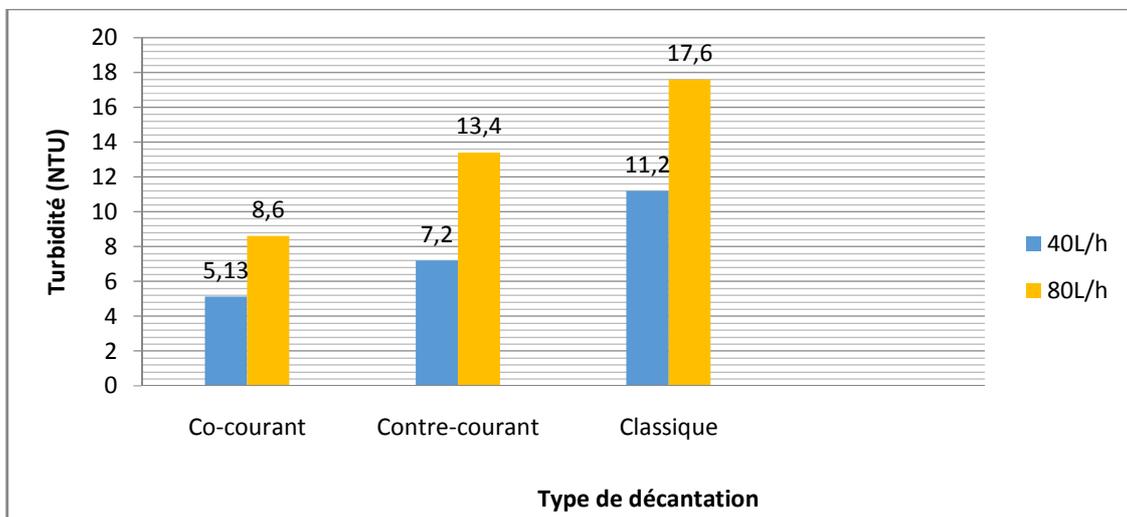
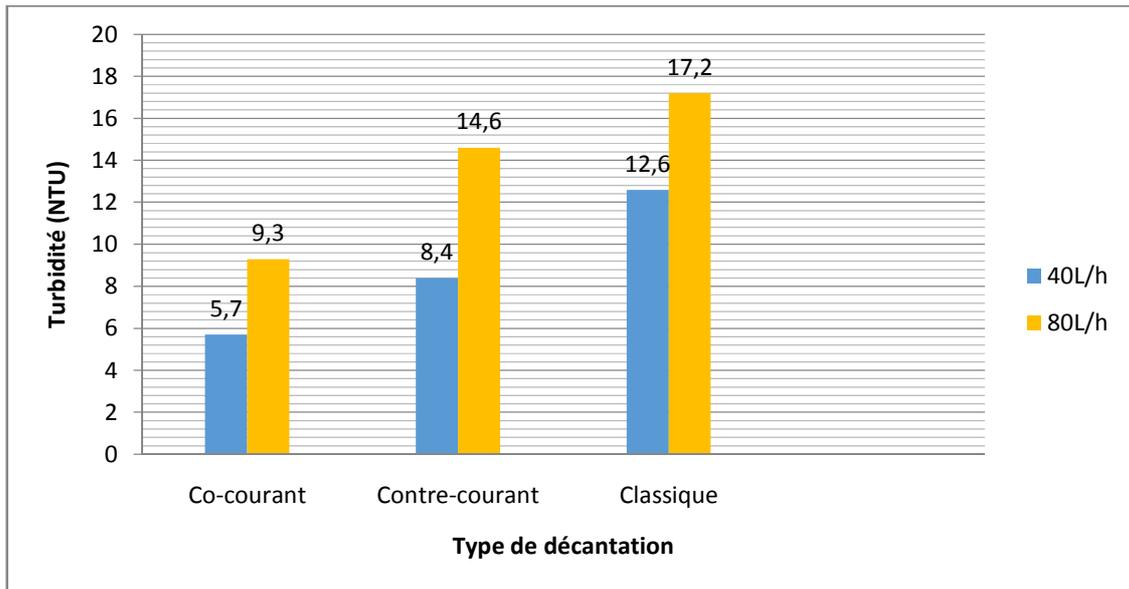


Figure V.54 : Variation de la turbidité en fonction du type de décantation (Pour 5g/L de sel et 0.5g/L de B.C.I)



**Figure V.55 : Variation de la turbidité en fonction du type de décantation
(Pour 5g/L de sel et 1g/L de B.C.I)**

Les résultats trouvés et que nous avons exprimés sur les figures ci-dessus nous ont permis de remarquer que le type de décantation ainsi que le débit d'alimentation exercent une influence sur la turbidité. L'augmentation du débit d'alimentation participe à la réduction du rendement de la décantation car à cause de la forte vitesse d'écoulement les floes formés n'auront pas le temps de se sédimenter. C'est la raison pour laquelle nous constatons que la turbidité est élevée lorsque le débit est de 80L/h et cela pour tous les types de décantation à savoir celle co-courant, contre-courant et classique.

Contrairement à lorsqu'il est égale à 40L/h, nous assistons à la diminution de la turbidité à cause du faible débit de ce fait le temps de séjour ne sera pas court et permettra le dépôt des particules dans le décanteur.

En se conformant à ce qui est noté sur les tableaux ci-dessus nous observons que l'installation des lamelles à l'intérieur du décanteur améliore la clarification de l'eau.

Pour déterminer la position idéale de ces lamelles correspondant à celle adéquate pour obtenir un bon rendement, nous avons effectué des expériences en les installant à différentes positions et ensuite faire une décantation en leur absence à savoir celle pour une décantation co-courant,

contre-courant et classique. Cela nous a permis de conclure, après mesure de la turbidité que l'effet des lamelles réduise amplement la turbidité.

D'après les figures nous apercevons nettement que la décantation lamellaire est mieux que celle classique et qu'aussi dans la décantation lamellaire la décantation co-courant est le plus fiable.

Nous remarquons aussi que les valeurs de turbidité trouvées lors de la coagulation floculation sur le Jar-Test sont inférieures à celles trouvées avec l'utilisation du pilote malgré l'emploi des doses optimales. Cela peut s'expliquer par le fait que les acuités de mélange en béccher et en pilote ne sont pas les mêmes : le béccher est plus petit alors les erreurs seront moins importantes, en béccher la décantation n'est pas mouvementée contrairement sur le pilote où le débit d'alimentation arrive continuellement et dès fois subissait une petite variation, Le temps de décantation est différent. . .

CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Nos expériences ont été réalisées, d'abord au niveau du laboratoire de Sekkak puis au niveau du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux du Département d'Hydraulique de l'Université de Tlemcen avec l'utilisation du pilote TE600.

De ce fait nos tests étaient basés sur l'optimisation de la concentration du coagulant et du floculant, la durée et le temps d'agitation appropriée pour une meilleure élimination de la turbidité pendant la phase de coagulation-floculation. A cela s'ajoute l'étude des différents paramètres physico-chimiques que sont la turbidité, la température, la conductivité et le pH avant et après les étapes de coagulation-floculation et décantation afin de pouvoir distinguer leur influence.

Ainsi ces expériences nous ont permis de conclure que :

- ✚ La coagulation-floculation avec le sulfate d'alumine comme coagulant et le polyamide comme floculant abaisse bien la turbidité (97 NTU à 0.43 NTU après l'addition de 25mg/L de coagulant, 0.35 NTU après l'addition de 0.15mg/L de polymère pour une concentration de 5g/l de sel et 0.5g/l de B.C.I)
- ✚ Au fur et à mesure que la concentration de bentonite (B.C.I) augmente la concentration optimale de coagulation-floculation augmente elle aussi,
- ✚ Le pH diminue avec l'ajout des doses de coagulant,
- ✚ La conductivité augmente avec l'accroissement de la concentration de sel,
- ✚ Le pH augmente en fonction de l'augmentation de la concentration de B.C.I avant traitement
- ✚ La vitesse d'agitation pour la coagulation doit être rapide en un temps très court (200tr/mn pendant 2minutes)
- ✚ La vitesse d'agitation pour la floculation doit être lente en un temps long (30tr/mn pendant 15minutes)
- ✚ La durée et la vitesse d'agitation n'influe pas sur le pH et la conductivité,

Puis avec l'utilisation du pilote TE600 nous avons pu en tirer que :

- ✚ La décantation lamellaire est mieux que la décantation classique,
- ✚ La décantation lamellaire à co-courant est meilleure que celle à contre-courant,
- ✚ On obtient une eau plus clarifiée avec un débit d'alimentation faible qu'avec celui élevé ($Q_a=40L/h$ est mieux que $Q_a=80L/h$)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] http://www.santemaghreb.com/actualites/0703/0703_4.htm. (consulté le 07/02/2014)
- [2] Rapport des nations unies sur le développement mondial de l'eau _ ' Water for people water for life' 102 p <http://www.lenntech.com/français/feedbackfr.htm>
- [3] B.LAKHDARI, Effet de la coagulation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de AIN EL HOUTZ, Université de Tlemcen, Décembre 2011.
- [4] L.CHERIF, l'influence de la coagulation floculation et décantation sur prétraitement des eaux saumâtres, Université de Tlemcen, 2012.
- [5] http://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_des_eaux_us%C3%A9es#Traitement_par_voie_physico-chimique(consulté le 18/03/2014)
- [6] LEHBABS et AL, Contribution à l'étude de l'eau potable, Université de Sidi Bel Abbas, 2004.
- [7] R.DESJARDINS, Traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2^{ème} édition revue et améliorée, 1997.
- [8] A.BENKHALED et W.ZITOUNI, Diagnostic de la qualité de l'eau dans le réseau et de l'état de propreté des conduites, Université de Tlemcen, juin 2011.
- [9] A.AMINOT ET R.KEROUEL,Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses. Paris. Edition Ifremer,2004, 336P.
- [10] GOMELLA et GUERREE, 1978
- [11] eau généralité [http:// : sixpiedssurterre.over-blog.com/article-eau-generalites-68730704.html](http://sixpiedssurterre.over-blog.com/article-eau-generalites-68730704.html)és : les états de l'eau (consulté le 07/02/2014)
- [12] Source : <http://www.u-picardie.fr> (consulté le 18/03/2014)
- [13] M.SAID OUALI 2001 cours de procédés unitaire biologique et de traitement des eaux ; office des publications universitaire ; 1 place centrale de Ben Aknoun (Alger)
- [14] http://www.jeanpaulbiberian.net/Download/physique_generale/Chapitre_10.pdf (consulté le 07/02/2014)
- [15] DEGUMENT, Mémento technique de l'eau, Tome I, Lavoisier, Paris, 2005.
- [16] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau> (consulté le 07/02/2014)
- [17] <http://www.univ-tlemcen.dz/~benouaz/memoires/ourrad.pdf>(consulté le 08/02/2014)
- [18] <http://www.lenntech.fr/applications/ultrapure/conductivite/eau-conductivite.htm> (consulté le 18/02/2014)
- [19] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pluie> (consulté le 08/02/2014)



- [20] D.RAYMOND, le traitement des eaux, 2em édition revue améliorée
- [21] <http://www.aquawal.be/xml/liste-IDC-109-.html>(consulté le 10/02/2014)
- [22] <http://www.memoireonline.com/07/09/2349/Contamination-des-eaux-souterraines>(consulté le 05/02/2014)
- [23] http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l'eau(consulté le 08/02/2014)
- [24] <http://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm#ixzz1rMwLyqfJf>(consulté le 08/02/2014)
- [25] Document produit par le Lycée Toulouse Lautrec -31000 Toulouse.
- [26] Mémoire technique de la Station de traitement des eaux d'El Kerma Oran
- [27] : H. SAADI et A. HAMIDI, Etude bibliographique sur les analyses Physico-chimiques et bactériologiques des eaux potables, Université de Tlemcen, 2011.
- [28] <http://www.services.eaufrance.fr/propos-des-services/eau-potablele-traitement>(consulté le 09/02/2014)
- [29] <http://traitement-eau.ventsys.net/station-traitement-eau-a7>(consulté le 09/02/2014)
- [30]A.KABLI etR.KAZOUZ, Etude expérimentale sur la coagulation, Université de Tlemcen, 2004.
- [31]http://www.aide.be/jahia/Jahia/site/aide/cache/offonce/general/epuration/fonction_epuration/stations_epuration/traitement Primaire;jsessionid=1C8E22E7F7DE39A4181A30EE8C3A16E8(consulté le 18/02/2014)
- [32] J.RODIER, L'analyse de l'eau, Edition Paris, 1959.
- [33] N.BERRAHAL et A.BAHLOUL, Etude bibliographique sur le dessalement par l'électrodialyse, Université de Tlemcen, 2011.
- [34] <http://www.elessia.com/fr/explication-du-procede-de-coagulation-floculation.html>(consulté le 14/02/2014)
- [35] : R.DESJARDINS, Traitement des eaux, Edition Montréal, Janvier 1990.
- [36] A.OUALI et H.SALAH, Étude bibliographique sur la filtration et la centrifugation, Université de Tlemcen, 2012.
- [37] : A. CHIBOUB FELLAH, Cours : « chimie de l'eau » 3ème année TTE, 2011.
- [38] : M.BESSEDIK, Cours : (traitement des eaux), 2012.
- [39] : <http://www.waterland.com>(consulté le 23/03/2014)

- [40] : A.CHIBOUB FELLAH, Cours chimie de l'eau, 2012.
- [41] <http://www.lenntech.fr/colloide.htm>(consulté le 31/02/2014)
- [42] : B.LAKHDARI, Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain AL HOUTZ, Université de Tlemcen, 2011.
- [43] M.SEFRAOUI, Etude comparative sur le prétraitement des eaux de mer par ultrafiltration et coagulation floculation, Université de Tlemcen, 2012.
- [44] Arnirtharajah et O'Melia, 1990.
- [45] <http://www.elessia.com/fr/explication-du-procede-de-coagulation-floculation.html>(consulté le 31/03/2014)
- [46] R.SALGHI, Différents filières de traitement des eaux, Université IBN ZOHR Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir, 2005.
- [47] C.CLAUDE, Les traitements d'eau, ellipses édition marketing S.A, rue Bargue 75740 Paris, 1999.
- [48] DEGUMENT, Mémento technique de l'eau, Lavoisier-paris, 1972.
- [49]<http://www.feralco.com/FR/FR/page9-coagulation-floculation.php> (consulté le 15/03/2014)
- [50] S.EZZIANE, Traitement des eaux de rejets de l'unité de TENES, Université de Chlef, 2007.
- [51] P.LEVALLOIS, Les risques et bénéfices associés à l'utilisation de l'aluminium dans le traitement de l'eau potable, Institut national de la santé publique du Québec, 2005.
- [52] A.LOUNNAS, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda, Université de Skikda, 2009.
- [53] JULIEN, 1983.
- [54] RAYMOND, Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue et amélioré, 1997.
- [56] CAMP et STEIN, 1943.
- [55] RAYMOND, Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue et amélioré. et A.kettab ,: « traitement des eaux (les eaux potables) » ; Alger ; O.P.U, 1992.
- [57] M.SAÏD OUALI, Cours des procédés unitaire biologiques et traitement des eaux.
- EtDEGUMENT, Mémento technique de l'eau, Lavoisier-paris, 1972.

[58] A.KETTAB, Traitement des eaux, office des publiques universitaires, 1, place centrale de Ben-Aknoun(Alger), 1992.

[59] D.SACI et K.BERAHMI, Etude sur la coagulation de l'eau résiduaire de la STEP de l'Unité SOITEX Tlemcen et de l'eau brute de la STEP de Lala Seti Tlemcen, Université de Tlemcen, 1997.

[60] Bultin technique de pilote de coagulation floculation et décantation TE600 et DEGUMENT, Mémento technique de l'eau, Lavoisier-paris, 1972.

[61] Bultin technique de pilote de coagulation floculation et décantation TE600

[62] H.R.RNANDEZ DE LEON, Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, Université de Toulouse, 2006.

[63] M.SADI et F.TARMOUL, détermination de la pollution résiduelle d'une STEP par lagunage naturel cas de lagune de Beni-Messous, 2007.

www.memoire online.

[64] R.DJELLOULI et O.BELARBI, Etude sur la coagulation floculation et décantation sur les eaux épurées de la STEP de Ain ELHOUTZ, Université de Tlemcen, 2008.

[65] <http://www.siarl.fr/images/decantation.gif> consulté le (13/02/2014)

