

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان-  
Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etude  
Pour l'obtention du diplôme Master en **Hydraulique**  
Option : **Technologies de Traitement des Eaux**

Thème

**Influence des particules argileuses sur la  
COAGULATION - FLOCCULATION**

Soutenue publiquement le : **02/ 10 /2013**

Présenté par :

***M<sup>r</sup> SELKA MUSTAFA KARIM***

Devant le jury :

M <sup>R</sup> SEDDINI ABDELALI .....	Président
M <sup>R</sup> BOUMEDIENE Maamar .....	Examineur
M <sup>R</sup> GHENIM Abderrahmane Nekache .....	Examineur
M <sup>R</sup> BOUCHELKIA Hamid.....	Encadreur
M <sup>ME</sup> BOUCHELKIA Fadila .....	Encadreur

*Promotion 2012/2013*

# Remerciements

A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'étude je tiens particulièrement à remercier **ALLAH** de m'avoir accordé la foi, le courage, et la volonté pour élaborer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à M<sup>me</sup> F. Bouchelkia et M<sup>R</sup> H. Bouchelkia pour avoir accepté de m'encadrer en ce sujet ainsi pour leurs orientations, leurs judicieux conseils et leur disponibilité durant toute la période de notre projet.

Mes profonds remerciements vont à :

Monsieur le président du jury A. Seddini, pour son aide précieuse

Monsieur M. Boumediene et M<sup>r</sup> A. Ghenim pour l'honneur qui nous ont fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Par ailleurs, je remercie les responsables et techniciens des laboratoires qui nous ont beaucoup aidé aux cours des expériences.

Je tiens à remercier mes amis M<sup>elle</sup> H. Saadi et M<sup>r</sup> H. Chikhi qui m'ont beaucoup aidé aux cours des expériences.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements.

Je voudrais aussi exprimer ma vive reconnaissance envers tous les enseignants de département d'hydraulique ainsi que tous ceux qui ont participé à ma formation.

Selka Mustafa Karim



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours soutenu avec leurs encouragements et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, en hommage affectueux.*

*À ma chère sœur*

*À toute ma famille*

*À M<sup>lle</sup> Mesli assia latifa*

*À mes amis et à toutes mes camarades*

*À mes encadreurs et tous mes enseignant(e)s.*

*Selka Mustafa Karim*

## Résumé

L'eau destinée à la consommation humaine peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être traitée.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'élimination de la turbidité des eaux des barrages de la wilaya de Tlemcen (Meffrouche, Sid El Abdli, Beni Bahdel, Hammam Boughrara et Sekkak).

Pour ce faire, nous avons utilisé, le sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique, et le sulfate de ferrique comme coagulants sur différentes vases de ces barrages pour déterminer les conditions et les facteurs influençant la coagulation-floculation (La vitesse et le Temps d'agitation lente, le pH optimal et la dose du coagulant utilisé) pour traiter ces eaux.

L'objectif final de cette étude est d'arriver à définir les relations de comportement, (concentration en particules de vase - dose du coagulant) pour chaque coagulant et pour les différentes vases.

Les résultats obtenus montrent que les coagulants utilisés donnent des rendements d'élimination des particules solides assez importants (supérieur à 90%); le sulfate d'aluminium demeure le adapté du fait de sa facilité de préparation et sa large disponibilité.

**Mots-clés:** Coagulation-floculation, décantation, Turbidité, coagulant, vase, colloïde,

## Abstract

Water intended for human consumption may contain pollutants, which is why it needs to be treated.

In this work, we are interested especially in the elimination of turbidity dams of Tlemcen (Meffrouche, Sid El Abdli, Beni Bahdel, Hammam and Boughrara Sekkak).

To do this, we used aluminum sulfate, ferric chloride and ferric sulfate as a coagulant in different vases of these dams to determine the initial conditions and factors affecting the coagulation-floculation (speed and slow stirring, and the pH optimum dose of coagulant used time) to treat these waters.

Our objectif of this study is to arrive at a definition of the relationship behavior (particle concentration vase - the coagulant dose) for each coagulant and different vases. The results obtained show that the coagulants used provide removal efficiencies sizeable solid particles (higher at 90%) aluminum sulfate remains suitable because of its ease of preparation and its wide availability.

**Keywords:** Coagulation-floculation, sedimentation, turbidity, coagulant, vase, colloid

## الملخص

المياه المخصصة للاستهلاك البشري قد تحتوي على ملوثات، ولهذا السبب هي تحتاج الى علاج قبل استهلاكها. في هذا العمل نحن مهتمون خصوصا في القضاء على تعكر مياه سدود تلمسان سد المفروش، سد سيدي العبدلي، سد بني بحدل، سد حمام بوغرارة و سد سكاك.

للقيام بذلك، ونحن نستخدم كبريتات الألومنيوم، كلوريد الحديد وكبريتات الحديد كإضافات كيميائية مع مجموعة من العينات المأخوذة من مختلف السدود الخمسة لتحديد الظروف الأولية والعوامل التي تؤثر على تنقية تلك مياه هذه السدود من التعكير و المتمثلة في سرعة ووقت التحريك البطيء ودرجة الحموضة و الكمية المضافة من المواد الكيميائية.

الهدف الأساسي من هذا العمل هو الحصول على علاقة ربط طردية بين الكمية المضافة من المواد الكيميائية و تركيز درجة تعكر المياه المراد معالجتها و ذلك بالنسبة لمختلف السدود و المواد الكيميائية.

أظهرت النتائج أن استخدام هذه المواد الكيميائية لديها كفاءات إزالة الجزيئات الصلبة كبيرة تصل إلى نسبة 90% و تعد كبريتات الألومنيوم أفضل مساعد مضاف نظرا لسهولة الإعداد و التعامل معه وتوفره على نطاق واسع.

**كلمات البحث:** الترسيب، التعكر، ترسبات السدود ، ملونات .

## Liste des tableaux

### Chapitre I

<b>Tableau I.1</b> : les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines .....	9
--	---

### Chapitre II

<b>Tableau II.1</b> : Des exemples de la vitesse de sédimentation de quelques matériaux .....	12
<b>Tableau II.2</b> : Résultats d'analyses effectuées de (ANRH) sur les eaux brutes à l'état naturel, sans aucun prétraitement ou traitement .....	20
<b>Tableau II.3</b> : Valeurs guides de l'ANRH et concentration limite de Directives de la CEE utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine .....	21

### Chapitre III

<b>Tableau III.1</b> : Les étapes de l'agrégation .....	27
<b>Tableau III.2</b> : Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium .....	31

### Chapitre IV

<b>Tableau IV.1</b> : Densité réelle des vases.....	46
---	----

### Chapitre V

<b>Tableau V.1</b> : Résultat d'Influence du temps sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.....	63
<b>Tableau V.2</b> : Résultat d'Influence du temps sur la coagulation par le chlorure ferrique.....	64
<b>Tableau V.3</b> : Résultat d'Influence du temps sur la coagulation par le sulfate ferrique.....	65
<b>Tableau V.4</b> : Résultat d'Influence de la vitesse d'agitation (Sulfate d'aluminium).....	66
<b>Tableau V.5</b> : Résultat d'Influence de la vitesse d'agitation sur la coagulation floculation (chlorure ferrique (Fe Cl <sub>3</sub> )).....	67
<b>Tableau V.6</b> : Résultat d'Influence de la vitesse d'agitation (Sulfate ferrique (Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> )).	68
<b>Tableau V.7</b> : Résultat de l'Influence du pH (Sulfate d'aluminium).....	70
<b>Tableau V.8</b> : Résultat d'Influence du pH ( chlorure ferrique).....	71
<b>Tableau V.9</b> : Résultat d'Influence du pH (sulfate ferrique).....	72
<b>Tableau V.10</b> : Résultat d'Influence la quantité de Sulfate d'aluminium .....	74
<b>Tableau V.11</b> : Résultat d'Influence la quantité de chlorure ferrique .....	75
<b>Tableau V.12</b> : Résultat d'Influence de la quantité de sulfate ferrique .....	76
<b>Tableau V.13</b> : Résultat de l'Influence de la dose du coagulant (Sulfate d'aluminium).....	78
<b>Tableau V.14</b> : Résultat d'Influence de la dose du coagulant (Chlorure ferrique).....	79
<b>Tableau V.15</b> : Résultat d'Influence de la concentration du coagulant (Sulfate ferrique).....	80
<b>Tableau V.16</b> : Rendement de la coagulation-floculation par le chlorure ferrique pour une concentration de 200 (mg/l).....	83

<b>Tableau V.17</b> : Rendement de coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium pour une concentration de 200 (mg/l).....	84
<b>Tableau V.18</b> : Rendement de coagulation-floculation par le chlorure ferrique pour une concentration de 150 (mg/l).....	85
<b>Tableau V.19</b> : Rendement de coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium pour une concentration de 150 (mg/l).....	86
<b>Tableau V.20</b> : Rendement de coagulation-floculation par le chlorure ferrique pour une concentration de 100 (mg/l).....	87
<b>Tableau V.21</b> : Rendement de coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium pour une concentration de 100 (mg/l).....	88
<b>Tableau V.22</b> : Concentrations initiales et les turbidités correspondantes.....	90
<b>Tableau V.23</b> : Dose optimale de Sulfates d'aluminium pour diverses concentrations de vase.....	90
<b>Tableau V.24</b> : demande en chlorure ferrique.....	92

## Liste des figures

### Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : Echelle de la variance de la dureté.....	5
<b>Figure I.2</b> : Une eau courante .....	8
<b>Figure I.3</b> : Une eau stagnante.....	8

### Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Dégrilleur manuel.....	12
<b>Figure II.2</b> : Dégrilleur automatique.....	12
<b>Figure II.3</b> : Injection de l'air dans un dégraissage-déshuilage rectangulaire .....	13
<b>Figure II.4</b> : Evacuation des huiles et graisses dans un dégraisseur déshuilage circulaire ....	13
<b>Figure II.5</b> : Schéma descriptif du phénomène de coagulation-floculation .....	14

### Chapitre III

<b>Figure III.1</b> : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale (d'après le modèle de Gouy-Chapman-Stern).....	26
<b>Figure III.2</b> : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.....	28
<b>Figure III.3</b> : Représentation schématique de neutralisation des charges.....	29
<b>Figure III.4</b> : Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation .....	30
<b>Figure III.5</b> : Adsorption et pontage à l'aide de polymères .....	30
<b>Figure III.6</b> : Le sulfate d'aluminium en poudre .....	34
<b>Figure III.7</b> : Le sulfate ferrique en poudre.....	36
<b>Figure III.8</b> : Le chlorure ferrique en poudre.....	36

### Chapitre IV

<b>Figure IV.1</b> : Série de tamis utilisé au laboratoire .....	45
<b>Figure IV.2</b> : Quantité de vase utilisé au nos essaie après tamisage.....	45
<b>Figure IV.3</b> : pH mètre utilisé au laboratoire.....	47
<b>Figure IV.4</b> : Spectrophotomètre utilisé au laboratoire pour mesurer l'absorbance.....	48
<b>Figure IV.5</b> : L'absorbance en fonction de la concentration.....	50
<b>Figure IV.6</b> : Courbe d'étalonnage de la turbidité.....	51
<b>Figure IV.7</b> : Jar-test utilisé au laboratoire.....	52
<b>Figure IV.8</b> : Balance électronique utilisé.....	53
<b>Figure IV.9</b> : Différents bécchers utilisé (1000ml, 500ml, 100ml).....	53
<b>Figure IV.10</b> : Différent Erlenmeyers pour la préparation des solutions.....	54
<b>Figure IV.11</b> : Mode opératoire de préparation de la solution mère des coagulants.....	55

## Chapitre V

<b>Figure V.1</b> : Influence du temps sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.....	63
<b>Figure V.2</b> : Influence du temps sur la coagulation par le chlorure ferrique.....	64
<b>Figure V.3</b> : Influence du temps sur la coagulation par le sulfate ferrique.....	65
<b>Figure V.4</b> : Influence de la vitesse d'agitation (Sulfate d'aluminium).....	67
<b>Figure V.5</b> : influence de la vitesse d'agitation (chlorure ferrique (Fe Cl <sub>3</sub> )).....	68
<b>Figure V.6</b> : Influence de la vitesse d'agitation (sulfate ferrique (Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> )).....	69
<b>Figure V.7</b> : Influence du PH (le Sulfate d'aluminium).....	71
<b>Figure V.8</b> : influence du pH (Chlorure ferrique).....	72
<b>Figure V.9</b> : influence du pH (sulfate ferrique).....	73
<b>Figure V.10</b> : influence de la quantité de Sulfate d'aluminium .....	75
<b>Figure V.11</b> : influence de la quantité de chlorure ferrique .....	76
<b>Figure V.12</b> : Influence de la quantité de sulfate ferrique .....	77
<b>Figure V.13</b> : Influence de la dose du coagulant (Sulfate d'aluminium).....	79
<b>Figure V.14</b> : influence de la concentration coagulant (Chlorure ferrique).....	80
<b>Figure V.15</b> : influence de la concentration coagulant (Sulfate ferrique).....	81
<b>Figure V.16</b> : Evolution du rendement en fonction de la dose de chlorure ferrique (200 mg/l) .....	83
<b>Figure V.17</b> : Evolution du rendement en fonction de la dose de Sulfates d'aluminium (200 mg/l) .....	84
<b>Figure V.18</b> : Evolution du rendement en fonction de la dose de chlorure ferrique (150 mg/l).....	85
<b>Figure V.19</b> : Evolution du rendement en fonction de la dose de Sulfates d'aluminium (150 mg/l) .....	86
<b>Figure V.20</b> : Evolution du rendement en fonction de la dose de chlorure ferrique (100 mg/l) .....	87
<b>Figure V.21</b> : Evolution du rendement en fonction de la dose de Sulfate d'aluminium (100 mg/l) .....	88
<b>Figure V.22</b> : Courbes de tendances des doses optimales de Sulfate d'aluminium pour diverse concentration de vase .....	92
<b>Figure V.23</b> : Courbes de tendances des doses optimales de chlorure ferrique pour diverse concentration de vase.....	94
<b>Figure V.24</b> : Exemple de formation des floccs.....	96
<b>Figure V.25</b> : Solutions en phase de sédimentation.....	96
<b>Figure V.26</b> : Floccs sédimentés.....	96

## *Liste des Abréviations et signes*

**$\rho$**  : Résistivité.

**$\gamma$**  : Conductivité.

**O<sub>2</sub>** : oxygène dissous

**DBO** : Demande Biochimique en Oxygène.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

**MES** : Matière En Suspension.

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**Mes** : matières en suspension.

**M** : force ionique.

**C<sub>n</sub>** : concentration de l'ion n (mol/l).

**Z<sub>n</sub>** : valence de l'ion n.

**G** : gradient hydraulique(s<sup>-1</sup>).

**$\mu$**  : viscosité dynamique du liquide (kg m<sup>-1</sup> . s<sup>-1</sup>).

**V** : volume du liquide (m<sup>3</sup>).

**P** : puissance dissipée dans le liquide (W).

**C<sub>t</sub>** : Coefficient de trainée (il est égal à 1.8 pour des pales plates).

**A** : Surface de la pale (m<sup>2</sup>).

**$\rho$**  : Masse volumique du liquide (kg/ m<sup>3</sup>).

**V<sub>r</sub>** : vitesse relative de la pale par rapport à la vitesse du liquide qui l'entoure.

**$\Gamma$**  : facteur tenant en compte l'efficacité de collisions.

**K** : constante de Boltzmann (1,38\*10<sup>-23</sup> J\*K<sup>-1</sup>).

**$\theta$**  : température (K).

**$\eta$**  : viscosité dynamique de l'eau (Pa\*s).

**Tur** : Turbidité.

**C** : Concentration en coagulant.

## *Sommaire*

Introduction.....	1
-------------------	---

### **Chapitre I : Qualité et traitement des eaux de surface**

I.1. Paramètres de la qualité des eaux.....	3
I.1.1 Paramètres organoleptiques.....	3
I.1.1.1 Couleur .....	3
I.1.1.2. Turbidité .....	3
I.1.1.3. Gout et odeur.....	4
I.2. Paramètres physiques et chimiques.....	4
I.2.1. Température.....	4
I.2.2. Masse volumique.....	4
I.2.3. Viscosité.....	4
I.2.4. Dureté.....	5
I.2.5. Propriétés électriques.....	5
I.2.6. Propriétés optiques.....	6
I.2.7. Paramètres biologiques .....	6
I.3. Paramètres microbiologiques .....	6
I.4 Eaux de surfaces.....	6
I.4.1 Origine des eaux de surface.....	7
I.4.2. Types d'eau de surface.....	7
I.4.3. Caractéristiques des eaux de surfaces.....	8

### **Chapitre II: Processus de potabilisation des eaux de surface**

II.1. Prétraitement.....	10
II.1.1 Fosse à bâtard.....	11
II.1.2 Dégrillage.....	11
II.1.3 Dessablage.....	12
II.1.4. Dégraissage – Déshuilage.....	13
II.1.5. Tamisage.....	13
II.2. Clarification.....	13
II.2.1. Décantation primaire.....	14
II.2.2. Coagulation – Flocculation.....	14
II.2.3. Décantation:.....	15
II.2.3.1. Type de décantation.....	15
II.2.3.2. Type de décanteur.....	15
II.2.4. Traitement tertiaire.....	15
II.2.4.1. Filtration.....	16
II.2.4.1.1. Procédés de filtration.....	16

II.2.4.1.2. Type de filtre.....	17
II.2.4.2. Adsorption .....	18
II.2.4.3. Désinfection de l'eau.....	18
II.2.4.4. Affinage.....	19
II.3. Traitement des eaux naturelles en Algérie.....	19
II.3.1 Fonctionnement des stations de potabilisation Algérienne.....	21

## Chapitre. III: Processus de coagulation floculation en traitement des eaux

III.1. Solutions colloïdales.....	23
III.1.1. Particules en suspension.....	23
III.1.2. Colloïdes:.....	24
III.1.2.1. Types de colloïdes.....	24
III.1.2.2. Potentiel Zêta .....	26
III.2. Coagulation-floculation.....	27
III.2.1. Coagulation.....	27
III.2.1.1. Désstabilisation des particules colloïdales .....	28
III.2.2. Facteurs influençant la coagulation.....	31
III.2.2.1. Influence du paramètre pH .....	31
III.2.2.2. Influence de la température .....	31
III.2.2.3. Influence du coagulant .....	32
III.2.2.4. Influence de la dose de coagulant .....	32
III.2.2.5. Influence de la turbidité .....	32
III.2.2.6. Influence de la couleur .....	33
III.2.2.7. Influence des conditions de mélange .....	33
III.2.3. Types de coagulants/floculants utilisés .....	34
III.2.4. Coagulants utilisés .....	34
III.2.4.1. Sels d'aluminium .....	34
III.2.4.1.1. Sulfate d'aluminium .....	34
III.2.4.1.2. Alumine de sodium .....	35
III.2.4.1.3. Chlorure d'aluminium .....	35
III.2.4.1.4. Addition de sulfate d'aluminium et l'aluminate de sodium .....	35
III.2.4.2 Sels de fer .....	35
III.2.4.2.1 Sulfate ferrique .....	36
III.2.4.2.2 Chlorure ferrique .....	36
III.2.4.2.3 Sulfate ferreux .....	37
III.2.5 Floculation .....	37
III.2.5.1. Type de floculation .....	38
III.2.5.2 Processus de floculation physique .....	38
III.2.5.2.1. Floculation péricinétique .....	38
III.2.5.2.2 Floculation orthocinétique .....	38
III.2.5.3 Floculation chimique.....	39

III.2.5.3.1 Flocculants .....	39
III.2.6. Mise en œuvre de la coagulation- floculation .....	40
III.3. Avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation .....	40
III.3.1. Avantages .....	41
III.3.2. Inconvénients .....	41
III.4. Elimination des particules flocculantes par décantation.....	41
III.4.1. Mise en œuvre de traitement d'une eau par coagulation-floculation .....	42

## Chapitre IV : Protocole expérimental et Matériels

IV.1 Objectif de travail.....	44
IV.2. Préparation et analyse de la vase (particules solide).....	44
IV.3. Appareils de mesures et Analyses.....	46
IV.3.1. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	47
IV.3.2. Turbidité.....	48
IV.3.3. Appareillage d'expérimentation (Jar-test ou Floculation de laboratoire).....	51
IV.3.4 Autres équipements.....	52
IV.4. Préparation des coagulants .....	55
IV.5. Protocole expérimentale.....	56
IV.5.1 Optimisation du Temps d'agitation lente (le temps nécessaire de formation des floccs).....	57
IV.5.2. Optimisation de la vitesse d'agitation.....	57
IV.5.3. Optimisation du pH .....	58
IV.5.4 Optimisation de la quantité des coagulants.....	59
IV.5.5 Optimisation de la concentration du coagulant .....	59
IV.6. Etude le l'influence la concentration en particules solide.....	60

## Chapitre V : Résultats et expérimentations

V.1. Influence du temps d'agitation lente sur la coagulation floculation.....	62
V.2. Influence de la vitesse d'agitation sur la coagulation floculation.....	66
V.3 Influence du PH sur la coagulation floculation.....	70
V.4. Influence de la quantité du coagulant sur la coagulation floculation.....	74
V.5. Influence de la concentration du coagulant sur la coagulation floculation.....	78
V.6. Influence des particules de vases des barrages sut la coagulation floculation.....	82
V.7 Variation de la dose de coagulant en fonction le la concentration en particules de vase..	89
V.7.1 Courbe de tendances. ....	90
V.8. Visualisation des expériences.....	96

## Conclusion



# *Introduction*

## **Introduction**

L'eau, est la source précieuse dans le monde elle joue un rôle principale dans le développement de l'humanité ; la vie humaine, animale, et végétale en dépendent.

Une eau potable doit satisfaire à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. Les standards de ce point de vue sont extrêmement différents selon les usages et la situation.

Aussi, deux définitions peuvent être données à la notion de potabilité des eaux :

Une eau est considérée comme potable si elle est agréable à boire et si son emploi n'entraîne aucun risque pour la santé. Elle doit être limpide, incolore et inodore. Elle doit présenter une saveur fraîche et agréable, ce qui exige qu'elle contienne de l'air dissous et qu'elle soit légèrement minéralisée.

Une eau est dite potable lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. L'eau ne doit contenir aucun agent chimique indésirable, aucun élément toxique susceptible de provoquer chez l'homme des troubles à plus ou moins long terme.

Etant donné, la croissance démographique et de la demande en eau plus en plus forte, tous les pays et plus particulièrement, ceux du sud, auront à plus ou moins brève échéance à faire face aux problèmes de l'eau.

Parmi, les solutions acquises, pour remédier à ces problèmes plusieurs techniques dans les domaines de traitement des eaux de surface ont été développées ces techniques sont toujours précédées d'une opération de coagulation floculation qui consiste à agglomérer la fraction solide dispersée dans l'eau et cela pour faciliter sa séparation de la phase aqueuse.

L'efficacité de ce processus dépend essentiellement de ces deux phases (liquide et solide) ainsi que des conditions opératoires.

Les conditions de réalisation de la coagulation floculation :

- 1) Les conditions opératoires jouent un rôle déterminant dans la déstabilisation des particules, elles se résument, dans les points essentiels suivants :
  - Conditions liées au dispositif expérimental, la vitesse et le temps d'agitation (lente et rapide) ainsi que le point d'injection du réactif chimique.
  - Celles liées au coagulant lui même ; sa nature et sa concentration.
- 2) Les conditions de la phase aqueuse influent directement sur l'efficacité de la coagulation floculation par ses caractéristiques physico-chimiques : la force

ionique, la composition chimique le pH et la température de l'eau.

- 3) Les propriétés propres à la phase solide, celles-ci concernant l'ensemble des particules colloïdales ou décantables. Ces particules peuvent être minérales ou organiques, dont les caractéristiques sont différentes, on citera : la composition chimique, la surface spécifique, la masse volumique la capacité d'échange ionique et le pouvoir gonflant.

Plusieurs études ont fait l'objet des conditions opératoires et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et de leur incidence sur le processus de coagulation-floculation, contrairement à la phase solide.

Donc notre travail consiste à étudier L'influence de ces particules solides sur le procédé de coagulation floculation (déstabilisation et agrégation) et par conséquent, la variation des conditions optimales de formation des agrégats en fonction de ces particules solides dispersées dans l'eau.

Pour notre travail et pour étudier ces influences on a utilisé les vases des 5 barrages de wilaya de Tlemcen Meffrouche – H.Boughrara – Sid El Abdli – Sekkak - Beni Bahdel comme particule solide.

Notre mémoire se présente en cinq chapitres :

Le début de ce travail est relatif à l'étude bibliographique, nous avons jugé utile de rappeler dans un premier chapitre quelques généralités sur les propriétés des eaux et présente un aperçu sur la qualité et le traitement des eaux.

Le deuxième chapitre traite l'enchaînement des procédures à effectuer pour traité une eau.

Le troisième chapitre donne une vue générale sur le phénomène de coagulation-floculation.

Ensuite en quatrième chapitre regroupe les protocoles suivis pour nos expériences et l'appareillage utilisé au laboratoire.

En fin en dernier chapitre nous présentant les résultats d'influences des particules argileuses (vases) étudier sur la coagulation-floculation à fin de déduire la demande en coagulant en fonction de la concentration.



# *CHAP I*

*Qualité et traitement des eaux de surface*

## **Chapitre I**

### **Qualité et traitement des eaux de surface**

Pour traiter une eau, il est dans besoin de la connaître et donc de pouvoir la caractériser le plus précisément possible. Dans le vocabulaire du traiteur d'eau, certains termes s'écartent sensiblement des termes scientifiques utilisés. Les paramètres répertoriés ci-dessous sont les plus courants [1].

#### **I.1. Paramètres de la qualité des eaux:**

La qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur. Il faut déterminer le procédé de traitement le mieux adapté pour potabiliser cette eau. Ce procédé doit être évalué en tenant compte de la variabilité de la qualité de l'eau au cours des années précédentes (variations journalières, saisonnières, climatiques) et des variations potentielles que l'on peut supposer pour le futur (construction d'un barrage par exemple) [1].

Il faut, en outre, se rappeler que, eau souterraine n'est pas synonyme d'eau pure, de nombreuses nappes sont en effet polluées, soit bactériologiquement, soit par des nitrates, des produits phytosanitaires, des solvants chlorés ou des hydrocarbures [1].

#### **I.1.1 Paramètres organoleptiques:**

Ces paramètres concernent la couleur, la transparence, la saveur et l'odeur de l'eau. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable.

##### **I.1.1.1 Couleur :**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes [1]. La couleur d'une eau liée à la présence de matières organiques dissoutes et de la matière en suspension [2] Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [1].

##### **I.1.1.2. Turbidité :**

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau .C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons est les micro-organismes. Les MES ne doit pas dépasser 1mg/l dans l'eau potable [3] [4].

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale [5].

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Ce sont des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière [5].

### **I.1.1.3. Gout et odeur:**

La saveur d'une eau est liée à la présence de certains éléments organiques, La couleur peut être due à certaines impuretés minérales (fer...) mais également à certaines matières organiques. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable ou minérale. Une eau potable ne doit présenter ni odeur, ni saveur perceptibles [1] [6].

## **I.2. Paramètres physiques et chimiques:**

Les propriétés physiques et chimiques les plus intéressantes pour le traitement de l'eau sont les suivantes :

### **I.2.1. Température:**

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels etc...

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C. Dans les eaux naturelles et au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité [7] [8].

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux quelles soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres [7] [8] [9].

### **I.2.2. Masse volumique:**

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

### **I.2.3. Viscosité:**

C'est la propriété d'un liquide d'opposer à une résistance aux divers mouvements soit internes, soit globaux, comme l'écoulement. Elle est à la base des pertes de charge (pertes d'énergie cinétique) et joue donc un rôle important en traitement d'eau. Elle diminue lorsque la température croît. Par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous; l'eau de mer est donc nettement plus visqueuse que l'eau de rivière [1].

**I.2.4. Dureté:**

La dureté de l'eau représente les teneurs en calcium et de magnésium dissoutes dans l'eau. Elle est exprimée en degré Français °F ; ce qui correspond à 4 mg/l de calcium ou 2,4 mg/l de magnésium.

- Une eau très douce à des teneurs inférieures à 10°F
- Une eau moyennement douce a des teneurs comprises entre 10°F et 20°F
- Une eau moyennement dure a des teneurs comprises entre 20°F et 30°F une eau très dure a des teneurs supérieures à 30°F.

EAU	TRES DOUCE	DOUCE	MOYENNEMENT DURE	DURE	TRES DURE
TH	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	+ de 42

**Figure I.1 : échelle de la variance de la dureté [12].**

**I.2.5. Propriétés électriques:**

L'eau pure est peu conductrice du courant électrique car elle ne contient que très peu de particules chargées électriquement (ions), susceptibles de se déplacer dans un champ électrique.

**A. Constante diélectrique:**

L'eau est le milieu naturel où le plus grand nombre de substances (minérales, organiques, à l'état gazeux, liquides ou solides) peuvent se dissoudre et entrer en réaction. [13].

La constante diélectrique élevée de l'eau explique pourquoi les substances qu'elle dissout facilement se retrouvent fréquemment sous forme d'ions [1] [14].

**B. Conductivité électrique:**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm [15].

Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température [1].

Elle est l'inverse de la résistivité électrique est exprimer par la relation suivante [2][15]:

$$\gamma \frac{1}{\rho} = \left(\frac{1}{R}\right) \cdot \left(\frac{L}{S}\right) \dots \dots \dots (I.1)$$

$$\text{Résistivité } (\Omega \cdot \text{cm}) = \frac{1\,000\,000}{\text{conductivité } (\mu\text{S/cm})} \dots\dots\dots (I.2)$$

### I.2.6. Propriétés optiques:

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse [1].

Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaine forme de pollution, et en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration, de même elle conditionne l'emploi des ultraviolets en désinfection [1].

### I.2.7 Paramètres biologiques :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des être vivants. Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges. L'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants [1].

### I.3. Paramètres microbiologiques :

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [3].

L'eau ne doit contenir de germes pathogènes en particulières salmonelle et les Escherichia coli dans 5 litres d'eau prélevée, en staphylocoques pathogène dans 100 ml d'eau prélevée. L'eau ne doit pas contenir de coliformes streptocoques dans 100000 litres d'eau prélevée [3].

### I.4 Eaux de surfaces :

Les eaux de surface ne sont pratiquement jamais potables sans aucun traitement, du fait des divers substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution. Pour améliorer leur qualité (potabilité), elles nécessitent des traitements appropriés c'est-à-dire leur faire subir des modifications physicochimiques ou biologiques, dans une chaîne de traitement classique [1].

**I.4.1. Origine des eaux de surface:**

Les eaux de surface ont deux origines : les eaux de pluies et les eaux souterraines. L'eau de pluie qui ne pénètre pas dans le sol reste à sa surface. Elle peut s'écouler et former les cours d'eau, ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement (lacs, mares, étangs,...).

Les eaux souterraines permettent la formation de sources, à l'origine de cours d'eau ou d'étendue aquatique [17].

**I.4.2. Types d'eau de surface:**

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents on distingue :

**A. Eaux courantes:**

Les eaux courantes sont les eaux qui subissent constamment un écoulement, de l'amont vers l'aval. Le cours d'eau dévale des pentes jusqu'à terminer sa course dans les mers et océans (figure I.1) [17].

**B. Eaux stagnantes:**

Les eaux stagnantes apparaissent quand il y a une entrave à l'écoulement avec un obstacle naturel ou artificiel. Plusieurs types d'eaux stagnantes se distinguent:

Les lacs sont des étendues d'eau naturelle.

Les plans d'eau artificiels sont dus à l'homme. Leur profondeur est beaucoup plus faible que pour un lac et peut s'élever au maximum à plusieurs dizaines de mètres. Ces plans d'eau artificiels comprennent deux milieux : Les étangs sont des étendues plus petites que les lacs. Ils sont souvent créés dans le but de faire de l'élevage de poisson (pisciculture). Les retenues d'eau consistent à collecter de l'eau en montagne ou dans les vallées. Ces retenues ont plusieurs vocations. Elles peuvent servir à la production d'électricité (barrage hydroélectrique), à l'augmentation du débit des cours d'eau lorsqu'il devient faible (soutien d'étiage), à la rétention des crues ou des eaux pluviales, à l'irrigation, à l'approvisionnement en eau potable ou encore aux loisirs (figure I.2) [17].



Figure I.2 une eau courante [18]



Figure I.3 une eau stagnante [19].

### I.4.3. Caractéristiques des eaux de surfaces:

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains.

Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) [1].

Le tableau I.1 donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines. Il faut noter:

- La présence quasi-générale de gaz dissous, en particulier l'oxygène.
- la concentration importante en matières en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers: la turbidité résiduelle est alors colloïdale [1].

**Tableau I. 1** les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines [1].

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable (saisons)	Plutôt constante
Turbidité / MES vraies ou colloïdales	Variable (parfois élevée / crues, rejets de carrières, fortes pluies)	Faible ou nulle sauf en pays karstique et en pays crayeux
Couleur	Dépend essentiellement des MES, des acides humiques, tannins, etc. et des algues	Dépend des acides humiques ou des précipitations Fe - Mn
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares sauf H <sub>2</sub> S
Minéralisation globale / Salinité	Variable (précipitations rejets, nature des terrains traversés, etc.)	Généralement plus élevée que celle mesurée dans les eaux de surface sur le même territoire
Fe et Mn divalent dissous	Normalement absents sauf dystrophisation des eaux profondes	Présents
CO <sub>2</sub> agressif	Généralement absent	Présent souvent en quantité
O <sub>2</sub> dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)	Absent
H <sub>2</sub> S	Absent	Présent
NH <sub>4</sub>	Seulement dans les eaux polluées	Présence souvent sans rapport avec une pollution bactérienne
Nitrates	Variable (normalement absent, parfois en quantité dans les zones d'excédent azoté)	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur normalement modérée	Teneur élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Surtout présents dans les eaux des régions industrialisés	Absents sauf suite d'une pollution accidentelle
Solvants chlorés	Normalement absents	Présents en cas de pollution de la nappe
Éléments vivants	Virus, bactéries, algues, protistes, etc. / Présence d'organismes pathogènes toujours possible	bactéries sulfato-réductrices et ferrobactéries surtout
Eutrophie	Possible, davantage si les eaux sont chaudes	Jamais



***CHAP II***

***Processus de potabilisation des  
eaux de surface***

## Chapitre II:

### Processus de potabilisation des eaux de surface

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée [20].

Le traitement d'une eau brute dépend de sa qualité, laquelle est fonction de son origine et peut varier dans le temps. L'eau à traiter doit donc être en permanence analysée car il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition et, si nécessaire, de le moduler dans le temps en fonction de la variation observée de ses divers composants. Il peut arriver cependant qu'une pollution subite ou trop importante oblige l'usine à s'arrêter momentanément [21].

Le traitement classique et complet d'une eau s'effectue en plusieurs étapes (Prétraitement, Coagulation-floculation, Décantation, Filtration et Désinfection ...) dont certaines ne sont pas nécessaires aux eaux les plus propres [22].

- **Traitement de la matière en suspension:** pour les eaux prélevées en surface, ce traitement se fait par décantation dans un premier temps, puis coagulation / floculation / décantation pour la fraction fine [23].
- **Désinfection:** par le chlore, les rayons ultraviolets ou l'ozone afin d'éliminer les bactéries et autres pathogènes [23].
- **Neutralisation:** lorsque la composition chimique de l'eau la rend agressive ou entartrante,  
*Remarque :* l'eau peut être adoucie au niveau des circuits d'eau chaude pour préserver les conduites et les appareils [23].

#### II.1. Prétraitement:

Le prétraitement est une étape préalable au traitement des effluents. Il consiste en un traitement physique des effluents afin de protéger les organes électromécaniques et les ouvrages situés à l'aval. Ils se composent de deux étapes distinctes installées en série : un dégrillage et un dessablage qui fournissent chacun un sous-produit spécifique appelé refus de dégrillage et sables [24].

### II.1.1 Fosse à bâtard:

Cette étape est réalisée pour réduire la pression imposée par la charge d'eau sur les dégrilleurs. Elle consiste à imperméabiliser une fosse devant le courant d'eau brute de manière à ce qu'on peut éliminer les dépôts pour séparer les matières lourdes, de grandes tailles, charriées dans l'eau (pierres, branches d'arbres, cadavres inertes... etc.) et qui peuvent gêner le processus des étapes ultérieurs [25].

### II.1.2 Dégrillage:

Le dégrillage, premier poste de traitement, indispensable aussi bien en eau de surface qu'en eau résiduaire, permet :

- De protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation [1].
- De séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou compliquer l'exécution [1].

L'efficacité d'un dégrillage ou tamisage est essentiellement dépendant de l'espace inter barreaux, on parlera :

- D'un pré-dégrillage lorsque l'écartement est supérieur à 50 mm.
- D'un dégrillage quand il est compris entre 10 et 40 mm.
- D'un dégrillage fin avec un écartement compris entre 3 et 10 mm [1] [23] [27].

Suivant le mode d'élimination des refus, on trouve différents types de grilles:

- **Les grilles manuelles** composées de barreaux le plus souvent inclinés à 60-80° sur l'horizontale, Elles sont réservées pour les petites stations ; le nettoyage quotidien est effectué manuellement à l'aide d'un râteau (figure II.1) [27].
- **les grilles mécaniques** pour les grandes stations, on utilise souvent des grilles mécaniques afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations. Il y a les grilles courbes et les grilles droites (figure II.2) [27].
  - **Les grilles courbes** Elles sont conseillées pour les installations de moyenne importance avec des eaux pas trop chargées. Le nettoyage se fait à l'aide de deux peignes montés sur un bras tournant autour d'un axe horizontal [27].
  - **Les grilles droites** Elles sont fortement relevées avec des inclinaisons d'environ 80°. Elles sont fabriquées avec des dispositifs de nettoyage mécanique [27].



**Figure II.1** dégrilleur manuel [28].



**Figure II.2** Dégrilleur automatique [29].

### II.1.3. Dessablage :

Les effluents bruts véhiculent souvent des quantités de sables qu'il faudra impérativement éliminer [27].

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de perturber les stades de traitements suivants. Les sables piégés au fond du dessableur sont repris par une pompe qui les refoule dans une fosse de stockage. Les égouttures des sables sont envoyés gravitairement sur le poste de refoulement [30].

La technique consiste à faire circuler l'eau brute à traiter dans des bassins dans lesquelles la vitesse de circulation est environ de 0,3 m/s pour éliminer les sables et les graviers.

La vitesse de sédimentation des particules est fonction de leur nature, de leur diamètre et de la viscosité du liquide dans lequel elles se trouvent [27].

**Tableau II 1** Des exemples de la vitesse de sédimentation de quelques matériaux [27].

<i>Matériaux</i>	<i>Diamètre mm</i>	<i>Masse spécifique g/cm<sup>3</sup></i>	<i>Vitesse de sédimentation cm/s</i>
Sable fin	0.02-2	2.65	2.65
Limons	0.002-0.02	2.65	2.65
Argile	0.002	2.65	2.65
Matières organiques	0.01-0.4	1.01	1.01

On distingue deux types de dessableurs suivant la géométrie des bassins ou la circulation du fluide :

- ❖ Les dessableurs à canaux gravitaires.
- ❖ Les hydrocyclones [31].

#### II.1.4. Dégraissage - Déshuilage:

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface. Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations [1].



**Figure II.3** l'injection de l'air dans un dégraissage-déshuilage rectangulaire [32]



**Figure II.4** Evacuation des huiles et graisses dans un dégraisseur déshuilage circulaire [33].

#### II.1.5. Tamisage:

Cette opération constitue un dégrillage fin ; elle est mise en œuvre dans le cas d'eaux résiduaires chargées de matières en suspension de petites taille [34].

Le tamisage est une filtration sur toile utilisable dans de nombreux domaines du traitement de l'eau. Suivant la dimension des mailles de la toile, on distingue :

- ❖ Le macrotamisage qui est destiné à tenir certaines matières en suspension, flottantes ou semi flottantes (débris végétaux ou animaux, insectes, brindilles, algues, herbes, etc...) de dimension comprise entre 0,2 et quelques millimètres.
- ❖ Le microtamisage qui est destiné à tenir les matières en suspension de très petites dimensions contenues dans les eaux de consommation (plancton), les dimensions des mailles comprises entre 30  $\mu\text{m}$  et 150  $\mu\text{m}$  [25].

### II.2. Clarification :

En traitement des eaux, la clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les MES (Matières en suspension) et colloïdes d'une eau ainsi que les polluants (organiques et minéraux) adsorbés à ces MES.

Elle comprend donc les étapes de coagulation-floculation, suivies de la séparation des floccs formés par décantation, flottation ou filtration [35].

### II.2.1. Décantation primaire:

Classique consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires ». Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension [36].

Le traitement primaire est adapté pratiquement dans les stations du traitement des eaux, pour but objectif :

- ❖ d'éliminer les matières flottantes.
- ❖ d'éliminer une fraction des matières colloïdales [37].

### II.2.2. Coagulation - Flocculation:

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 [38].

Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent donc en suspension. On dit qu'il y a une stabilisation des particules dans la solution [39].

L'opération de coagulation-floculation a donc pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de flocons par absorption et agrégation. Les flocons ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite (Figure II.5) [39].

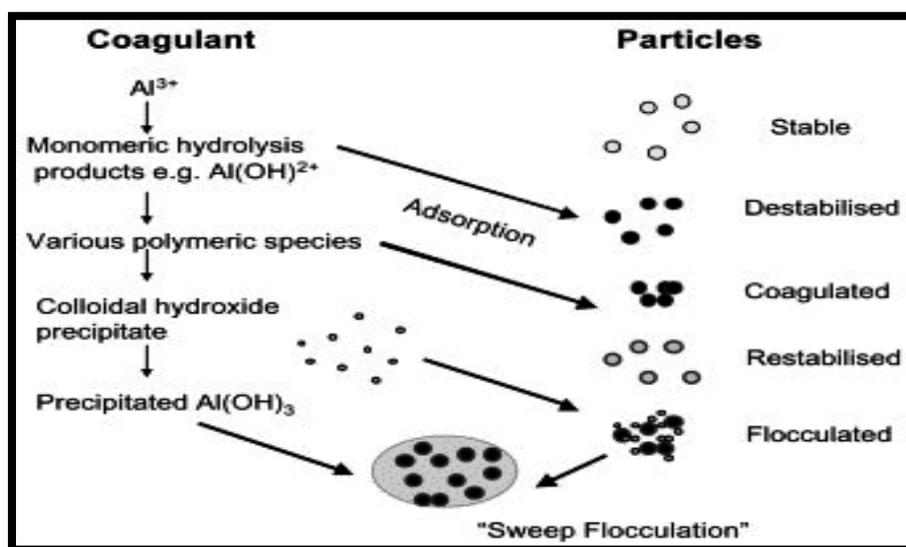


Figure II.5 schéma descriptif du phénomène de coagulation-floculation [40].

**II.2.3. Décantation:**

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblés sous forme de floc après une étape de coagulation floculation) .Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d' où l'utilité impérieuse du phénomène de coagulation- floculation [1].

**II.2.3.1. Type de décantation:**

Les particules grenues décantent indépendamment les unes des autres avec chacune une vitesse de chute constante.

Les particules plus ou moins floculées ont des tailles et des vitesses de décantation variables. Lorsque la concentration est faible, la vitesse de chute augmente au fur et à mesure que les dimensions du floc s'accroissent par suite de rencontres avec d'autres particules, c'est la décantation diffuse [1].

**II.2.3.2. Type de décanteur :**

La décantation est mise en œuvre en plusieurs type de décanteur on distingue :

**A. décanteur statique**

Il est constitué d'un bassin rectangulaire ou circulaire où les boues se déposent. Les petits décanteurs sont munis de fonds inclinés de 45° à 60° pour permettre l'évacuation continue ou intermittente des boues au point le plus bas [40].

**B. Décanteur lamellaire :**

L'eau à clarifier circule de bas en haut dans le sens inverse de la boue à l'intérieur de tubes formés par des plaques empilées les unes sur les autres [41].

L'angle d'inclinaison des tubes formés par l'empilement des plaques doit être compris entre 45° et 60°. En effet, le courant descendant des boues, crée dans les tubes, entraîne avec lui les floes les plus fins (qui auraient été entraînés par le courant d'eau ascendant) [1] [41].

Un angle d'inclinaison trop faible empêche l'auto curage des tubes car les boues ont tendance à rester accrochées sur les parois [1] [41].

**II.2.4.Traitement tertiaire:**

Les traitements tertiaires regroupent toutes les opérations physiques, chimiques ou biologiques qui complètent les traitements primaires et secondaires. Les traitements tertiaires sont nombreux et peuvent constituer une chaîne complexe ; les opérations qui les composent dépendent de l'usage que l'on fera de l'eau traitée [42].

**II.2.4.1. Filtration:**

La filtration est un procédé de séparation solide/ liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire (la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée) [1] [3] [43].

Si ces matières à retenir sont de dimensions supérieures à celle des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite « en surface », ou en « gâteau » ou encore « sur support ». Dans le cas contraire, les matières en suspension sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, et la filtration est dite « en volume » ou « en profondeur » ou encore « sur lit filtrant » [1] [3] [43].

Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [44].

**II.2.4.1.1. Procédés de filtration :**

Il existe tout un nombre de méthodes usuellement utilisées pour filtrer l'eau. Leur efficacité est liée au type d'application.

On distingue:

**A. La filtration par gravité :** Le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant [45] [46].

**B. La filtration par surpression:** L'effluent, arrive sous pression dans le filtre.

**C. La filtration sous pression réduite:** Le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide [45] [46].

Le passage de l'eau à travers un milieu filtrant entraîne, une dissipation d'énergie qui se traduit par une perte de pression, ou « perte de charge », entre l'amont et l'aval. Cette perte de charge croît plus ou moins rapidement au fur et à mesure que le milieu filtrant charge d'impuretés, et le flux d'eau filtrée décroît en conséquence, pour une pression donnée [45] [46].

**II.2.4.1.2. Type de filtre:**

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement :

- ❖ Des filtres de sables rapides.
- ❖ Des filtres de sables lents.
- ❖ Des filtres sous pression.
- ❖ Des filtres à terre diatomée [3].

**A. Filtres à sables rapides :**

Ces filtres sont généralement les plus utilisées en traitement des eaux, ils sont appliqués après coagulation floculation et décantation [47].

Ils sont caractérisés par leur débit spécifique important, par contre le colmatage des filtres se fait très rapidement [47].

Lors d'une filtration rapide l'eau traverse la couche filtrante à des vitesses de 5 à 25 m/heure. Vu de cette grande vitesse il faut fréquemment laver les filtres sous peine de voir exagérément augmenter la perte de charge. C'est pourquoi ces filtres comportent toujours un système de lavage rapide et énergétique [48].

Les eaux filtrées sont recueillies en utilisant l'une des deux méthodes suivantes :

- ❖ la couche filtrante peut reposer directement sur des dalles de béton, qui sont soit poreuses soit munies de bougies poreuses;
- ❖ la deuxième méthode consiste à recueillir l'eau filtrée au moyen de tuyaux perforés qui sont noyés dans une couche de sable fin.

**B. Filtres à sables lents :**

La filtration rapide a pour inconvénient qu'elle est une opération relativement complexe, nécessitant du personnel qualifié. D'autre part, la surface nécessaire à l'installation d'un filtre rapide est très réduite et les débits d'eau filtrée très élevés [49].

La filtration lente assure l'épuration des eaux de surface, sans coagulation ni décantation préalable quand l'eau n'est pas trop chargée en matière en suspension [48].

Elle consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique.

Un filtre de ce type est un filtre ouvert, constitué le plus généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé - divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier [44].

Ce procédé a un avantage de produire une bonne qualité d'eau, par contre elle a plusieurs inconvénients :

- ❖ Elle occupe une grande superficie.
- ❖ Elle produit un débit de traitement faible.
- ❖ Elle est sensible au colmatage.
- ❖ Elle n'arrête pas la turbidité très élevée [50].

### **C. Filtres sous pression :**

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapide, sauf que leur couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, les quels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Cet avantage ne compense toutefois pas les difficultés auxquelles on se heurte lorsque les filtres sont précédés d'unités de coagulation, de floculation et de décantation. En effet, pour éviter le double pompage, il faut alors que toutes ces unités de traitement fonctionnent sous pression [3].

### **II.2.4.2. Adsorption :**

L'adsorption est un phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour "récupérer" des molécules indésirables de fluide (liquides ou gazeuses) dispersées dans un solvant responsables de la couleur, les goûts, les odeurs. La fixation provient de l'établissement, entre le solide et les molécules, de liaisons de Van Der Waals (liaisons de type électrostatique de faible intensité, avec des énergies d'interaction entre 5 et 40 kJ/mol) [51].

L'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif, d'origine végétale ou minérale, que nous retrouverons lors de l'étude de traitement des eaux destinées à la consommation humaine [52].

### **II.2.4.3. Désinfection de l'eau :**

Dernière étape, indispensable pour la fabrication de l'eau potable, elle élimine tous les micro-organismes qui pourraient être dangereux pour notre santé. Il existe diverses méthodes de désinfection: les plus répandues sont la chloration, l'ozonation, et la stérilisation aux rayons ultra-violetts [1] [53].

#### **A. Désinfection par le chlore ou chloration**

Est le procédé le plus utilisé. On injecte dans l'eau, de l'eau de javel ou du chlore gazeux suivant un dosage précis. Simple et peu onéreux, ce traitement peut, dans certaines conditions,

donner un mauvais goût à l'eau. Le bioxyde de chlore est parfois utilisé à la place du chlore. Il permet d'obtenir une eau de meilleure qualité gustative [1] [53].

### **B. Désinfection par l'ozone ou ozonation**

Est un procédé plus coûteux. Des bulles d'air ozonées (20 g d'ozone par m<sup>3</sup> d'air) sont mises au contact de l'eau dans laquelle l'ozone se dissout.

L'ozone a un pouvoir désinfectant remarquable : une dissolution de 1 à 4 mg de ce gaz dans un litre d'eau garantit la destruction de tous les éléments pathogènes. Il ne donne aucune saveur particulière à l'eau et supprime les couleurs. Après avoir exercé dans l'eau son action, il s'autodétruit progressivement. Il ne peut donc pas assurer la désinfection tout au long du réseau [1] [53].

### **C. Désinfection par rayonnements ultra-violet :**

Est un procédé peu coûteux. Du fait de sa faible persistance, il est utilisé par les communes ayant un réseau peu étendu. Il consiste à soumettre l'eau à un rayonnement ultraviolet d'une longueur d'onde précise, capable de détruire les bactéries et les virus [1] [53].

#### **II.2.4.4. Affinage :**

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation-floculation.

Cet affinage est réalisé par le phénomène d'adsorption, généralement sur du charbon actif. Celui-ci est mis en œuvre soit en poudre au cours de la floculation et sera par la suite évacué avec la boue, soit sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable [54] [55].

### **II.3. Traitement des eaux naturelles en Algérie :**

En Algérie, les eaux de surface constituent donc une part importante des ressources hydrauliques et ne font pas jusqu'à présent l'objet d'analyses systématiques et régulières de contrôle ou de surveillance de pollution [56].

Néanmoins, il convient de citer que certains paramètres physico-chimiques (pH, dureté, température, conductivité,...) sont analysés périodiquement par des laboratoires spécialisés tels que le laboratoire d'hydrochimie de l'agence Nationale des ressources hydrauliques (ANRH) ou les laboratoires régionaux rattachés aux entreprises de production d'eau potable [56].

D'autre part, des analyses plus spécifiques sont parfois effectuées en cas de pollution accidentelle (métaux lourds, détergents,...) [56].

Le tableau II.2 présent un échantillonnage de résultats d'analyses physico-chimiques réalisées sur différentes eaux de barrages à travers le Centre, l'Est et l'Ouest du Nord de l'Algérie.

**Tableau II.2. Résultats d'analyses effectuées de (ANRH) sur les eaux brutes à l'état naturel, sans aucun prétraitement ou traitement [56].**

Région	Barrages	pH	RS mg/l	O <sub>2</sub> d %	NO <sub>3</sub> - mg/l	NO <sub>2</sub> - mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	DBO mg/l	DCO mg/l	MO mg/l
O U e s t	Ferguoug	7.58	1200	136.8	5.00	0.06	0.20	0.01	-	50	6.1
	Bouhnifia	7.47	1080	86.3	5.00	0.06	0.40	0.00	-	70	11.2
	SMBA	7.86	1170	106.0	1.00	0.03	0.16	0.15	2.4	10	5.1
	Merdja-S -A	7.95	1480	91.6	4.00	0.08	0.116	0.06	5.0	20	6.8
	Ouizert	7.52	980	130.9	5.00	0.12	0.68	0.07	-	60	6.9
	Gargar	7.61	1000	82.5	7.00	0.09	0.38	0.04	4.6	20	5.9
	Cheurfa	7.41	1860	150.3	7.00	0.26	1.42	0.14	13.0	70	14.0
	Bouhrara	7.6	1200	88.9	6.00	1.4	2.66	3.19	-	40	7.7
	Beni Bahdel	7.07	400	87.7	5.00	0.08	0.12	0.00	-	30	8.1
	Mefrouch	6.86	300	86.3	7.00	0.15	0.27	0.27	-	70	2.8
Sidi-Abdelly	7.54	700	81.4	4.00	0.19	0.19	0.01	-	50	16	
C E N T r e	Keddara	8.04	988	98.38	5.0	-	-	-	-	-	-
	Ghrib	7.20	2307	-	0.1	0.00	0.157	0.337	2.6	57	8.0
	Bouroumi	7.40	1150	-	4.5	0.013	0.010	0.84	3.1	5	4.3
	Boukourdan	7.30	508	82.8	1.4	0.00	0.103	2.142	2.0	30	2.3
	Deurdeur	7.20	805	-	1.6	0.170	0.059	0.428	4.0	9	5.3
	Lekhal	8	452	73.8	6.3	0.153	0.00	0.520	1.2	82	8.3
	Harreza	7.60	1313	-	0.9	0.125	0.046	0.153	1.3	71	5.3
	Fodda	7.50	632	75.6	0.00	0.00	0.00	1.805	1.2	66	5.4
Sidi Yakoub	7.51	1230	79.10	0.00	0.00	0.00	0.673	2.2	47	9	
E S T	Ain-Zada	8.15	600	100.0	1.0	0.015	0.030	0.15	7.2	81	11.6
	H-Grouz	7.98	1040	83.3	1.0	0.010	0.00	0.20	9.8	40	13.7
	Zardezas	8.17	460	89.7	5.0	0.035	0.080	0.100	2.7	20	2.8
	Guenitra	8.15	360	96.0	1.0	0.010	0.020	0.00	3.7	31	2.8
	Ain-Della	8.13	480	95.0	5.0	0.030	0.00	0.00	2.5	25	10.0
	Chef fia	7.74	300	92.4	1.0	0.020	0.00	0.00	3.5	14	6.5

Globalement de qualité médiocre et nécessitent dans tous les cas un traitement poussé de potabilisation. En effet, en faisant une rapide comparais on de cette qualité avec les normes de potabilité valeurs guides ANRH (tableau II.3), il apparaît que les eaux Algériennes sont souvent minéralisées, avec une dureté assez importante, notamment pour les eaux du Sud Algérien [56].

**Tableau II.3 :** Valeurs guides de l'ANRH et concentration limite de Directives de la CEE utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.

Désignation	Valeurs guides de l'agence Nationale des ressources hydrauliques				Directives CEE
	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très Mauvais	Concentration limite
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	8.5-9	>9et<6.5	-
O2 dissous %	120-90	90-50	50-30	<30	>30%
NH4 +(mg/l)	0-0.01	0.01-01	0.1-3	>3	4
NO2 -(mg/l)	0-0.01	0.01-01	0.1-3	>3	-
NO3 -(mg/l)	0-10	10-20	20-40	>40	50
PO43 -(mg/l)	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3	-
DBO5 (mg/l)	5	5-10	10-15	>15	-
DCO (mg/l)	20	20-40	40-50	>50	-
MO (mg/l)	5	5-10	10-15	>15	10
RS (mg/l)	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600	-

### II.3.1 Fonctionnement des stations de potabilisation Algérienne :

En Algérie, il existe une dizaine de stations de traitement importantes, de différents conceptions et qui sont en majeure partie de construction récente.

Les eaux traitées proviennent des :

Barrages ou retenues qui comporte des prises d'eau et des galeries de répartition d'eau généralement dans plusieurs canaux (cas des barrages Tlemcen, Annaba et Médéa) [56] [57] [58].

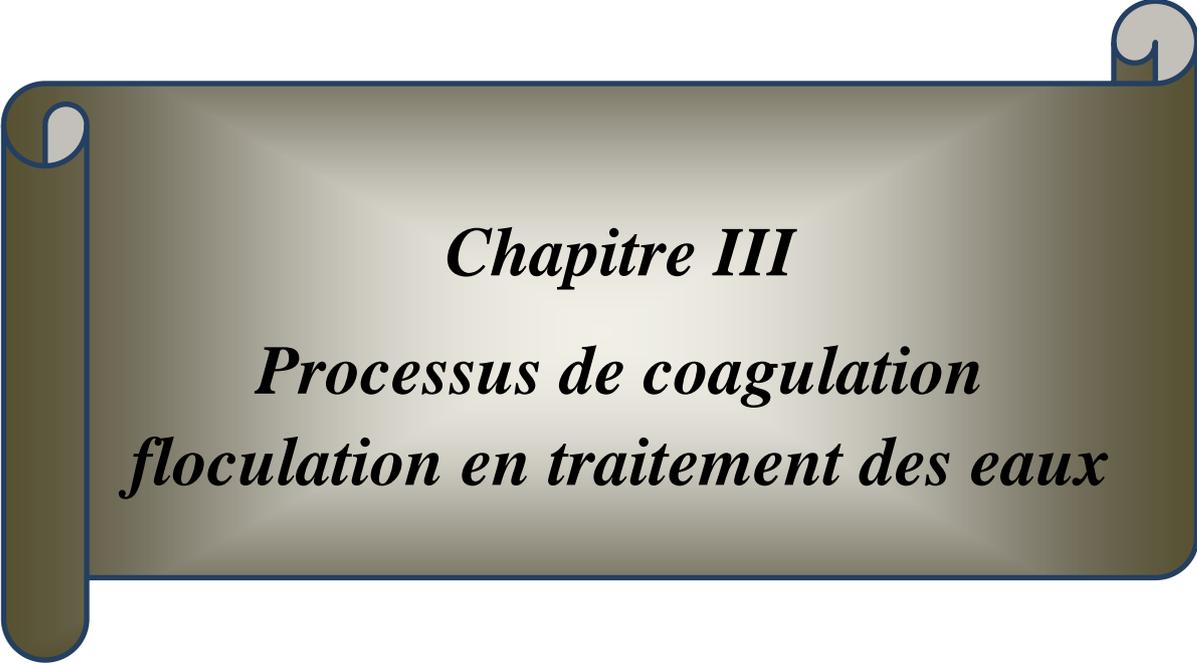
Oued où des prises d'eau sont convenablement aménagées pour éviter la pénétration dans l'ouvrage du lit mobile de l'oued ; on cite le cas de la station de Médéa qui utilise les eaux de l'Oued Chiffa et Merdja, la station de Jijel alimentée par l'Oued Kessir [56] [59].

La conception de la plupart des stations de traitement Algériennes répond au schéma classique

- a)** Une préchloration, souvent effectuée par le chlore gazeux et l'eau de javel.
- b)** Une coagulation floculation ; le coagulant est injecté soit à la sortie de la conduite de refoulement ou dans des bassins de mélange.
- c)** Une décantation généralement statique et plus rarement à lit de boues.
- d)** Une filtration rapide sur lit de sable.
- e)** Une post-chloration à l'hypochlorite de sodium ou au chlore gazeux [56] [60].

Il est utile de souligner qu'un ajustement de pH est éventuellement réalisé et ce par l'injection d'un correctif (chaux ou acide en fonction de la nécessité). Cependant, malgré leur nécessité, certaines opérations ne sont pas réalisées et ce suit e aux problèmes rencontrés au niveau national, à savoir : l'arrêt de certains dispositifs ,l'existence d'imperfections en génie civil ou de certains problèmes hydrauliques concernant les stations intermédiaires de refoulement ou les conduites d'amenée de diamètre trop faible , manque de personnel technique et de main d'ouvre bien expérimentée ainsi que le manque d'équipements de laboratoires [56] [60].

Par ailleurs, il convient de signaler que la pluviométrie en Algérie est très variable selon les saisons ce qui influe sur la qualité et la quantité des eaux à traiter et par suite se répercute sur les modalités pratiques à mettre en ouvre pour le fonctionnement des stations [56] [60].



*Chapitre III*

*Processus de coagulation  
floculation en traitement des eaux*

## **Chapitre. III**

### **Processus de coagulation floculation en traitement des eaux**

En tant que processus unitaire du traitement de l'eau, la coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans des dispersions aqueuses, afin d'assembler en floes plus gros les fines particules dispersées. Ces nouveaux agrégats (floes) peuvent être éliminés, après floculation, par des procédés tels la décantation ou la filtration. La floculation est considérée ici comme processus distinct qui a lieu en fin de coagulation. Elle consiste à favoriser la croissance de floes macroscopiques, avec ou sans utilisation d'additifs tels les adjuvants de floculation. Bien que la floculation soit la conséquence naturelle de la coagulation, les deux procédés correspondent à des technologies spécifiques qui doivent être mises en oeuvre selon des règles spécifiques de conception; ceci signifie que la floculation doit être envisagée comme un processus à part entière [61].

La coagulation floculation est un traitement de clarification très efficace dont l'objectif primordial est l'élimination de la portion non décantable des matières en suspension. Cette catégorie de substances est représentée essentiellement par les colloïdes, caractérisés par leur grande stabilité [62] [63].

La coagulation est certes une opération simple à réaliser mais les mécanismes mis en jeu sont très complexes et ne cessent d'occuper une large place dans les recherches récentes [62] [63].

La compréhension de ce phénomène nécessite une connaissance approfondie de l'état colloïdal, de la structure chimique des coagulants utilisés ainsi que leur mode d'action [62] [63].

#### **III.1. Solutions colloïdales:**

Les colloïdes, ou « solutions » colloïdales, sont des mélanges (liquide, gel) qui contiennent, en suspension, des particules. Ces particules, ou objets colloïdaux, ont une taille supérieure aux molécules qui les constituent mais suffisamment petites pour que le mélange demeure homogène [64].

##### **III.1.1. Particules en suspension :**

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

- Les matières en suspension qui regroupent les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à  $1\mu\text{m}$ . Leurs temps requis pour décanter d'un mètre varient de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité [64].
- Les matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1,1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 66600 années pour décanter de un mètre [64].
- Les matières dissoutes, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre [64].

### III.1.2. Colloïdes:

Les systèmes colloïdaux sont définis comme étant des dispersions dont les particules possèdent des dimensions moyennes comprises entre 0.001 et  $1\mu\text{m}$  et des vitesses de sédimentation si faibles que leur chute est rendue impossible par l'agitation thermique du milieu [54] [65].

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les microorganismes tels que les virus. Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur [54] [65].

#### III.1.2.1. Types de colloïdes:

Les particules colloïdales sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles [66].

##### A. Les colloïdes hydrophiles:

Les hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique [57].

Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules [3].

Parmi les substances de cette nature, on peut citer les protéines, les savons, la gélatine et la matière organique naturelle. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération [54].

**B. Les colloïdes hydrophobes:**

Les hydrophobes sont des micelles ou agrégats de molécules simples, dissoutes et qui comprennent la plupart des corps de la chimie minérale [57].

Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée. On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques [3].

Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles [34].

Pour expliquer la grande stabilité des colloïdes, on fera appel à la théorie de la double couche électrique émise en 1879 par HOLMOLTZ et développée ensuite par plusieurs chercheurs dont HUCKEL, STERN et GOUY (in[8], in[65], in[32]).

Elle se résume ainsi :

**Théorie de Helmholtz** : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée) [68] [69].

**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) [68].

**La théorie de Stern** : est un compromis des deux précédentes. Elle considère la formation de la double couche. La première adhère à la particule et le potentiel décroît rapidement. La seconde est plus diffuse et le potentiel décroît plus lentement [68] [69].

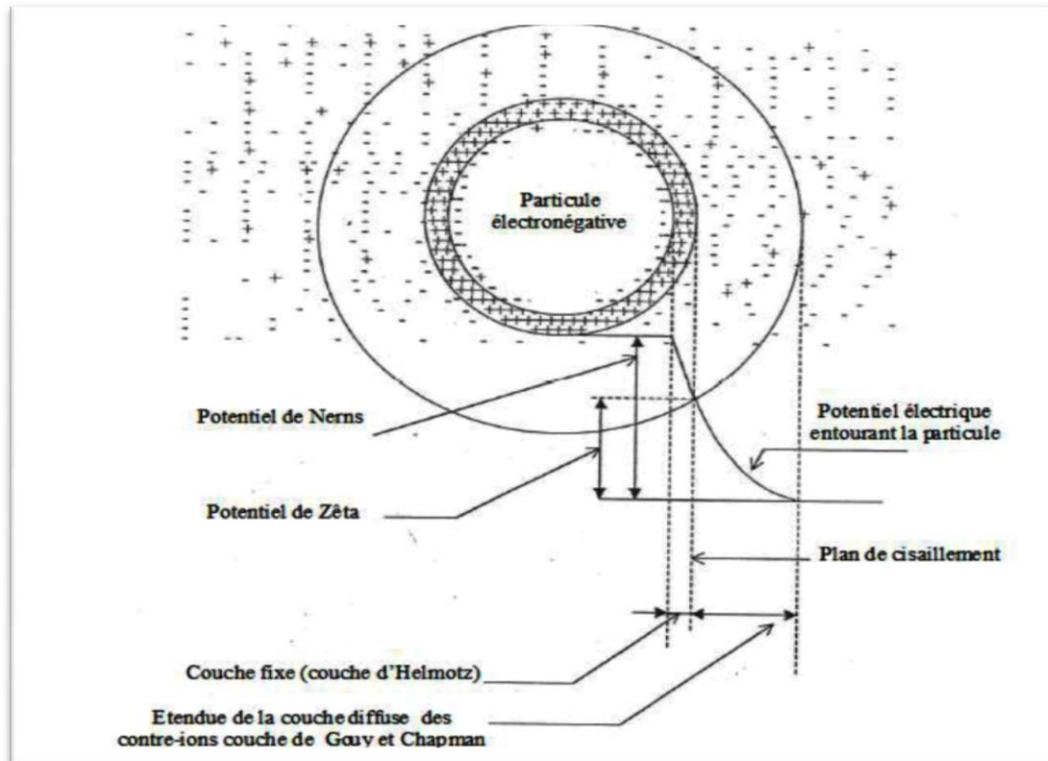
Un colloïde est caractérisé par 2 potentiels :

**Potentiel thermodynamique** : appelé potentiel de Nernst présent à la surface même du colloïde [70].

**Potentiel électrocinétique** : Ce potentiel mesuré au plan de cisaillement et appelée le potentiel Zêta [70].

Le plan de cisaillement est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule [70].

Pour une particule hydrophobe, ce plan est situé à la limite de la couche liée, alors que pour une particule hydrophile, il est situé à la limite extérieure de la couche d'eau liée à la particule [3].



**Figure III.1 Distribution ionique autour d'une particule colloïdale (d'après le modèle de Gouy-Chapman-Stern) [71].**

### III.1.2.2. Potentiel Zêta :

Dans l'eau brute, les colloïdes sont généralement chargés négativement et se repoussent mutuellement. Afin de neutraliser cette charge superficielle négative, on ajoute des cations qui forment une couche autour du colloïde favorisant le rapprochement des particules. C'est la coagulation.

Pour mesurer la puissance de charge de la particule, on utilise un Zétamètre. Cet appareil permet d'évaluer la charge des particules grâce à la mesure du potentiel Zêta qui régit la manière dont les colloïdes se déplacent et interagissent.

En pratique, plus il est négatif, plus la charge de la particule s'intensifie (négativement bien sûr). Ainsi, au fur et à mesure qu'il diminue en valeur absolue, les particules peuvent s'approcher les unes des autres plus étroitement, ce qui accroît les probabilités de collision. Dans un système de clarification classique, à un pH compris entre 6 et 8, les coagulants fournissent des charges positives qui diminuent le potentiel Zêta. Théoriquement, la coagulation se produit à l'annulation de ce potentiel, ce qui correspond à une complète neutralisation de charge. Mais, en pratique, ce n'est pas nécessaire ; il suffit que ce potentiel soit légèrement négatif. Il faut faire attention à ne pas trop ajouter de coagulant, car la surface

de la particule va alors se trouver chargée positivement (potentiel Zêta positif) et les colloïdes vont se disperser à nouveau [8] [49] [57].

### III.2. Coagulation-floculation:

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1m en chute libre peut être de plusieurs années [72].

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdales présente dans l'eau [66], puis formation de floes par absorption et agrégation. Les floes ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [72].

#### III.2.1. Coagulation:

La coagulation consiste à la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants. Le procédé nécessite une agitation importante (Tableau III.1) [38].

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût [38].

**Tableau III.1. Les étapes de l'agrégation [1] [25].**

Stade	Phénomène	Terminologie
Ajout du coagulant	Réaction avec l'eau : ionisation, hydrolyse, polymérisation.	Hydrolyse
Déstabilisation	Compression de la double couche électrique	Coagulation
	Adsorption spécifique d'ions du	
	Inclusion du colloïde dans un précipité d'hydroxyde	
	Liaison interarticulaire par des espèces polymériques du	
Transport de la particule (contact entre les particules)	Mouvement brownien	Floculation péricinétique
	Energie dissipée (gradient de vitesse)	Floculation orthocinétique

**III.2.1.1. Déstabilisation des particules colloïdales:**

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

- ❖ Compression de la double couche.
- ❖ Adsorption et neutralisation des charges.
- ❖ Emprisonnement des particules dans un précipité.
- ❖ Adsorption et pontage entre les particules [38].

**A. Compression de la double couche :**

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

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^n C_n Z_N^2 \dots\dots\dots (III.1)$$

Avec :

$\mu$ = force ionique ;

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

$Z_n$ =valence de l'ion n [64].

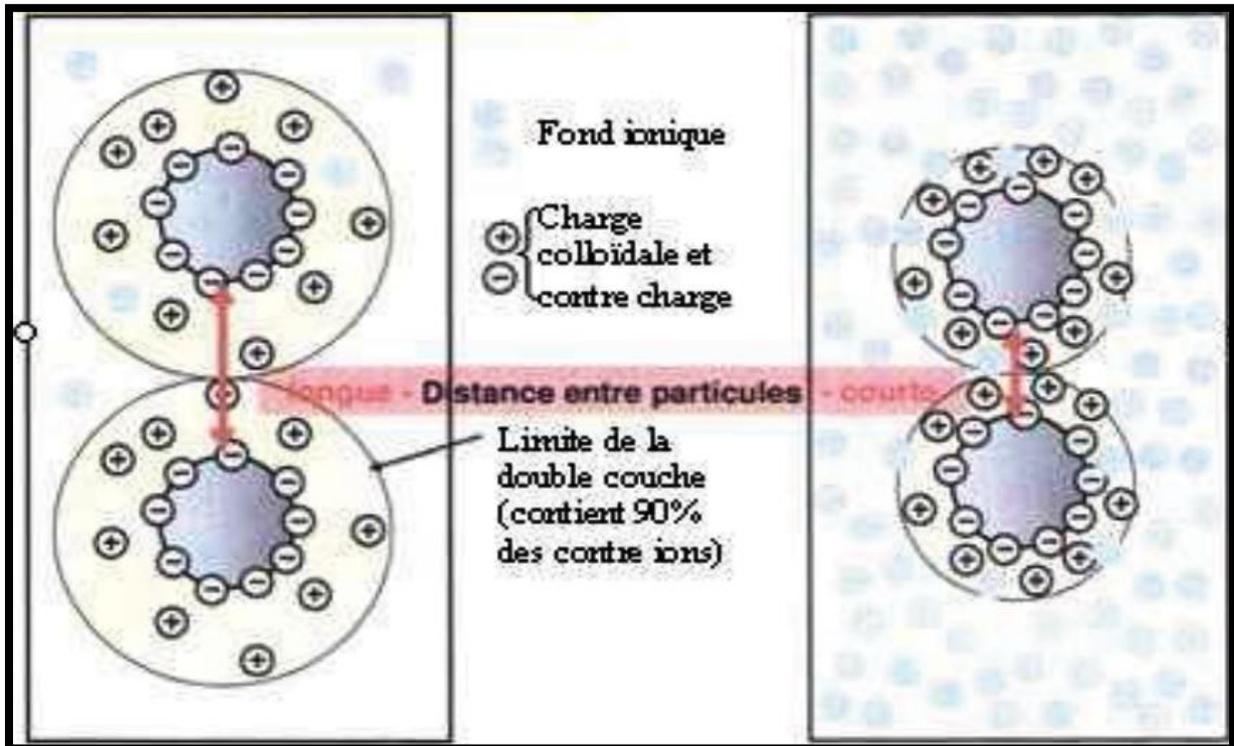


Figure III.2 Représentation schématique de la compression de la couche diffuse [66].

### B. 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 rentabilisées [34].

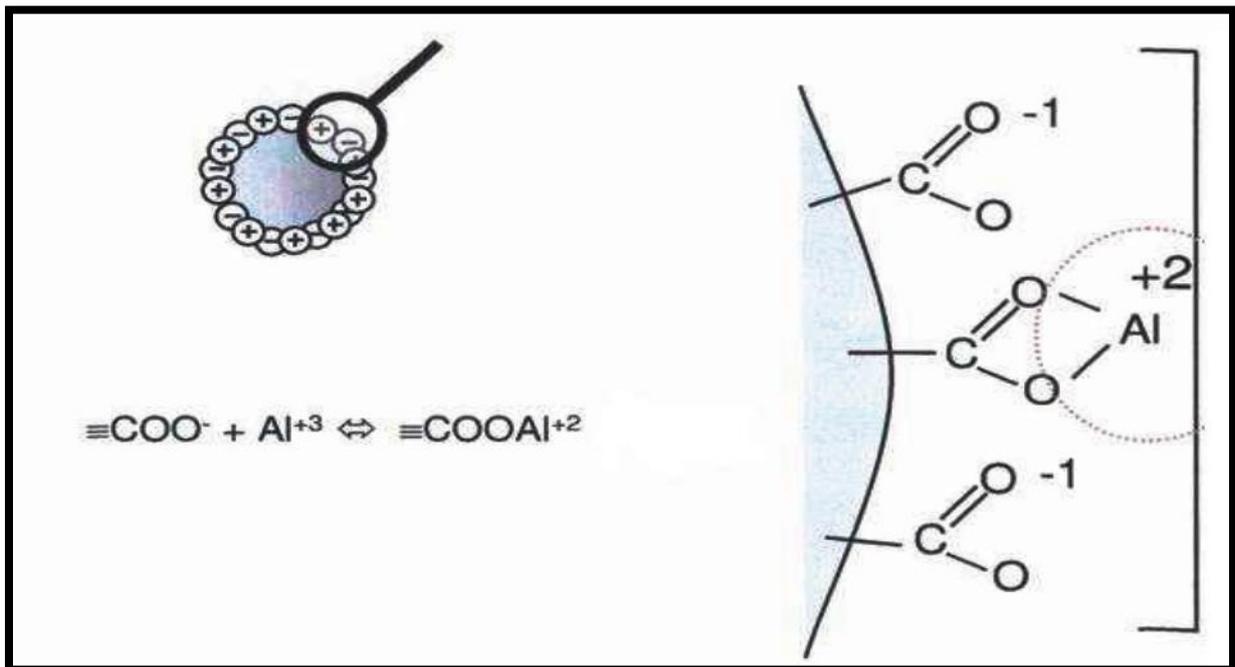


Figure III.3 Représentation schématique de neutralisation des charges [66].

### C. Emprisonnement des particules dans un précipité :

Pour déstabiliser les particules colloïdales. On peut en outre les emprisonner dans une particule de floc. Lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ou  $\text{FeCl}_3$ , on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc constitué de molécules de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou le  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , possède habituellement une charge positive, la présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc, ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant nécessaire [3].

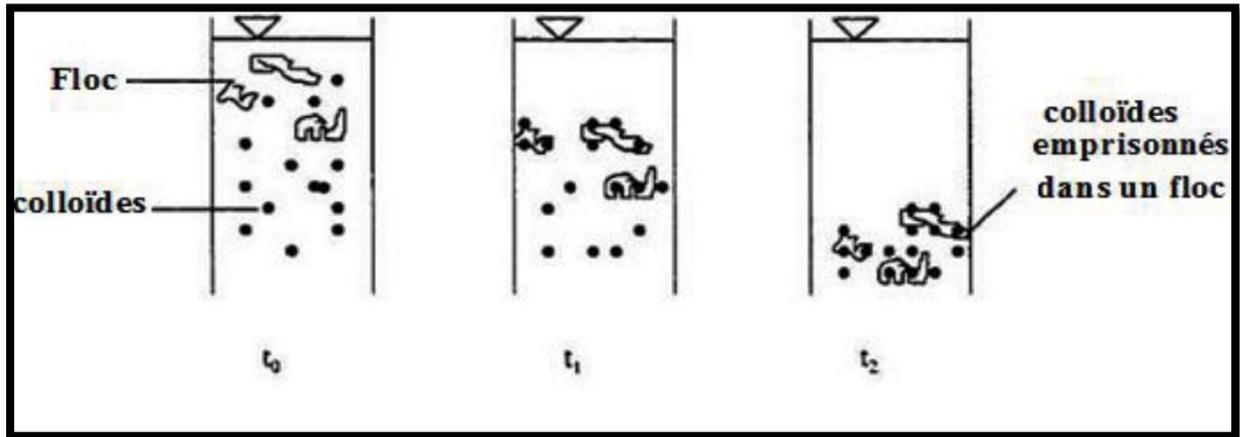


Figure III.4 Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation [66].

#### D. Adsorption et pontage :

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non anioniques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale [34].

Ce phénomène, inexplicable à l'aide de la théorie électrique peut toutefois être expliqué par le pontage. Les molécules de polymères, très longues constituent des groupes chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales. Les molécules de polymères peuvent ainsi adsorber une particule colloïdale à une de ses extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules. On dit alors que les molécules de polymères forment des ponts. Entre les particules colloïdales, il peut y avoir réstabilisation de la suspension, réstabilisation imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule molécule de polymère ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales, ce qui est encore contraire au but recherché [3].

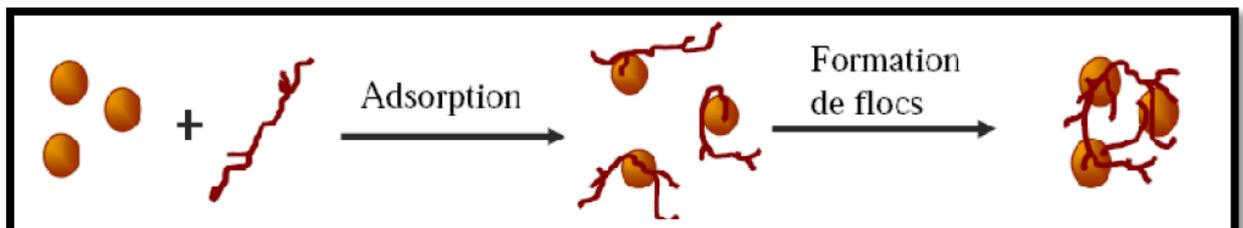


Figure III.5 Adsorption et pontage à l'aide de polymères [68].

### III.2.2. Facteurs influençant la coagulation :

Pour optimiser Le procédé de coagulation-floculation, il faut tenir compte de plusieurs variables en relation.

Ces variables sont liés à la qualité de l'eau à traiter : le pH, la turbidité, la couleur, les sels dissous et la température. D'autres sont liés au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection [43].

Les interrelations complexes entre ces facteurs interdisent actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants [3].

#### III.2.2.1. Influence du paramètre pH :

Le pH est considéré comme un des facteurs les plus importants à prendre en considération au moment de la réalisation de l'opération de coagulation-floculation.

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation.

En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques [73] [74].

**Tableau III.2 Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium**  
[73] [74].

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

#### III.2.2.2. Influence de la température :

La température est un facteur physique important qui joue un rôle non négligeable lors la coagulation [75].

En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons [75].

**III.2.2.3. Influence du coagulant :**

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter [34].

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

Ainsi, même si le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimal plus large que celle due à l'alumine. De plus pour un même pH élevé, le sulfate ferrique est moins soluble que l'alumine [76].

**III.2.2.4. Influence de la dose de coagulant :**

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base.

Une dose de coagulant excessive entraîne une restalinisation des particules et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut se déterminer facilement.

Pratiquement, la dose optimale de coagulant peut être déterminée soit par l'emploi de la mesure du potentiel zêta (nécessite un matériel très coûteux), soit par un test au laboratoire, connu sous le nom de "Jar-Test" [76] [77] [78].

**III.2.2.5. Influence de la turbidité :**

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles. Dans le cas de fortes pluies, l'augmentation des MES favorise une meilleure décantation. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation [76] [77] [78].

**III.2.2.6 Influence de la couleur :**

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

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

La quantité de coagulant requise est fonction de la couleur initiale ; pour un pH optimal, la couleur résiduelle décroît proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de coagulant utilisée. Le pH optimal pour l'élimination de la couleur varie entre 4 et 6 [3].

**III.2.2.7. Influence des conditions de mélange :**

Les deux étapes de formation du floc consistent en une phase d'agitation rapide suivie d'une phase d'agitation lente permettant la maturation du floc.

Néanmoins, il faut éviter que l'agitation soit trop intense car elle empêche l'agrégation, ni trop prolongée car elle entraîne la restabilisation des colloïdes [79].

La notion de gradient hydraulique a été émise pour la première fois en 1943 par CAMP et STEIN [80].

$$G = \left(\frac{P}{\mu v}\right)^{1/2} \dots\dots\dots(III.2) [80].$$

- G : gradient hydraulique(s- 1).
- μ : viscosité dynamique du liquide (kg m-1 . s-1).
- V : volume du liquide (m3).
- P : puissance dissipée dans le liquide (W).

Dans le cas ou l'agitation est mécanique, la puissance est exprimée par la relation :

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) C_t \cdot A \cdot \rho \cdot V_r \dots\dots\dots(III.3) [80].$$

- C<sub>t</sub>: Coefficient de trainée (il est égal à 1.8 pour des pales plates)
- A : Surface de la pale (m2).
- ρ : Masse volumique du liquide (kg/ m3).
- V<sub>r</sub> : vitesse relative de la pale par rapport à la vitesse du liquide qui l'entoure.  
 Soit ≈ 0.75 × vitesse périphérique de la pale (vp) ; vp = 2π d N/60  
 Ou « d » représenté la distance de l'extrémité de la pale à l'axe de rotation.

Les valeurs généralement admises pour G sont :

- En coagulation : jusqu'à 100 voire 500 s -1
- En floculation de l'ordre de 20 à 60 s -1

L'expérience démontre que produit adimensionnel  $Gts$  ( $ts$  est le temps de séjour de l'eau dans le flocculateur) doit se situer entre  $10^{+4}$  et  $10^{+5}$  pour une floculation bien réalisée (agitation lente).

### III.2.3. Types de coagulants/floculants utilisés :

Dans la séparation liquide/solide par coagulation-floculation le choix des coagulants et/ou floculants est très large et son influence est grande sur les procédés envisagés pour effectuer la séparation (sédimentation, flottation, filtration) et pour limiter la quantité des boues produites.

Des coagulants floculants minéraux et organiques sont disponibles .La connaissance de leur chimie, leur structure et des mécanismes d'interaction avec les minéraux sont nécessaires afin d'optimiser les procédés [81].

### III.2.4. Coagulants utilisés :

Les principaux types de coagulant employés sont à base de sels d'aluminium ou de fer [82].

#### III.2.4.1. Sels d'aluminium :

Un coagulant est dit un coagulant de type sels d'aluminium lorsqu'il regroupe à sa composition de l'aluminium. On distingue :

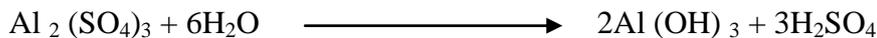
##### III.2.4.1.1. Sulfate d'aluminium :

Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau [66]. Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 15 à 100 g/m<sup>3</sup>.



Figure III.6 Le sulfate d'aluminium en poudre [83].

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



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



La réaction globale est



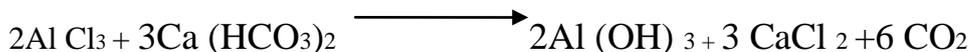
#### III.2.4.1.2. Alumine de sodium :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 5 et 50 g/m<sup>3</sup>[84]. La formule de réactif commercial d'aluminate de sodium est à 50% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



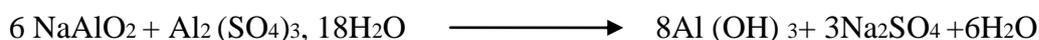
#### III.2.4.1.3. Chlorure d'aluminium :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40 g/m<sup>3</sup>[84]. La formule de réactif commercial de chlorure d'aluminium est AlCl<sub>3</sub>, 6 H<sub>2</sub>O.



#### III.2.4.1.4. Addition de sulfate d'aluminium et l'aluminate de sodium :

Pour une réaction équimoléculaire, il faut que la dose en aluminate de sodium commercial soit égale à 75 % de la dose de sulfate d'alumine commerciale. La dose d'aluminate peut cependant être beaucoup plus faible et dans ce cas le réactif ne sert qu'à amorcer la coagulation de sulfate d'alumine [84].



#### III.2.4.2 Sels de fer :

Les sels de fer sont généralement plus coûteux que le sulfate d'aluminium, ce qui explique leur emploi plus restreint. Par ailleurs, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables [66] [85] [86].

Ils se révèlent plus efficaces comme coagulants quant à l'abattement des substances humiques. On peut citer le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) peut induire une coloration de l'eau traitée, le chlorosulfate ferrique (liquide) est de formule  $\text{FeSO}_4\text{Cl}$  et le sulfate ferreux est peu utilisé et de formule  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  [85] [86].

#### III.2.4.2.1 Sulfate ferrique :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferrique sera comprise entre 10 et 50g/m<sup>3</sup>.



Figure III.7 Le sulfate ferrique en poudre [83].

#### III.2.4.2.2 Chlorure ferrique :

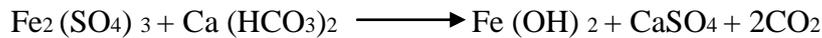
La dose de chlorure ferrique sera comprise entre 5 et 150 g/m<sup>3</sup>, pour la clarification des eaux de surface, et entre 50 et 300 g/m<sup>3</sup> pour la clarification les eaux résiduaires [84].



Figure III.8 Le chlorure ferrique en poudre [83].

**III.2.4.2.3 Sulfate ferreux :**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferreux sera comprise entre 5 et 25 g/m<sup>3</sup>[84].

**III.2.5 Floculation :**

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

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules [3].

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

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floes engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floes risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes [66].

L'expression de SMOLUCHOWSKY permet de comprendre ce phénomène.

$$\ln \frac{N}{N_0} = - \frac{4}{\pi} \alpha \Omega G t \dots \dots \dots (III.4)$$

Avec :

**N** et **N<sub>0</sub>**: nombre de particules colloïdales libres à l'instant t et t<sub>0</sub>.

**α**: Facteur de fréquence de collision efficace.

**Ω**: Volume de particules par volume de suspension.

**G**: gradient de vitesse.

**t**: temps de contact [45].

**III.2.5.1. Type de floculation :**

La floculation peut être faite à l'aide d'une de ces deux méthodes suivantes :

- La floculation physique.
- La floculation chimique [34].

**III.2.5.2 Processus de floculation physique :**

Elle consiste à augmenter par la création d'une différence de vitesse entre les particules colloïdales déstabilisées, la probabilité des contacts entre ces particules afin de les agglomérer en floes denses ensuite de les décanter. [34].

La floculation en clarification des eaux consiste en deux phénomènes de transport successifs le mouvement brownien (floculation péricinétique), et le brassage mécanique (floculation orthocinétique).

**III.2.5.2.1. Floculation péricinétique :**

N'intervenant que sur les particules colloïdales, elle favorise la formation du microfloc. Elle est liée à la diffusion brownienne, qui est en fonction de la température de l'eau. Le mouvement brownien correspond au déplacement désordonné des colloïdes par le bombardement de chaque molécule d'eau [64] [87].

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

$$F_p = \frac{dN}{dt} = -4 \frac{\Gamma k \theta (N)^2}{3\eta} \dots\dots\dots(III.5) \text{ (in[87])}.$$

Avec :

**N** : nombre de particules par m<sup>2</sup>.

**Γ** : facteur tenant en compte l'efficacité de collisions.

**K** : constante de Boltzmann (1,38.10<sup>-23</sup> J.K<sup>-1</sup>).

**θ** : température (K).

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

Le taux de variation du nombre de particules, lors de la floculation péricinétique est important lorsque la taille des particules est inférieure à 1 micron [64] [87].

**III.2.5.2.2 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,  $G$ . [64] [87].

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

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{2}{3} \Gamma G d^3 N^2 \dots\dots\dots (III.6) [87].$$

Avec :

$G$  : gradient de vitesse (s-1) ;

$d$  : diamètre des particules (m) [64] [87].

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

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \dots\dots\dots (III.7) [87].$$

Avec :

$P$  : puissance réellement dissipée (W) ;

$V$  : volume du bassin (m<sup>3</sup>) ;

$\mu$  : viscosité dynamique de l'eau (kg/m\*s) [64] [87].

### III.2.5.3 Floculation chimique :

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

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

Lorsque la turbidité de l'eau est très élevée, la floculation peut être réalisée aussi par recirculation des boues déjà formées par le traitement antérieur pour que les particules colloïdales déstabilisées puissent s'accrocher avec ces boues et par conséquent puissent décanter. La floculation dans ce cas est dite par voile de boue [22].

#### III.2.5.3.1 Floculants :

Les floculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé [54].

Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocons. Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique de synthèse [39] [65] [67].

**A. Flocculants minéraux :**

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les 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 la sable fin (micro sable) [34].

**B. Flocculants organique naturelle :**

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent voir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides [34].

**C. Flocculants de synthèse [34]:**

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

- Anionique : conçu à partir de polymère d'acrylamide et de l'acide acrylique.
- Neutre : conçu à partir de polycrylamides.
- Cationique : conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle.

**III.2.6. Mise en œuvre de la coagulation- floculation :**

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

- 1<sup>ère</sup> phase : mélange rapide et vigoureux.
- 2<sup>ème</sup> phase : mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pâles ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de floccs sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différents de vitesse dans le bassin nécessaire à la rencontre des particules [44].

**III.3. Avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation :**

Le processus coagulation-floculation comme tout un autre procédé a des avantages et des inconvénients sur le traitement des eaux.

### III.3.1. Avantages :

- ❖ L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, il y a donc beaucoup d'équipement déjà existant et une multitude d'agents chimiques disponibles.
- ❖ Les systèmes de coagulation-floculation chimique sont généralement automatisés et demandent donc peu de surveillance et d'entretien. Une main-d'œuvre hautement qualifiée n'est souvent pas nécessaire.
- ❖ Contrairement aux systèmes biologiques, ce système requiert moins d'espace et les coûts d'installation sont moins importants.
- ❖ Une réduction significative est obtenue en terme de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus.
- ❖ Les systèmes chimiques de coagulation-floculation peuvent être conçus afin d'obtenir un produit à valeur ajoutée [88].

### III.3.2. Inconvénients :

Puisqu'il y a plusieurs réactions en compétition dans ce type de système chimique et plusieurs degrés d'alcalinité en plus des autres facteurs influençant le procédé, il est particulièrement difficile d'établir les bons dosages. Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont donc nécessaires pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système.

- ❖ Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs, des normes de sécurité doivent être respectées afin que les travailleurs manipulent ces substances avec précaution;
- ❖ La présence d'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer et autres pathologies de ce genre. Il est donc toxique pour les écosystèmes. Le fer aussi est toxique pour la faune. Cette toxicité génère plusieurs inquiétudes au niveau du grand public;
- ❖ En eau froide, le processus est peu efficace;
- ❖ Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux [88].

### III.4. Elimination des particules floculantes par décantation:

Ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (formes, dimension, densité et vitesse de chute) sont donc modifiées pendant le processus

Durant la décantation, les particules s'agglomèrent à un certain rythme, et les particules qui en résultent de cette agglomération sont à la fois plus grosses et moins denses que les particules initiales. Cette modification continue des caractéristiques des particules rend la conception de modèle mathématique beaucoup plus complexe. On doit donc, dans la plupart des cas, procéder à des essais de laboratoire [3].

La décantation d'une solution diluée de particules floculantes est fonction non seulement des caractéristiques de décantation de ces dernières, mais également de leurs caractéristiques de floculation. En effet, l'agglomération des particules favorise la décantation, même si la densité des particules résultantes est inférieure à celle des particules initiales, puisque la vitesse de décantation est fonction du diamètre et de la densité des particules, ainsi que de la viscosité dynamique de l'eau.

La floculation joue un rôle important dans le procédé de décantation.

Le taux de floculation des particules est fonction :

- a) de la distance que les particules parcourent.
- b) de la charge superficielle.
- c) des gradients de vitesse dans le bassin.
- d) de la concentration des particules.
- e) du diamètre des particules [3].

#### **III.4.1. Mise en œuvre de traitement d'une eau par coagulation-floculation :**

La clarification des eaux peut s'effectuer soit par : La clarification totale ou partielle.

**A. La clarification totale :** elle est attribuée aux eaux fortement turbides, de couleur très importante de teneur en matières en suspension élevée. Elle peut être effectuée par une coagulation totale suivie d'une floculation, décantation et enfin filtration.

**B. 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 [22].

**C. Choix du coagulant :** Il est effectué après une étude de l'eau en laboratoire, ou à l'aide de la technique des essais de jar-test.

-On utilise pour le mélange des réactifs la seule turbulence créée par un déversoir mais il est souhaitable de disposer d'un système permettant ce mélange rapide, système appelé mélangeur rapide ou coagulateur.

On distingue plusieurs types de mélangeurs :

- ❖ **Mélangeurs statiques:** Il s'agit de dispositif mis en place à l'intérieur d'une tuyauterie (système hélicoïdal, diaphragme, cône ...) qui crée une turbulence suffisante pour permettre la diffusion instantanée du coagulant; il est très efficaces au débit nominal.
- ❖ **Mélangeurs rapides:** Agitateurs rapides de type à hélice ou à pales (turbine) mis en place dans une chambre spéciale.



*Chapitre IV*  
*Protocole expérimental et*  
*Matériels*

## **Chapitre IV:**

### **Protocole expérimental et Matériels**

#### **IV.1 Objectif de travail :**

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents réactifs utilisés, de l'appareillage et de la méthodologie expérimentale adoptée.

En premier lieu, nous définissons les réactifs de coagulants utilisés et devront permettre de juger de l'efficacité du procédé de traitement étudié. Nous décrivons en suite la méthode de coagulation-floculation basée sur les essais de jar-test et étudier les caractéristiques physico-chimiques des eaux des cinq barrages de la wilaya de Tlemcen : Meffrouche, Hammam Boughrara, Sid el abdli, Sekkak et Beni bahdel.

De façon générale les eaux de surface contiennent des matières de nature et de tailles très différentes, l'objectif de cette partie expérimentale est de mettre en évidence l'influence de la nature et des propriétés des particules et les conditions opératoires (Temps de coagulation, vitesse de floculation, pH, dose de coagulant, concentration du coagulant et) sur l'efficacité, de la floculation.

Les eaux de surface en générale contiennent des particules solide très fines (colloïdes) des reste en suspension durant un temps important, l'une des objectifs de traitement et leurs élimination, le procédé le plus utilisé et la Coagulation, floculation et décantation. Ces particule solide en suspension viennent avec l'eau particulier en période de crue et sont transportés par le réseau hydrographique jusqu'au à retenue du barrage ou elle se décante au pied de ce dernier. Une partie de ces particules se trouve transporté jusqu'à la station ou doit être éliminé. Ainsi, pour les besoins de notre étude, nous avons ramené des échantillons (environ 2kg) de vase des cinq barrages sue nous préparé et analysé au laboratoire pour les introduire dans notre étude.

#### **IV.2. Préparation et analyse de la vase (particules solide) :**

##### **A. Extraction de la vase :**

La vase utilisé pour notre travail a été extraite des zones plus proches de la digue ou a partir de la vanne de vidange du barrage. L'extraction est réalisée par raclage de la partie supérieure de la vase déposée (par une raclette métallique) pour avoir les particules les fines.

##### **B. Traitement de la vase au laboratoire**

La vase extraite est ramené au laboratoire elle a subit des essais au laboratoire. Après l'extraction, elle est séché à l'étuve a 105° C durant une nuit, en suite elle concassé dans un

concasseur moyen et fin puis tamisé pour en extraire la fraction fine. La vase concassé est passée par une série de tamis de  $d=1$  cm jusqu'au  $d=0.08$  mm (le plus fin disponible au laboratoire). La vase utilisé est la tamisas au dernier tamis 0.08mm.



**Figure IV.1 Série de tamis utilisé au laboratoire.**



**Figure IV.2 Quantité de vase utilisé au nos essaie après tamisage.**

### **C. Densité réelle.**

Elle est déterminée par l'essai au pycnomètre :

L'échantillon, préparé selon un processus défini, remplit le module jusqu'à débordement. L'extrémité supérieure du module, de dimensions connues, est arasée à la règle.

Le volume de la phase solide (vase)  $V_s$ , égale au volume d'eau déplacée par le sol est déterminé par pesée.

$m_1$  : masse du pycnomètre contenant l'eau distillée et le barreau magnétique.

$m_2$  : masse du pycnomètre contenant le sol l'eau distillée et le barreau magnétique.

$$m_2 = m_1 + m_s - p_w \cdot V_s$$

Avec :

$m_s$  : masse des particules solides.

$p_w$  : masse volumique de l'eau distillée.

$V_s$  : volume des particules solides.

$$V_s = \frac{m_1 + m_s - m_2}{p_w} \dots \dots \dots (IV.1)$$

$$p_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{m_s}{m_1 + m_s - m_2} p_w \dots \dots \dots (IV.2)$$

Les résultats trouvés sont montrés sur le tableau suivant :

**Tableau IV.1 Densité réelle des vases.**

	Barrage Beni bahdel	Barrage Boughrarah	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
Densité réelle	<b>1.45</b>	<b>1.46</b>	<b>1.46</b>	<b>1.47</b>	<b>1.47</b>

D'après les résultats obtenus nous constatons que les Cinq vases ont des densités proche les une des autres; la vase de Beni Bahdel étant la moins dense.

#### **D. Détermination de la matière organique :**

Elle est déterminée par calcination des quantités de vase à 600 °c durant une nuit [90].

#### **La masse utilisée est de 200mg**

Les résultats trouvés sont montrés sur le tableau suivant :

**Tableau IV.2 quantité de matière organique en 200mg de vase.**

	Barrage Beni bahdel	Barrage Boughrarah	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
Matière organique	<b>37mg</b>	<b>40mg</b>	<b>33mg</b>	<b>53mg</b>	<b>34mg</b>
Teneur en M O	<b>18.5%</b>	<b>20%</b>	<b>16.5%</b>	<b>26.5%</b>	<b>17%</b>

D'après les résultats des essais réalisés au laboratoire nous remarquons que la teneur en matière organique de la vase du barrage Sekkak est la plus élevée par rapport à celles des

autres barrages; sa teneur est de l'ordre de 53 mg suivie par celle du barrage de Hammam Boughrara (40mg/l). Par contre les teneurs en matières organiques pour les trois autres Barrage sont proches les unes des autres (entre 33 mg/l et 37mg/l).

**Remarque:**

D'autres analyses sur les vases de barrages devraient être réalisées au laboratoire mais faute de matériels adéquats pour ces dernières, nous nous sommes contentés de déterminer uniquement leurs densités. Ces analyses sont importantes pour caractériser le matériau et pour mieux interpréter nos résultats. Parmi ces analyse nous citerons: la détermination surface spécifique, la granulométrie laser et d'autres analyses pour déterminer la composition des vases.

**IV.3. Appareils de mesures et Analyses :**

Afin de réaliser nos expériences et d'apprécier les résultats de nos expériences certains analyses sont nécessaires pour la détermination des paramètres étudié

Les paramètres à analyser, leurs méthodes d'analyse et l'appareillage nécessaire sont définies ci-après:

**IV.3.1. Potentiel d'Hydrogène (pH) :**

Parmi tous les paramètres physico-chimiques analysés sur le terrain, c'est un des plus délicats à mesurer correctement. Dans le cas de notre études le pH et paramètre important influant la coagulation floculation.

Il est recommandé de déterminer le pH des eaux de façon à ne pas modifier les équilibres ioniques par suite d'un transport ou d'un séjour plus ou moins prolongé des échantillons d'eau dans des flacons. Le pH est mesuré avec un appareil électrométrique équipé d'une électrode en verre, appelé « pH-mètre ».

**A. Mode opératoire :**

L'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche, l'électrode est plongée dans la solution à mesurer. La lecture est effectuée après stabilisation du pH-mètre ce qui peut prendre plusieurs minutes. Veiller à ce que la température de l'échantillon ne varie pas pendant la mesure.

**B. Appareillage :**

Un pH-mètre est composé d'une électrode de verre, de référence au calomel-KCl saturé et d'un dispositif potentiométrique. Notre Ph a été mes à l'aide d'un pH mètre de marque PH mètre HANNA Cheker HI98103.



**Figure IV.3** pH mètre utilisé au laboratoire.

#### **IV.3.2. Turbidité :**

Afin d'apprécier l'efficacité de la coagulation, floculation et décantation le paramètre à mesuré et sans doute la turbidité de l'eau finale.

La turbidité se mesure par turbidimètre et elle est exprimé en NTU, à cause de la non disponibilité des solutions étalons nous n'avons pas pu utiliser le turbidimètre du laboratoire de traitement des eaux. Suite à l'existence d'une faible quantité de solution formazine 4000NTU qui ne peut être utilisé pour l'étalonnage du turbidimètre, et la disponibilité d'un spectrophotomètre au laboratoire, nous avons opté pour l'utilisation de ce dernier pour la mesure de la turbidité.

##### **A. Spectrophotomètre:**

Le spectrophotomètre est un appareil qui mesure l'absorbance qui est définie par le ratio entre la lumière incidente  $I_0$  qui traverse un milieu à une longueur d'onde  $\lambda$ , et la lumière transmise  $I$  exprimé en logarithme de base 10.



**Figure IV.4 Spectrophotomètre utilisé au laboratoire pour mesurer l'absorbance.**

### **B. Mode opératoire :**

La mesure de l'absorbances sur spectrophotomètre se réalise selon les actions suivantes:

- ❖ Mettre en marche le spectrophotomètre on/off.
- ❖ Sélectionner le on mode absorbance ( $\lambda$ ).
- ❖ Introduire la cuve de référence (blanc) dans la porte cuve, et mettre à zéro l'absorbance.
- ❖ Programmer la longueur d'onde désirée.
- ❖ Enlever la cuve de référence.
- ❖ Introduire une à une les cuve des échantillons a mesuré et lire l'absorbance.
- ❖ De temps à autre passer la balance pour vérifier le calage de l'appareil

### **C. Détermination de la longueur d'ondes adéquate :**

Afin de déterminer la longueur d'onde adéquate pour la mesure de la turbidité des eaux; Nous avons préparé plusieurs suspension de concentrations en particules solide variables et connues (0.250g/l jusqu'au 0.01g/l). Pour ces suspension nous avons mesuré l'absorbance pour une gamme de longueurs d'onde ( $\lambda$ ) allant de 434 nm (la moindre que le Spectrophotomètre peut l'atteindre) jusqu'au  $\lambda = 720$ nm.

Les points (Abs, C) sont portés sur un graphique pour chaque longueur, les points obtenues sont ajusté à des courbes théoriques (linéaire pour notre cas), la longueur d'onde correspondant à la courbe la mieux représentatives (meilleur coefficient de corrélation) sera utilisé pour la mesure de l'absorbance et par conséquent la mesure de la turbidité. Les résultats obtenue sont représenté dans la figure IV.5. Ainsi donc le courbe de la longueur d'onde  $\lambda = 720$  représente le mieux les résultats obtenus ( $R^2 = 0,9854$ ), de ce fait cette dernier sera utilisé pour la détermination de la turbidité.

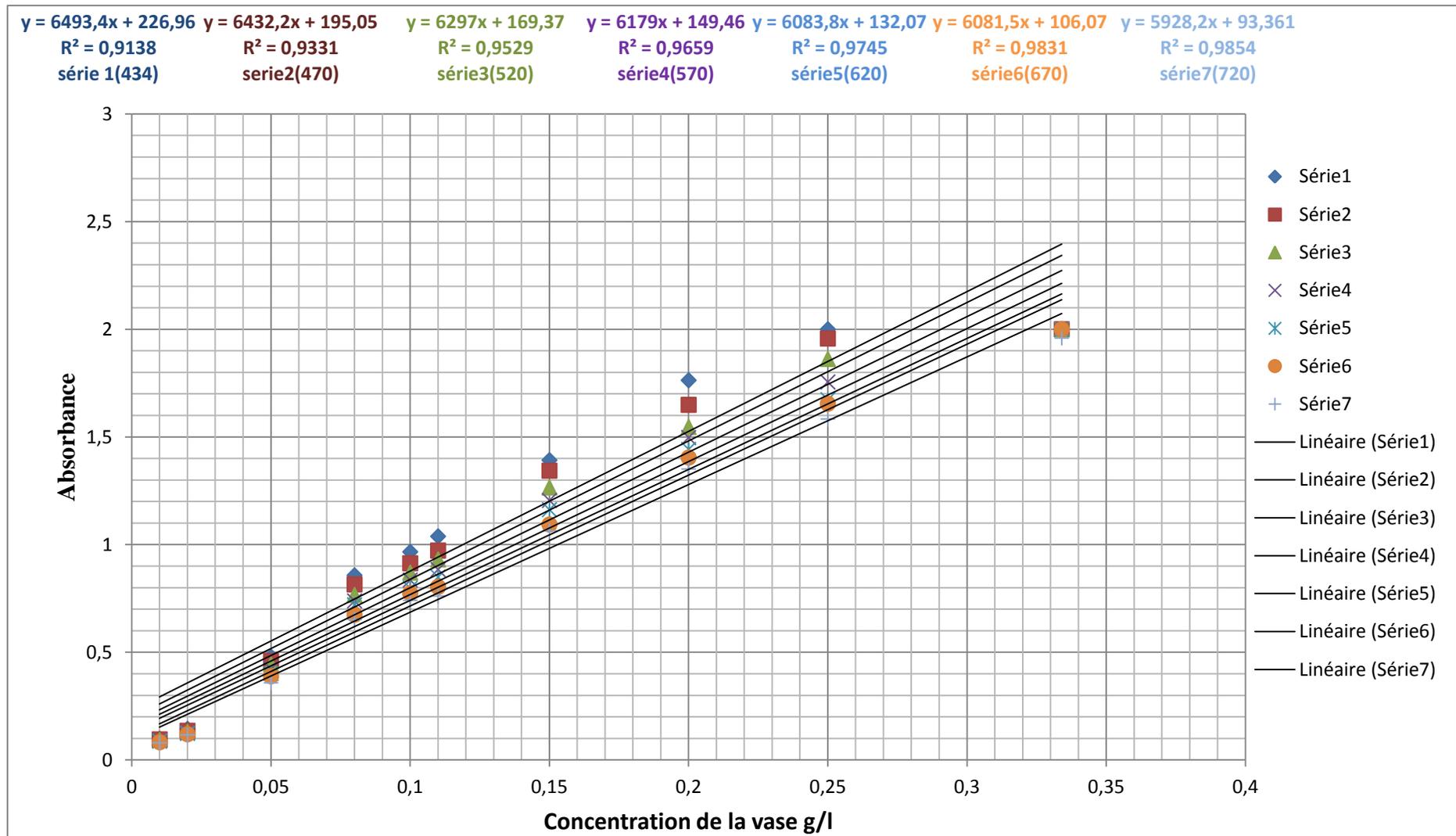


Figure IV.5 l'absorbance en fonction de la concentration.

#### D. Elaboration de la Courbe d'étalonnage:

A partir de la solution formazine 400NTU des solutions de turbidités connues sont préparées par dilutions à l'eau distillé. Une fois la longueur d'onde du spectrophotomètre est réglé sur 720nm et le passage du blanc, les absorbances de ces solutions sont mesurées. La représentation graphique,  $Tur = f(Abs)$  et l'ajustement des points à courbe théorique nous permis de détermine la relation décrivant la turbidité en fonction de l'absorbance.

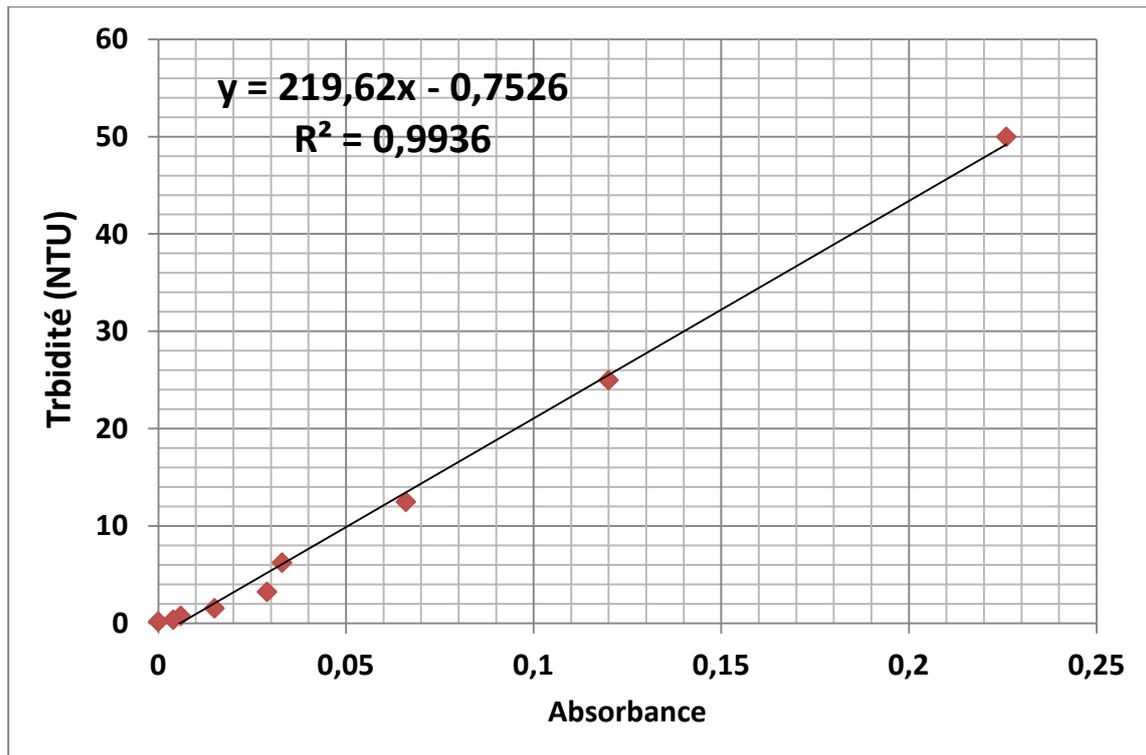


Figure IV.6 Courbe d'étalonnage de la turbidité.

#### IV.3.3. Appareillage d'expérimentation (Jar-test ou Flocculation de laboratoire):

Le Jar-Test est la méthode la plus ancienne, la moins onéreuse, la plus simple et, de ce fait, la plus utilisée. Depuis plus de 50 ans, le Jar Test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de flocculants dans le domaine du traitement de l'eau [87].

Elle consiste à remplir des béciers de l'eau à traiter et à ajouter à chacun d'entre eux une dose croissante de coagulant et à attendre le temps nécessaire à l'eau pour traverser l'installation de traitement [87].

Les essais de coagulation floculation de cette présente étude sont réalisés dans un flocculateur de type Jar-Test de marque flocculateur 11197, composé d'une batterie de quatre bécher d'une capacité d'un litre.

Chaque bêche est muni d'une pôle rectangulaire à vitesse de rotation variable la vitesse de rotation est déterminée à l'aide régulateur de vitesse manuel. Après le remplissage des quatre béchers d'une suspension synthétique, l'introduction du réactif chimique se fait pendant un temps très court avec une agitation très rapide suivie d'une agitation modérée et en fin d'une période de décantation.

Le prélèvement du surnageant est réalisé après la période de décantation (15mn) cette opération est réalisée à l'aide d'une pipette à large ouverture pour éviter la perturbation de la phase décantée.



Figure IV.7 Jar-test utilisé au laboratoire.

#### IV.3.4 Autres équipements :

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

- ❖ Une balance électronique.
- ❖ Les béchers.
- ❖ Pipette, pissette.
- ❖ Erlenmeyer.

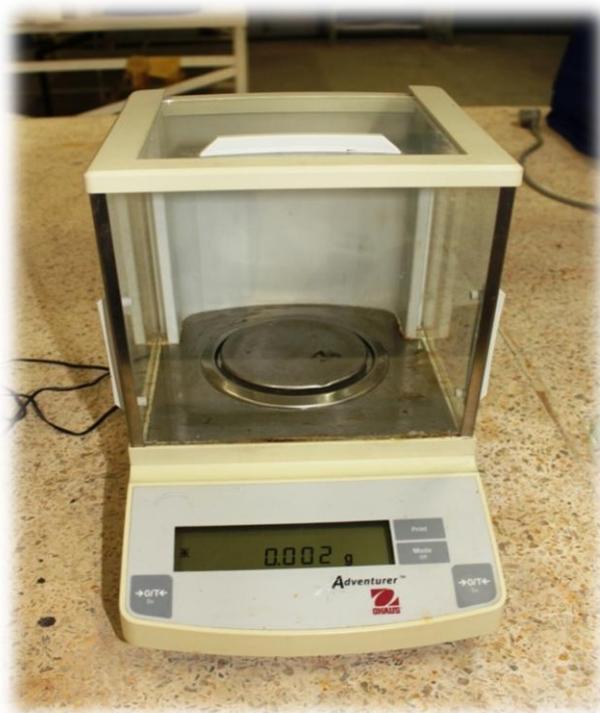


Figure IV.8 Balance électronique utilisé.

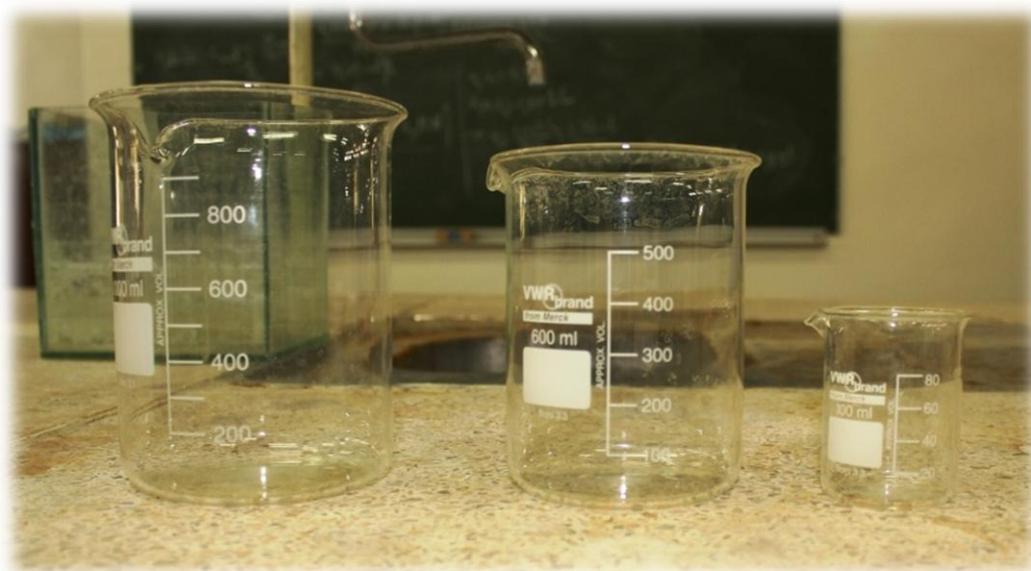


Figure IV.9 Différents béchers utilisé (1000ml, 500ml, 100ml).

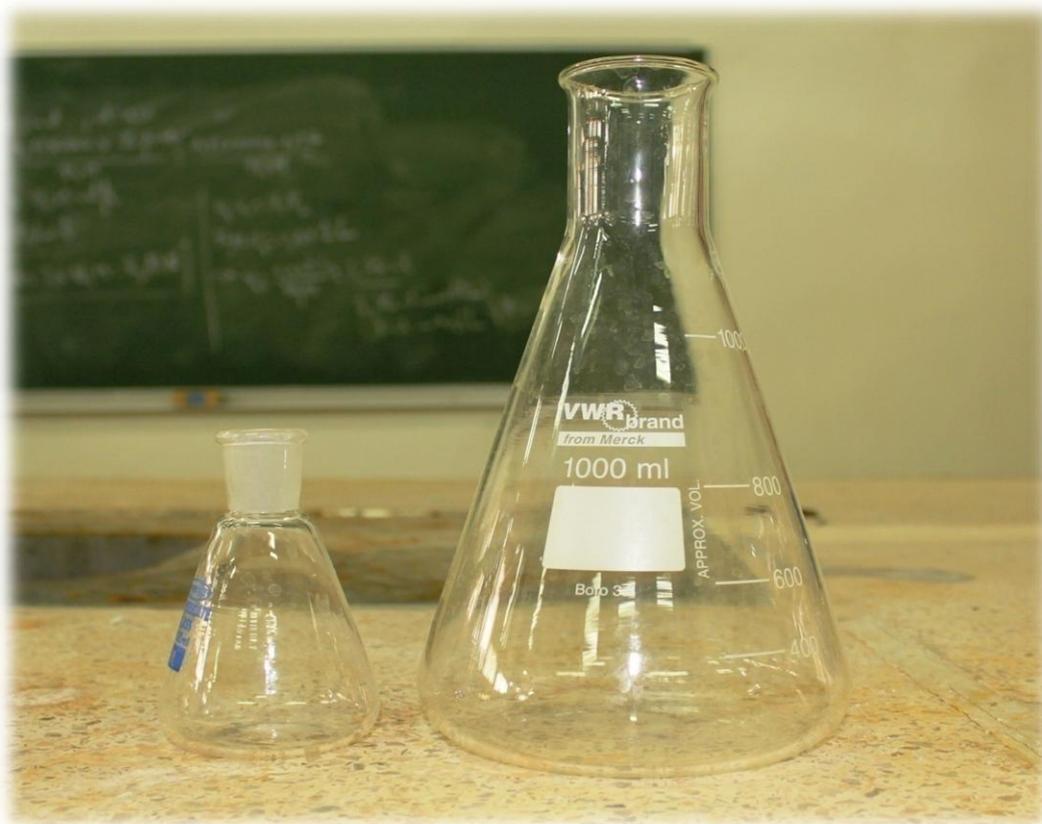


Figure IV.10 Différent Erlenmeyers pour la préparation des solutions.

#### IV.4. Préparation des coagulants

Les réactifs chimiques utilisés dans cette étude sont le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), les chlorures ferriques ( $\text{FeCl}_3$ ) et les sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Le choix de ces coagulants est justifié par leurs disponibilités aux niveaux laboratoire, et sont utilisation à grande échelle dans les stations de traitement des eaux.

La solution mère de 1g/l des coagulants utiliser est préparée quotidiennement avec de l'eau distillée. Cette solution permet un ajout de faibles quantités pour les doses voulues de coagulant.

La figure nous montre les étapes à suivre pour la préparation d'une solution.

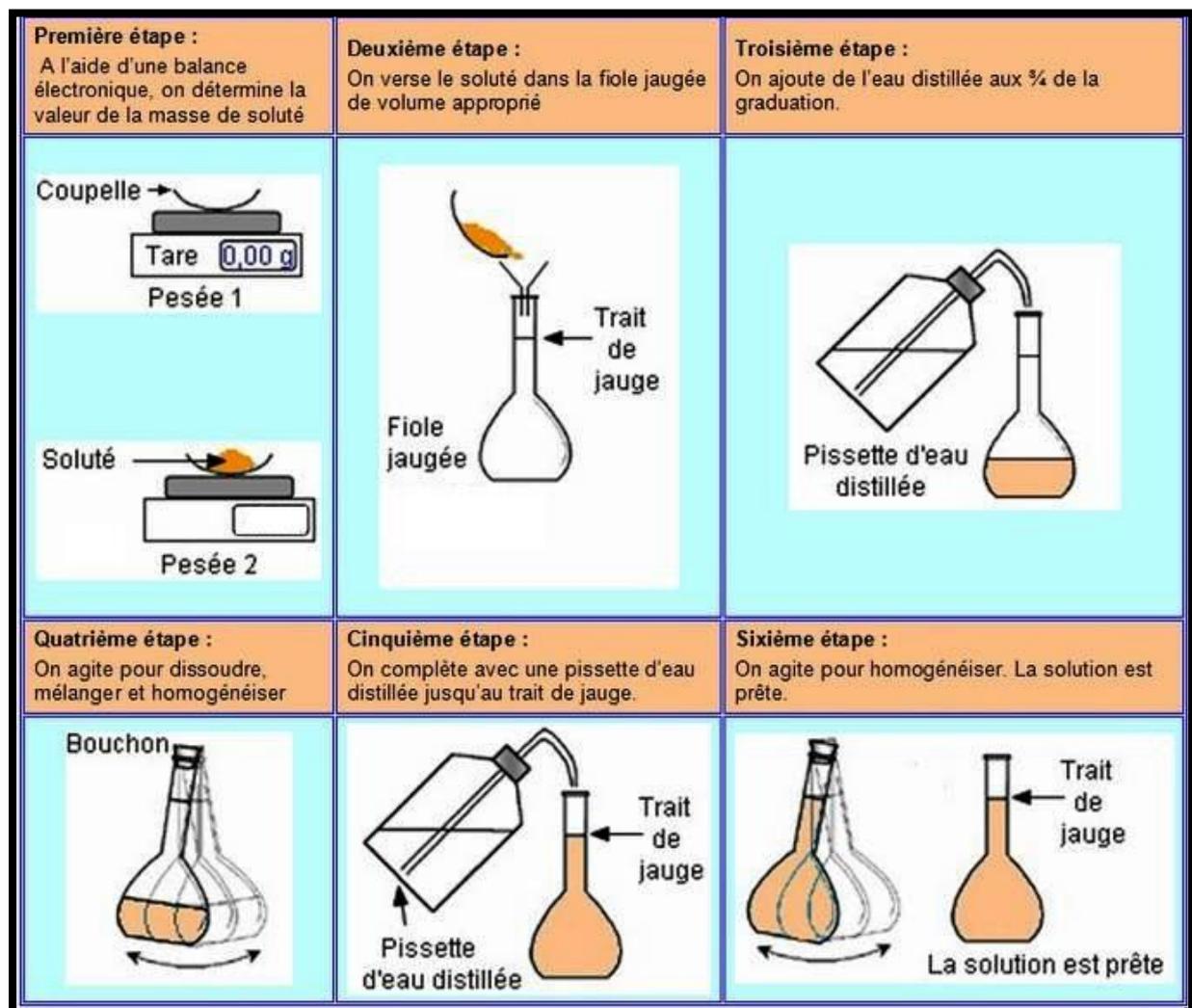


Figure IV.11 : Mode opératoire de préparation de la solution mère des coagulants.

**A. Préparation du sulfate d'aluminium :**

On pose la capsule sur le plateau de la balance de précision. On tare la balance pour qu'elle affiche 0. Grâce à la spatule, on place la masse souhaitée de sulfate d'alumine 0.5g d'une pureté de 98% dans la capsule en s'aidant de la partie plus fine de cette spatule pour terminer ou pour enlever du solide si on a dépassé la masse voulue. Après on transvase le contenu de la capsule dans un bécher posé sur un agitateur magnétique et contenant un barreau aimanté ainsi que de l'eau distillée à raison de 50 à 70 % du volume final de la solution.

En suite on rince la capsule avec de l'eau distillée d'une pissette pendant que le barreau aimanté tourne. On verse le contenu du bécher dans une fiole jaugée de 500 mL munie d'un entonnoir.

En fin on complète avec une pissette d'eau distillée jusqu'au trait de jauge, on laisse reposer, on bouche et on pose une étiquette d'identification.

**B. Préparation de chlorure ferrique:**

A l'aide d'une balance électronique on détermine la valeur de coagulant (chlorure ferrique 0.5g, pureté 97%). On verse le soluté dans la fiole jaugée de volume de 500 ml. On ajoute de l'eau distillée aux 2/1 de la graduation, la mixture est agitée pour dissoudre le chlorure ferrique avec un agitateur magnétique et pour l'homogénéiser la solution. On complète avec une pissette d'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On laisse reposer, on pose une étiquette d'identification.

**C. Préparation de sulfate ferrique:**

A l'aide d'une balance électronique on détermine la valeur de coagulant (sulfate ferrique 0.5g pureté 98%). On verse le soluté dans la fiole jaugée de volume de 500 ml. On ajoute de l'eau distillée aux 2/1 de la graduation, la mixture est agitée pour dissoudre le chlorure ferrique avec un agitateur magnétique et pour l'homogénéiser la solution. On complète avec une pissette d'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On laisse reposer, on pose une étiquette d'identification.

**IV.5. Protocole expérimentale :**

Afin d'atteindre nos objectifs, diverses expériences sont entreprises pour étudier l'influence des particules solide sur la coagulation floculation. Le protocole expérimental de chaque expérience est présenté dans ce qui suit:

### IV.5.1 Optimisation du Temps d'agitation lente (le temps nécessaire de formation des floccs) :

Afin de déterminer expérimentalement le temps optimale de floculations à utilisé la suite de notre étude les actions suivantes ont été entreprises:

- ❖ Fixer la concentration de la vase des cinq barrages a 0.2 g/l.
- ❖ Mélanger les avec l'eau distillé pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de même turbidité.
- ❖ Remplir les béchers par l'eau à traiter (volume 1 litre) d'un échantillon préparé en mélangeant les prélèvements de chacune des suspensions mères utilisées à l'eau distillé. Cette eau est préalablement distillée au laboratoire et stockée de façon à avoir une même eau pour toutes les manipulations.
- ❖ Ajouter des doses du coagulant avec mêmes valeurs de concentration et on optimise la quantité du coagulant.
- ❖ la vitesse d'agitation lente est fixée à la valeur optimisée aux essais précédents et on garde la même vitesse rapide de 200 tr/min.
- ❖ Pour le temps d'agitation est fixé en 2min pour l'agitation rapide et on varie le temps d'agitation lente de (05, 10, 15, et 20min)
- ❖ Après l'agitation lente, on laisse décanter pendant 15 mn. Par une pipette sans perturbation de la phase décantée, on prélève un échantillon représentatif de la phase surnageant (200 ml) sur le quel seront effectués les analyses suivantes :
  - La turbidité.

### IV.5.2. Optimisation de la vitesse d'agitation :

La vitesse de floculation étant facteur important de la coagulation-floculation et la détermination de la vitesse optimale étant nécessaire pour une bonne réalisation de cette action, une expérimentation selon les étapes suivant s'avère indispensable:

- ❖ On à Fixer la concentration de la vase des cinq barrages a 0.2 g/l. (pesé sur la balance électronique)
- ❖ Mélanger les avec l'eau distillé pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de même turbidité.
- ❖ Remplir les béchers par la solution (volume 1 litre) d'un échantillon préparé en

mélangeant les prélèvements de chacune des suspensions mères utilisées à l'eau distillé. Cette eau est préalablement distillée au laboratoire et stockée de façon à avoir une même eau pour toutes les manipulations.

- ❖ Ajouter une dose du coagulant (la même valeur de concentration et de quantité (10ml)).
- ❖ On varie à chaque fois la vitesse d'agitation lente (10, 15, 30, 45) tr/min et on garde la même vitesse rapide de 200 tr/min.
- ❖ Temps d'agitation est fixé en 2min pour l'agitation rapide et 15 min pour l'agitation lente.
- ❖ Après l'agitation lente, on laisse décanter pendant 45 mn. Par une pipette sans perturbation de la phase décantée, on prélève un échantillon représentatif de la phase surnageant (200 ml) sur le quel seront effectués les analyses suivantes :
  - La turbidité.

#### IV.5.3. Optimisation du pH :

Pour avoir le pH optimale pour une bonne réalisation de la coagulation floculation, les étapes suivantes ont été suivies

- ❖ Fixer la concentration de la vase des cinq barrages a 0.2 g/l.
- ❖ Mélanger les avec l'eau distillé pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de même turbidité.
- ❖ Remplir les béchers par l'eau à traiter (volume 1 litre) d'un échantillon préparé en mélangeant les prélèvements de chacune des suspensions mères utilisées à l'eau distillé. Cette eau est préalablement distillée au laboratoire et stockée de façon à avoir une même eau pour toutes les manipulations.
- ❖ Ajouter des doses du coagulant déjà optimisé en quantité et en concentration du coagulant.
- ❖ Le pH du milieu coagulé est ajusté pour une plage de pH de 5.5 (acide) à 7.5 (base). L'ajustement du pH ce fait par l'ajout de quelques gouttes d'acide HCL ou bien de la base NAOH jusqu'à l'obtention le pH voulu.
- ❖ la vitesse d'agitation lente est fixée à la valeur optimisée aux essais précédents et on garde la même vitesse rapide de 200 tr/min.
- ❖ Le temps d'agitation est fixé en 2min pour l'agitation rapide et optimisé pour le temps d'agitation lente.
- ❖ Après l'agitation lente, on laisse décanter pendant 15 mn. Par une pipette sans

perturbation de la phase décantée, on prélève un échantillon représentatif de la phase surnageant (200 ml) sur le quel seront effectués les analyses suivantes :

- La turbidité.

#### IV.5.4 Optimisation de la quantité des coagulants :

A fin de savoir la quantité du coagulant demandé à neutralisé et déstabilisé les charges colloïdales, les étapes suivantes ont été suivies :

- ❖ Fixer la concentration de la vase des cinq barrages a 0.2 g/l.
- ❖ Mélanger les avec l'eau distillé pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de même turbidité.
- ❖ Remplir les béchers par l'eau à traiter (volume 1 litre) d'un échantillon préparé en mélangeant les prélèvements de chacune des suspensions mères utilisées à l'eau distillé. Cette eau est préalablement distillée au laboratoire et stockée de façon à avoir une même eau pour toutes les manipulations.
- ❖ Ajouter des doses du coagulant des mêmes valeurs de concentration mais de quantité différente et variable avec une échelle de 1ml (10, 11, 12, ....., 21 ,21 ml).
- ❖ Cette fois la vitesse d'agitation lente est fixé a la valeur optimiser aux essais précédent et on garde la même vitesse rapide de 200 tr/min.
- ❖ Temps d'agitation est fixé en 2min pour l'agitation rapide et 15 min pour l'agitation lente.
- ❖ Après l'agitation lente, on laisse décanter pendant 15 mn. Par une pipette sans perturbation de la phase décantée, on prélève un échantillon représentatif de la phase surnageant (200 ml) sur le quel seront effectués les analyses suivantes :

- La turbidité.

#### IV.5.5 Optimisation de la concentration du coagulent :

Pour déterminé la concentration optimal du coagulant a ajouté pour une, on à suivie les étapes suivants :

- ❖ Fixer la concentration de la vase des cinq barrages a 0.2 g/l.
- ❖ Mélanger les avec l'eau distillé pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de même turbidité.
- ❖ Remplir les béchers par l'eau à traiter (volume 1 litre) d'un échantillon préparé en mélangeant les prélèvements de chacune des suspensions mères utilisées à l'eau distillé. Cette eau est préalablement distillée au laboratoire et stockée de façon à

avoir une même eau pour toutes les manipulations.

- ❖ Le pH du milieu coagulé est ajusté au ph optimal.
- ❖ Ajouter des doses du coagulant déjà optimisé en quantité et on varie la concentration du coagulant (0.9, 0.8, 0.7, 0.5, 0.2, 0.1) avec une dilution de la solution mère on utilise la relation :

$$C_1.V_1 = C_2.V_2 \dots\dots\dots (IV.1).$$

- ❖ la vitesse d'agitation lente est fixée à la valeur optimisée aux essais précédents et on garde la même vitesse rapide de 200 tr/min.
- ❖ Le temps d'agitation est fixé en 2min pour l'agitation rapide et optimisé pour le temps d'agitation lente.
- ❖ Après l'agitation lente, on laisse décanter pendant 15 mn. Par une pipette sans perturbation de la phase décantée, on prélève un échantillon représentatif de la phase surnageant (200 ml) sur le quel seront effectués les analyses suivantes :
  - La turbidité.

#### **IV.6. Etude le l'influence la concentration en particules solide :**

Étant donné que la concentration en particules solides varie constamment dans les eaux de surface ce qui rend la demande en coagulant variable en fonction de cette concentration, une étude expérimentale est entreprise pour la détermination de la demande en coagulant en fonctions des concentrations en particules solides pour les vases des barrages étudiés. Ces expériences sont réalisées en appliquant les paramètres optimaux préalablement déterminés.

Des courbes d'étalonnages exprimant la variation de la concentration du coagulant optimal en fonction de la concentration en particules solides seront érigées.

A fin de déterminé cette demande en coagulant on a suivie des expériences comme suite :

- ❖ Les essais sont réalisés sur différents concentration de vase des 5 barrages étudiés de (0.1, 0.15 et 0.2 g)
- ❖ Mélanger les avec l'eau distillé pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de même turbidité.
- ❖ Remplir les bécchers par l'eau à traiter (volume 1 litre) d'un échantillon préparé en mélangeant les prélèvements de chacune des suspensions mères utilisées à l'eau distillé. Cette eau est préalablement distillée au laboratoire et stockée de façon à avoir une même eau pour toutes les manipulations.
- ❖ Le pH du milieu coagulé est ajusté au ph optimal.

- ❖ Ajouter des doses du coagulant déjà optimisé en quantité et on varie la dose.
- ❖ la vitesse d'agitation lente est fixée à la valeur optimisée aux essais précédents et on garde la même vitesse rapide de 200 tr/min.
- ❖ Le temps d'agitation est fixé en 2min pour l'agitation rapide et optimisé pour le temps d'agitation lente.
- ❖ Après l'agitation lente, on laisse décanter pendant 15 mn. Par une pipette sans perturbation de la phase décantée, on prélève un échantillon représentatif de la phase surnageant (200 ml) sur le quel seront effectués les analyses suivantes :
  - La turbidité.

### ***Remarques***

**1** : Les procédures citées à suivre sont applicables pour les trois types de coagulant le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), les chlorures ferriques, ( $\text{FeCl}_3$ ) sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

**2** : la préparation du sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), doit se faire juste avant son injection dans les béchers et l'agitation, pour éviter le risque d'oxydation rapide de fer par l'air.



***CHAP V***

***Résultats et expérimentation***

## Chapitre V : Résultats et expérimentations

Des essais sur Jar-Test (floculation de laboratoire) ont été réalisés sur des eaux contenant des particules de vases sédimentées dans des barrages de la wilaya de des prélèvements de la Tlemcen Meffrouche – H.Boughrara – Sid El Abdli – Sekkak et Beni Bahdel.

Ces expériences ont été initiées car c'est ces particules de vase décanté dans les retenues de barrages qui se retrouvent dans les stations de traitement et qui doivent être éliminées par coagulation-floculation et décantation.

L'étude des paramètres opératoires ainsi que les propriétés caractérisant le milieu aqueux, influençant nettement le processus de coagulation-floculation nous a mené à étudier l'influence : de vitesse d'agitation, du temps de floculation, du pH du milieu aqueux, du type du coagulant et en fin des concentrations en particules argileuse sur ce phénomène. Trois types de coagulants sont utilisés: le Sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique, le sulfate ferrique.

Pour déterminer ces influences on a réalisé des tests sur Jar-test a fin de déterminer les paramètres influençant la coagulation-floculation des milieux aqueux des barrages cités.

Les paramètres influant et l'objectif de leurs études sont :

- La vitesse d'agitation lente (de floculation), pour déterminer la vitesse optimale de floculation.
- Le Temps d'agitation pour déterminer le temps optimal de formation des floccs compacts facilement décantables.
- Le pH optimal favorisant la coagulation-floculation
- Le type de coagulants à utilisé: trois coagulants seront testés (Sulfate d'aluminium, chlorure ferrique, le sulfate ferrique).
- La dose du coagulant utilisé pour diverses concentrations de particules de vase.

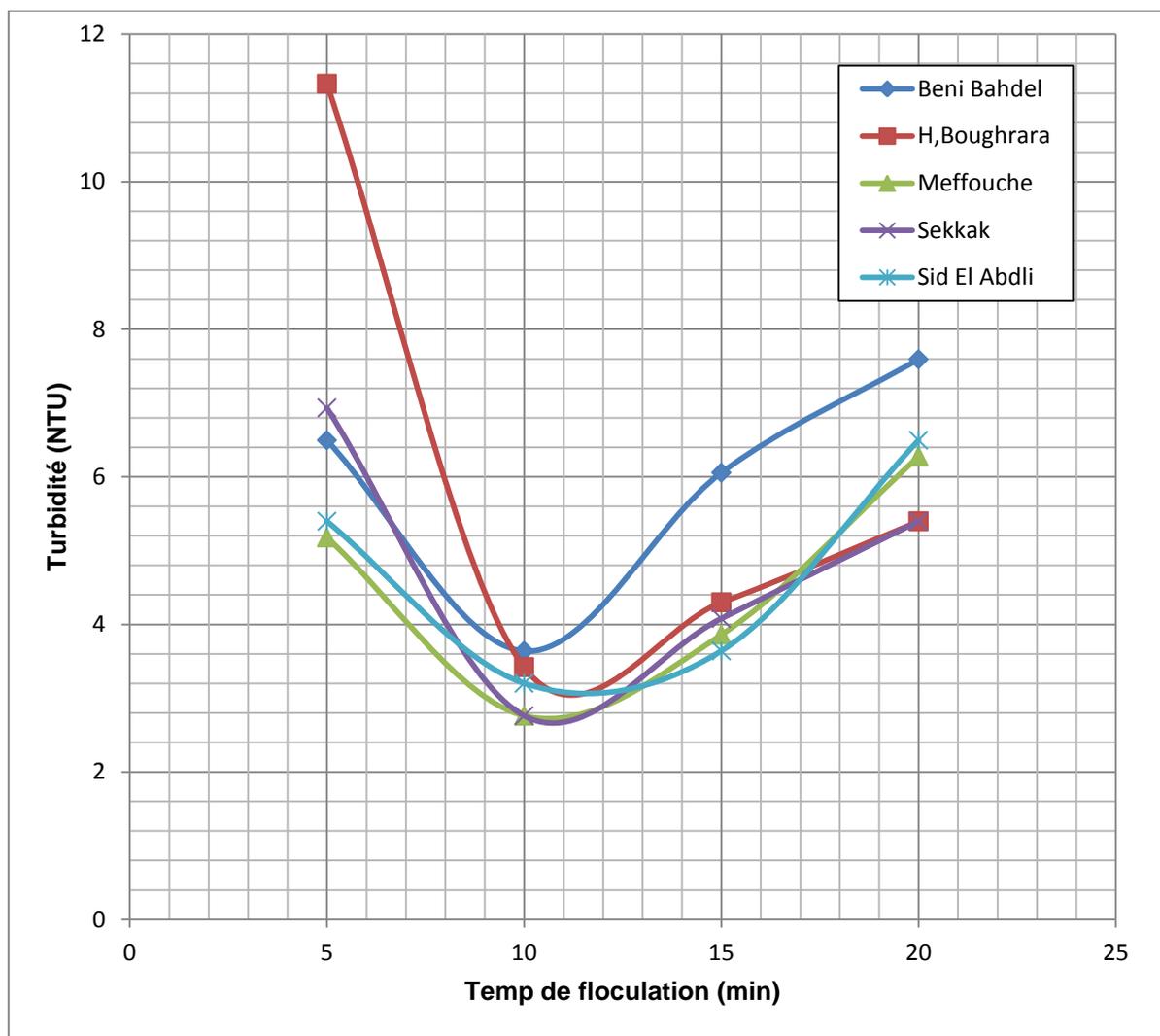
### V.1. Influence du temps d'agitation lente sur la coagulation floculation :

Les expériences ont été réalisées sur jar-test pour une concentration fixée de 200mg de la vase pour les 5 barrages. En ajoutant une même quantité coagulant fixé préalablement, la vitesse est fixé aussi par les point optimaux déjà et on varie le Temps d'agitation lente de (5, 10, 15 et 20 min), afin d'arriver à déterminer le temps optimale de l'agitation à appliquer pour

avoir une bonne floculation. Les résultats obtenus sont résumés les tableaux V.1, V.2 et V.3 et représentés dans les courbes des figures V.1, V.2 et V.3 qui suivent :

**Tableau V.1. Résultat d'Influence du temps sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.**

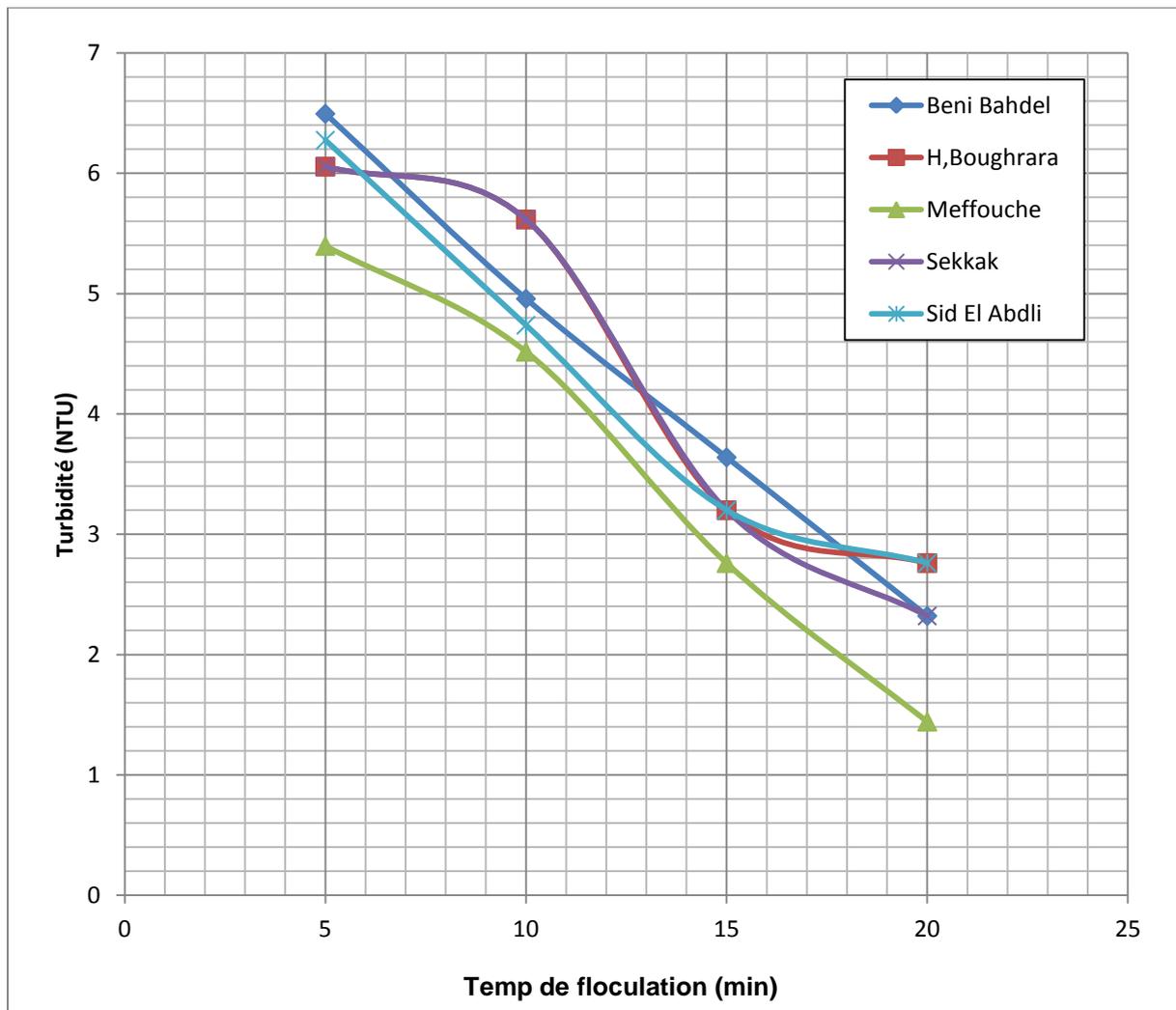
N° de bécher	Temps D'agitation lente	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Bougrara	Barrage El mefrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el ablli
01	05 min	6,49	11,33	5,18	6,93	5,40
02	<b>10 min</b>	<b>3,64</b>	<b>3,42</b>	<b>2,76</b>	<b>2,76</b>	<b>3,20</b>
03	15 min	6,06	4,30	3,86	4,08	3,64
04	20 min	7,59	5,40	6,28	5,40	6,49



**Figure V.1. Influence du temps sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.**

**Tableau V.2. Résultat d’Influence du temps sur la coagulation par le chlorure ferrique.**

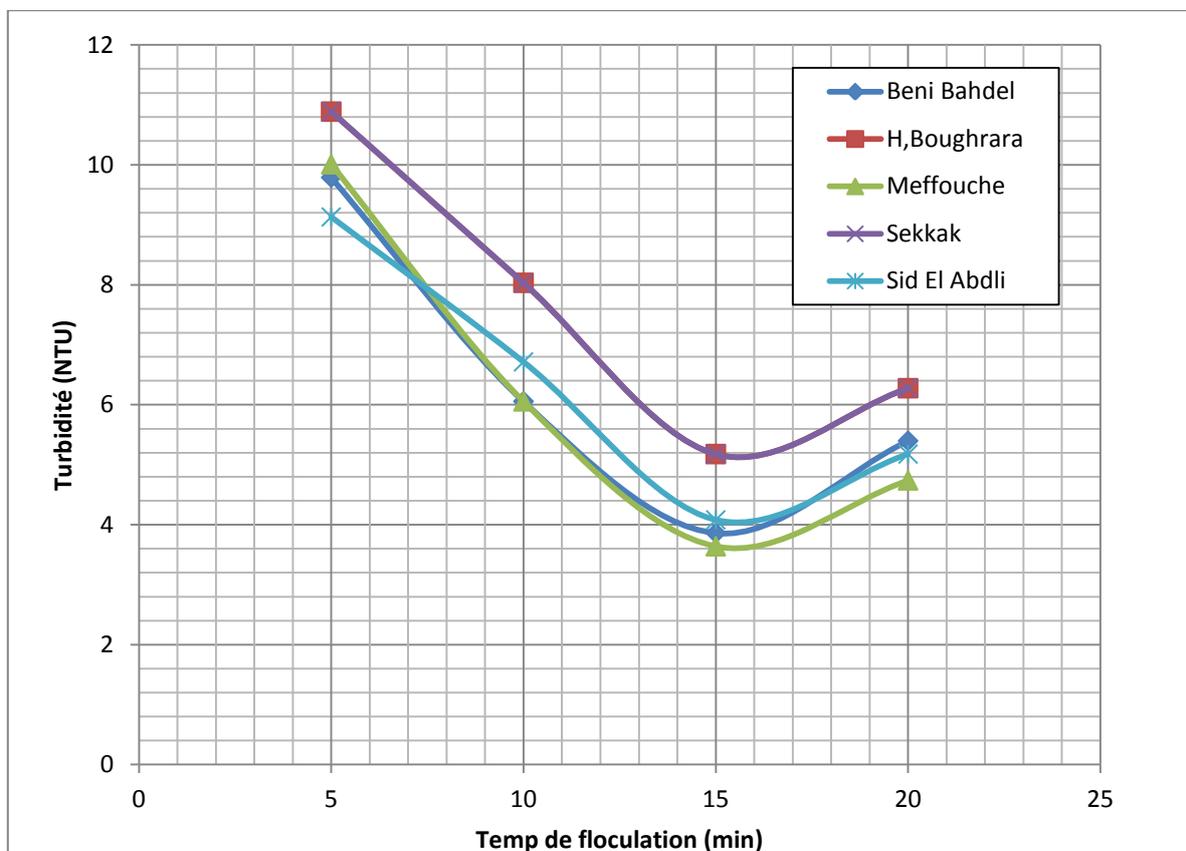
N° de bécher	Temps D’agitation lente	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Bougrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abkli
01	05 min	6,49	6,06	5,40	6,06	6,28
02	10 min	4,96	5,62	4,52	5,62	4,74
03	15 min	3,64	3,20	2,76	3,20	3,20
<b>04</b>	<b>20 min</b>	<b>2,32</b>	<b>2,76</b>	<b>1,44</b>	<b>2,32</b>	<b>2,76</b>



**Figure V.2. Influence du temps sur la coagulation par le chlorure ferrique.**

**Tableau V.3. Résultat d'Influence du temps sur la coagulation par le sulfate ferrique.**

N° de bécher	Temps D'agitation lente	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
01	05 min	9,79	10,89	10,01	10,89	9,13
02	10 min	6,06	8,03	6,06	8,03	6,71
<b>03</b>	<b>15 min</b>	<b>3,86</b>	<b>5,18</b>	<b>3,64</b>	<b>5,18</b>	<b>4,08</b>
04	20 min	5,40	6,28	4,74	6,28	5,18



**Figure V.3. Influence du temps sur la coagulation par le sulfate ferrique.**

Le Temps est l'un des facteurs les plus importants au processus de la coagulation-floculation les courbes décroissantes des essais réalisés reviennent au manque de temps de contact et d'accrochement des floes entre eux jusqu'au point optimal qui est varié aussi d'un coagulant à un autre à cause de sa composition chimique et cette dernière influence elle-même sur le temps de réaction chimique faite entre les particules traitées.

### **Remarque**

Le Temps optimal de chlorures ferriques est très élevé jusqu'à 30 min. Tant qu'on laisse le mélange entraîné d'agité le floe devient plus grand et plus lourd.

Pour nos essais on a arrêté à 20 min afin d'éviter des dépôts pendant la phase d'agitation.

## **V.2. Influence de la vitesse d'agitation sur la coagulation floculation :**

Les expériences ont été réalisées sur jar-test pour une concentration fixée de 200mg de la vase pour les 5 barrages. En ajoutant une même quantité de coagulant fixé préalablement et on varie la vitesse d'agitation lente de (10, 20, 30 et 45 tr/min), afin d'arriver à déterminer la vitesse optimale de l'agitation à appliquer pour avoir une bonne floculation. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux V.4, V.5 et V.6 et représentés dans les courbes des figures V.4, V.5 et V.6 qui suivent :

**Tableau V.4 Résultat d'influence de la vitesse d'agitation (Sulfate d'aluminium).**

N° de bécher	Vitesse D'agitation lente	Barrage Beni Bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
1	10 tr/min	10,00	14,18	9,13	13,08	9,13
2	30 tr/min	7,59	11,54	7,37	10,44	8,03
3	<b>15 tr/min</b>	<b>4,51</b>	<b>6,49</b>	<b>4,07</b>	<b>4,95</b>	<b>4,08</b>
4	45 tr/min	5,61	6,49	5,17	6,49	5,62

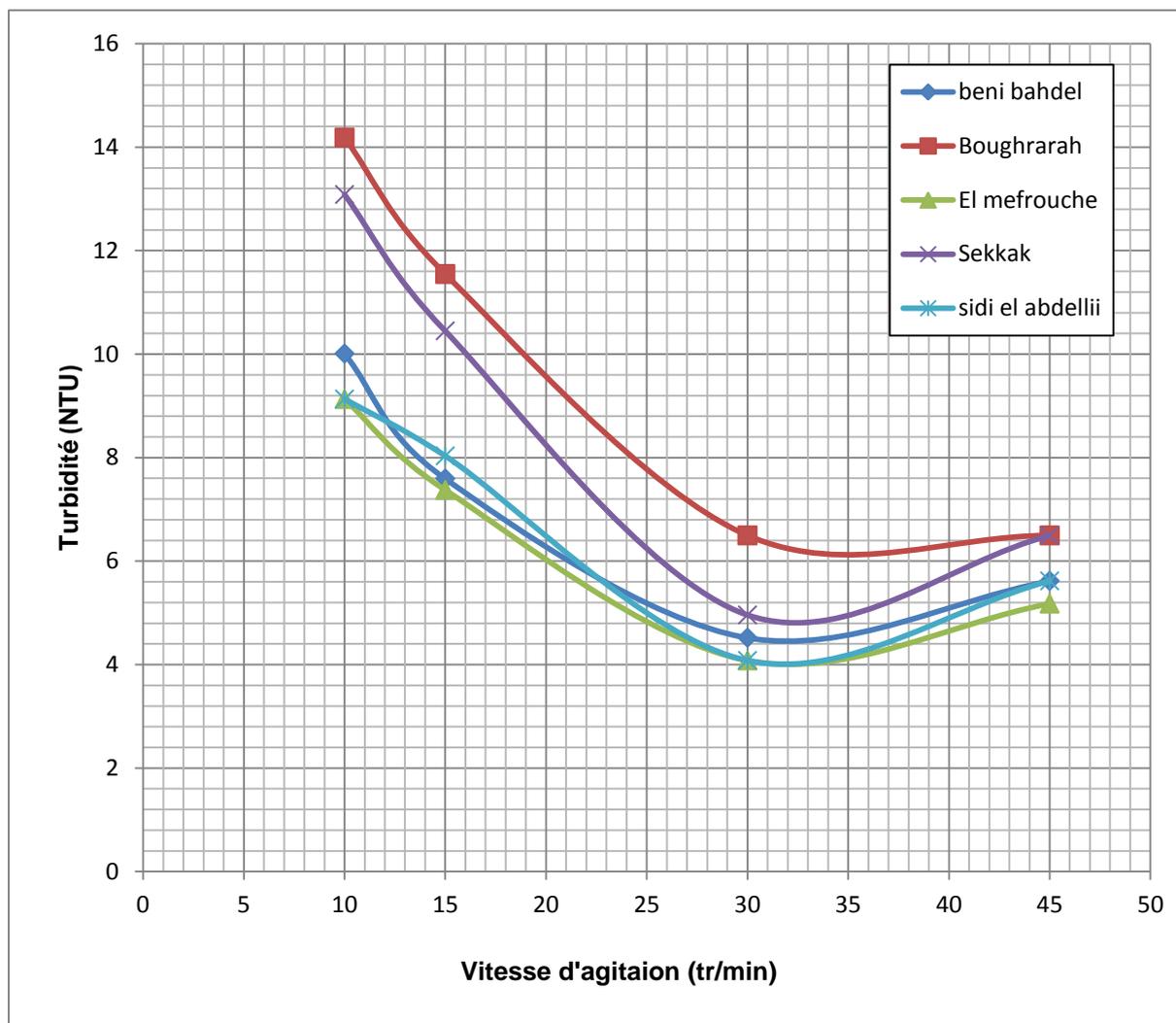


Figure V.4. Influence de la vitesse d'agitation (Sulfate d'aluminium)

Tableau V.5 Résultat d'Influence de la vitesse d'agitation sur la coagulation floculation (chlorure ferrique (Fe Cl<sub>3</sub>))

N° de bécher	Vitesse D'agitation lente	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
1	10 tr/min	8,25	9,13	7,59	7,59	8,47
2	30 tr/min	6,06	7,59	5,84	5,84	6,06
3	<b>15 tr/min</b>	<b>4,52</b>	<b>6,06</b>	<b>4,30</b>	<b>5,62</b>	<b>4,30</b>
4	45 tr/min	5,84	6,71	5,84	6,06	6,71

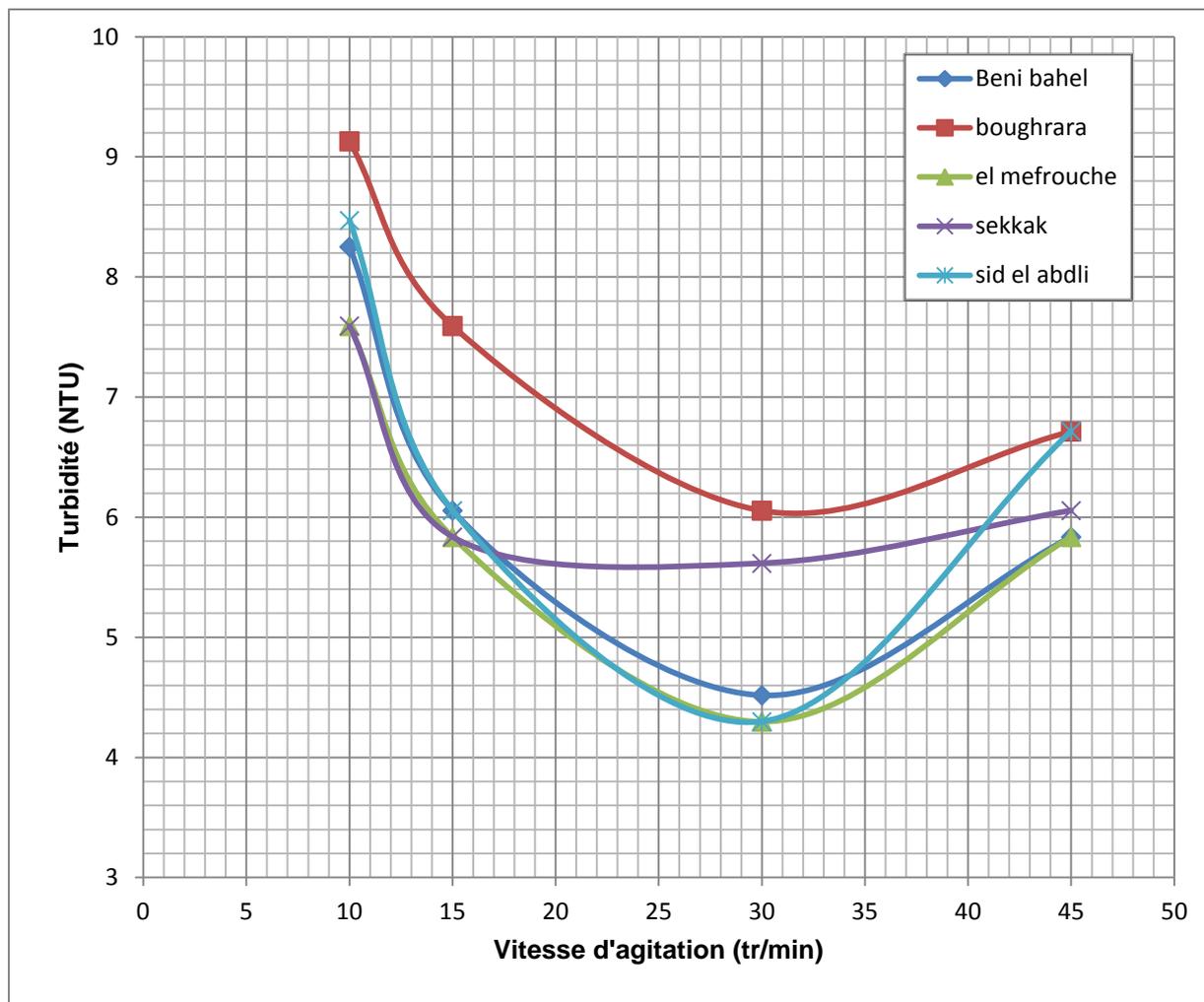
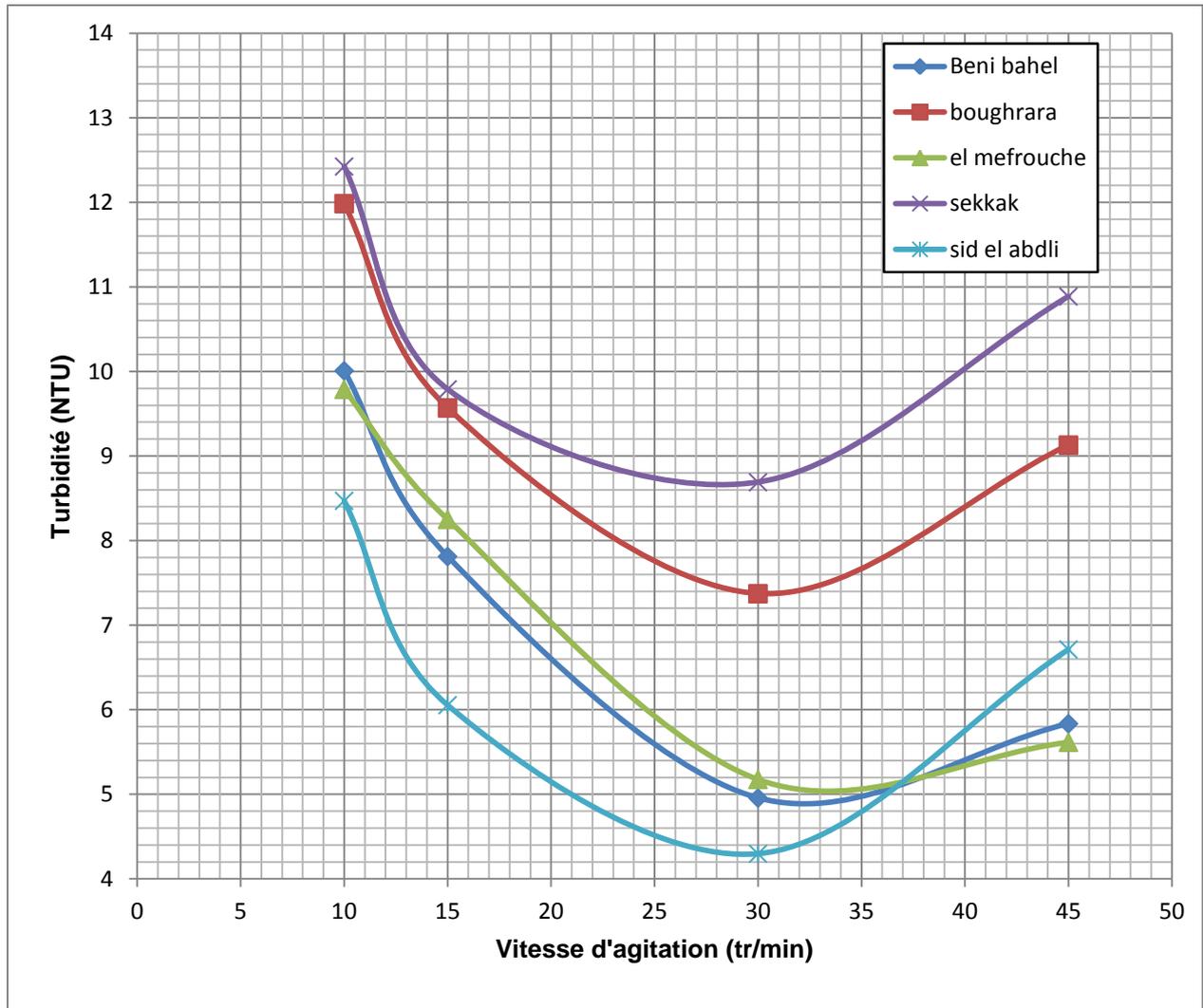


Figure V.5 influence de la vitesse d'agitation (chlorure ferrique (Fe Cl<sub>3</sub>)).

Tableau V.6 Résultat d'Influence de la vitesse d'agitation (Sulfate ferrique (Fe<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)).

N° de bécher	Vitesse D'agitation lente	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage El Mefrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
1	10 tr/min	10,01	11,99	9,79	12,42	0,13
2	30 tr/min	7,81	9,57	8,25	9,79	8,03
3	<b>15 tr/min</b>	<b>4,96</b>	<b>7,37</b>	<b>5,18</b>	<b>8,69</b>	<b>5,40</b>
4	45 tr/min	5,84	9,13	5,62	10,89	6,28



**Figure V.6. Influence de la vitesse d'agitation (sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ )).**

D'après des résultats obtenus, il y'a une diminution de la turbidité final en augmentant de la vitesse d'agitation jusqu'à une vitesse optimale et il y'a une augmentation de la turbidité pour les vitesses dépassant cette optimum, ceci s'explique par un bris des floccs formés suite à l'augmentation de la vitesse d'agitation.

D'après les figures précédentes la vitesse optimale de floculations pour les vases des 5 barrages et pour les 3 coagulants utilisés est de l'ordre de 30 tr/min.

La vitesse d'agitation a une grande influence sur la coagulation-floculation, cette vitesse de floculation doit être adéquate pour augmenté la probabilité des contacts entre les particules colloïdales, et ne doit pas être trop rapide pour ne pas briser les floccs formés

### V.3. Influence du PH sur la coagulation-floculation :

Le pH est considéré comme un des facteurs les plus importants à prendre en considération au moment de la réalisation de l'opération de coagulation-floculation.

En effet pour chaque type d'eau, il existe une plage de pH pour laquelle le procédé à lieu rapidement. La gamme optimale de pH est fonction de diverses réactions au sein de l'eau à traité, ainsi que la composition de cette dernière.

Les expériences ont été réalisées sur flocculateur de laboratoire pour une concentration fixée de 200mg de la vase pour les 5 barrages. En ajoutant une même quantité coagulant fixé préalablement la vitesse et le temps d'agitation sont fixé par les résultats optimaux et nous varions la plage du pH afin d'arriver à déterminer le pH optimal du milieu pour avoir une bonne floculation. Les résultats obtenus sont résumés les tableaux V.7, V.8 et V.9 et représentés dans les courbes des figures V.7, V.8 et V.9 qui suivent :

**Tableau V.7 Résultat de l'Influence du pH (Sulfate d'aluminium).**

N° de bécher	pH du milieu traité	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
01	5,5	3,64	4,52	3,64	4,08	4,08
02	6	1,88	2,54	1,88	2,54	2,10
<b>03</b>	<b>6,5</b>	<b>1,00</b>	<b>1,66</b>	<b>0,57</b>	<b>1,00</b>	<b>0,78</b>
04	7	2,98	2,98	2,54	2,32	2,54
05	7,5	4,30	5,40	4,08	3,64	4,52

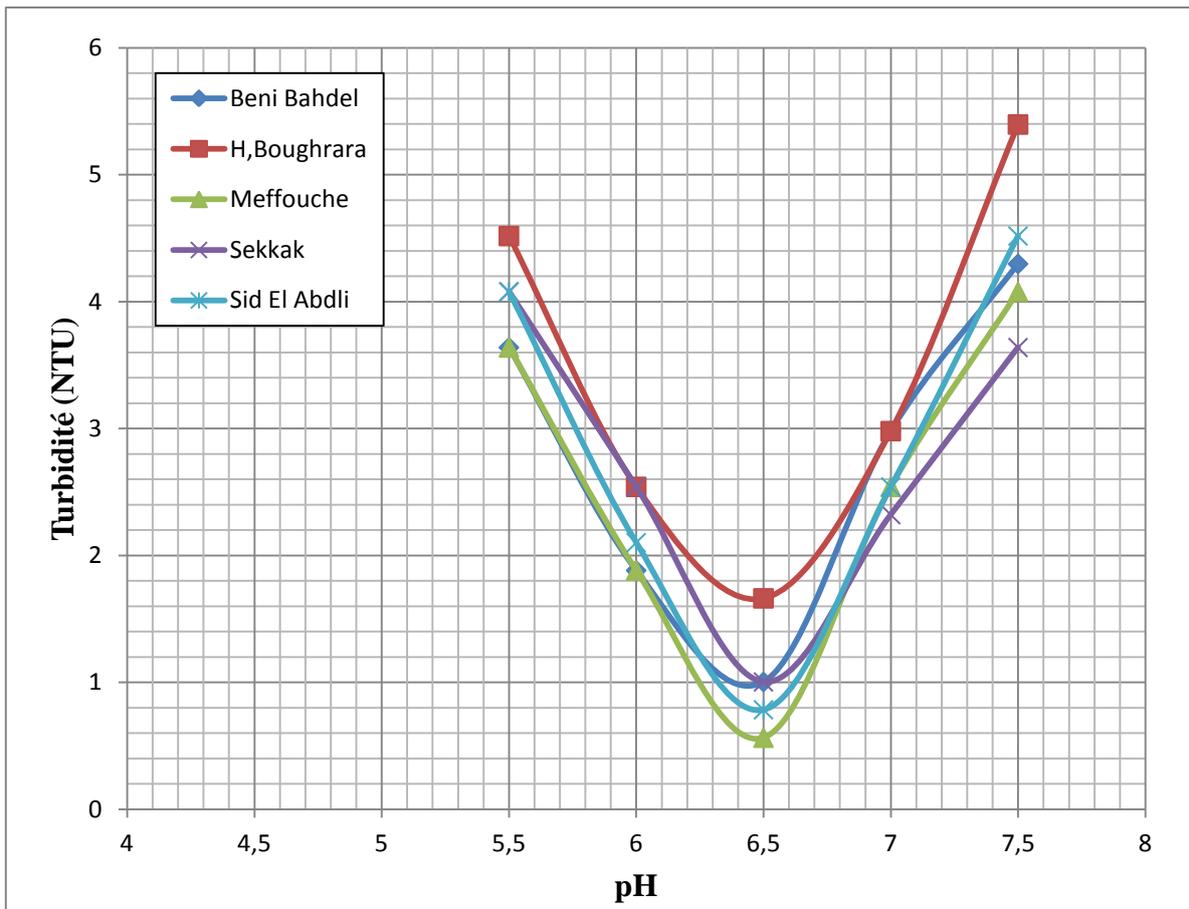


Figure V.7. Influence du PH (le Sulfate d'aluminium).

Tableau V.8. Résultat d'Influence du pH ( chlorure ferrique).

N° de bécher	pH du milieu traité	Barrage Beni bahdel	Barrage H. Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
<b>01</b>	<b>5,5</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>	<b>0,13</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
<b>02</b>	<b>6</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>	<b>0,13</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
03	6,5	0,78	0,57	0,13	0,35	0,35
04	7	1,00	1,44	0,13	0,35	0,78
05	7,5	1,66	1,66	0,35	0,78	1,22

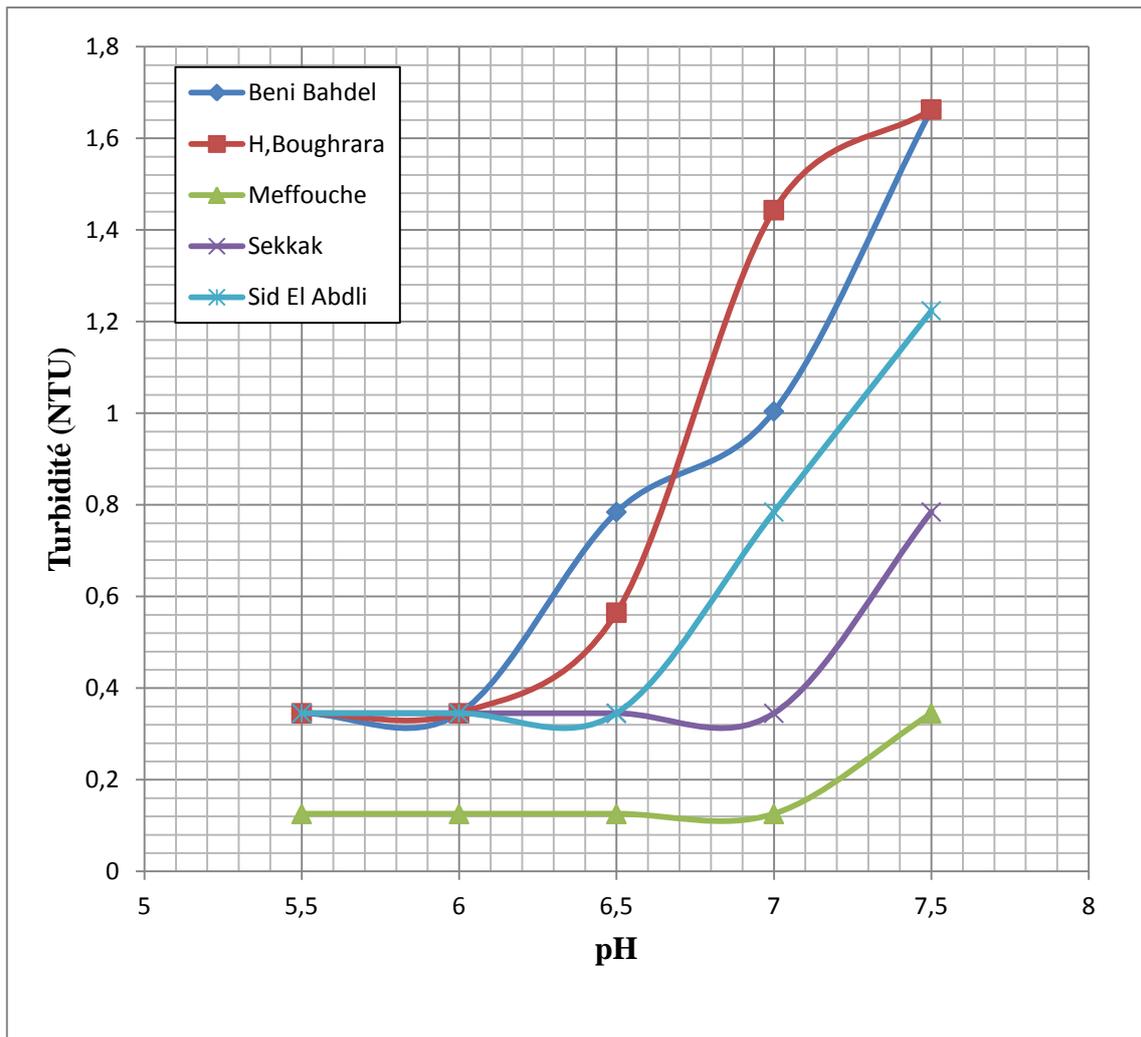
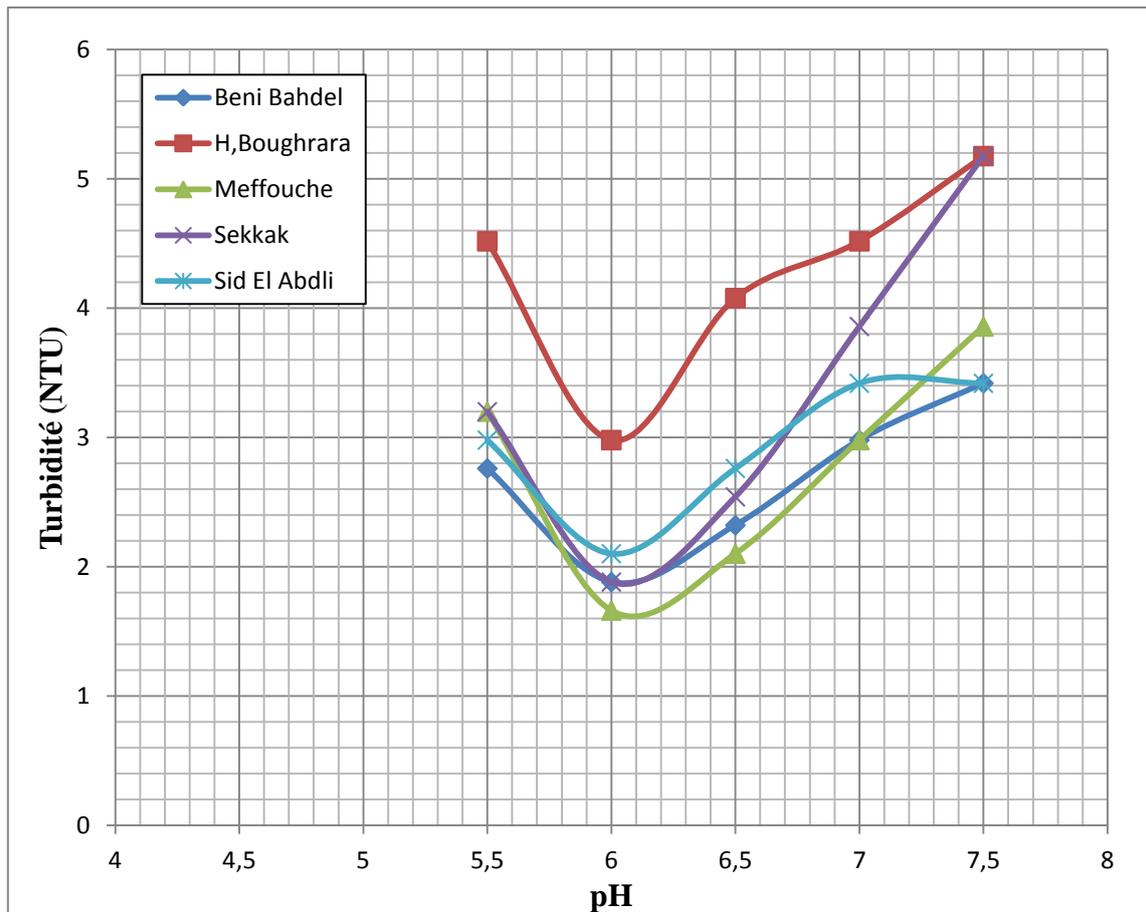


Figure V.8 influence du pH (Chlorure ferrique).

Tableau V.9 Résultat d'Influence du pH (sulfate ferrique).

N° de bécher	pH du milieu traité	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
<b>01</b>	<b>5,5</b>	<b>2,76</b>	<b>4,52</b>	<b>3,20</b>	<b>3,20</b>	<b>2,98</b>
<b>02</b>	<b>6</b>	<b>1,88</b>	<b>2,98</b>	<b>1,66</b>	<b>1,88</b>	<b>2,10</b>
03	6,5	2,32	4,08	2,10	2,54	2,76
04	7	2,98	4,52	2,98	3,86	3,42
05	7,5	3,42	5,18	3,86	5,18	3,42



**Figure V.9 influence du pH (sulfate ferrique).**

Les résultats obtenus représentés sur les figures V.9 à V.12, montre que les courbes de variation de la turbidité finale en font du pH sont sous forme de cloche inversé, c'est-à-dire que la turbidité finale décroît jusqu'à une valeur minimale correspondant au pH optimale puis l'allure d'une courbe croissante après ce dernier. Ce virage correspond au pH optimal ( $pH_i$ ) où le processus (coagulation-floculation) atteint son rendement maximum. Le pH optimal ( $pH_i$ ) dépend du coagulant utilisé et de la nature du milieu à traité. Pour notre cas en traitement des échantillons des 5 barrages de la Wilaya de Tlemcen le pH optimal pour le Sulfate d'aluminium est de l'ordre de 6,5 (figure V.7) ; il est de 6 des sulfates ferriques (figure V.8) pour chacun des deux coagulants les pH optimaux sont les mêmes pour toute les vases, et par contre pour le chlorure ferrique (figure V.9) nous distinguons non pas une valeur unique du pH optimale mais une plage optimale qui change en fonction le la nature des particules solides à éliminer. Elle est se situ entre 5.5 et 6 pour les vases de Hammam H.Boughrara et de Beni Bahdel, entre 5.5 et 7 pour la vase de Meffrouche et Sekkak et enfin entre 5.5 et 6.5 pour la vase de Sid El Abdli. Nous signalons la limite inferieur ( $pH_{5.5}$ ) peut inférieure à cette valeur nous n'avons pas pu effectuer des testes pour des pH de solution inferieur à 5.5.

On peut conclure que la coagulation-floculation avec le chlorure ferrique peut se faire avec des milieux un peu acide jusqu'au pH=5.5. Pour les coagulant de base sulfate le ph du milieu peut atteindre 6 à 6,5.

Donc pour une bonne réalisation de la coagulation pour les eaux des 5 barrages de Tlemcen, le pH de l'eau doit être corrigé pour qu'il se situe dans les plages indiquées.

#### V.4. Influence de la quantité du coagulant sur la coagulation floculation

Une fois que le pH et de la solution est ajusté pour chaque solution de 6.5 pour le sulfate d'alumine et 5.5 pour le chlorure ferrique, le sulfate ferrique est de l'ordre pH=6.

Les vitesses sont à leur point optimale c'est à dire à 30tr/min, le temps optimal est de 10 min pour sulfate d'alumine, 20 min pour le chlorure ferrique et 15 min pour le sulfate d'alumine. Les expériences ont été réalisées sur floculateur de laboratoire pour une concentration fixée de 200 mg/l de la vase pour les 5 barrages.

Nous appliquons toujours les essais sur jar-test sur solution à 200mg/l de la vase. En respectant les points optimaux cités et nous varions la quantité du coagulant de (10ml à 30ml) avec une concentration de 1g/l. Afin d'arriver à déterminer la quantité du coagulant à injecter pour avoir une bonne formation du floc. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux V.10, V.11 et V.12 et représentés dans les courbes des figures tableaux V.10, V.11 et V.12 :

**Tableau V.10. Résultat d'Influence la quantité de Sulfate d'aluminium**

N° de bécher	Quantité du coagulant Ajouté (ml)	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
1	10	5,40	6,93	4,08	5,40	4,08
2	12	4,52	4,52	3,42	4,52	3,64
3	13	3,86	3,64	<b>2,76</b>	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>
4	14	<b>3,64</b>	<b>3,64</b>	3,42	3,64	3,86
5	15	3,86	4,74	3,64	4,30	4,30
6	16	5,40	4,30	4,30	4,52	5,18
7	17	6,49	5,18	5,18	5,18	5,40
8	20	6,93	8,47	6,28	7,59	6,71
9	25	9,57	15,72	9,35	14,40	10,01
10	30	11,55	17,70	12,42	17,26	12,42

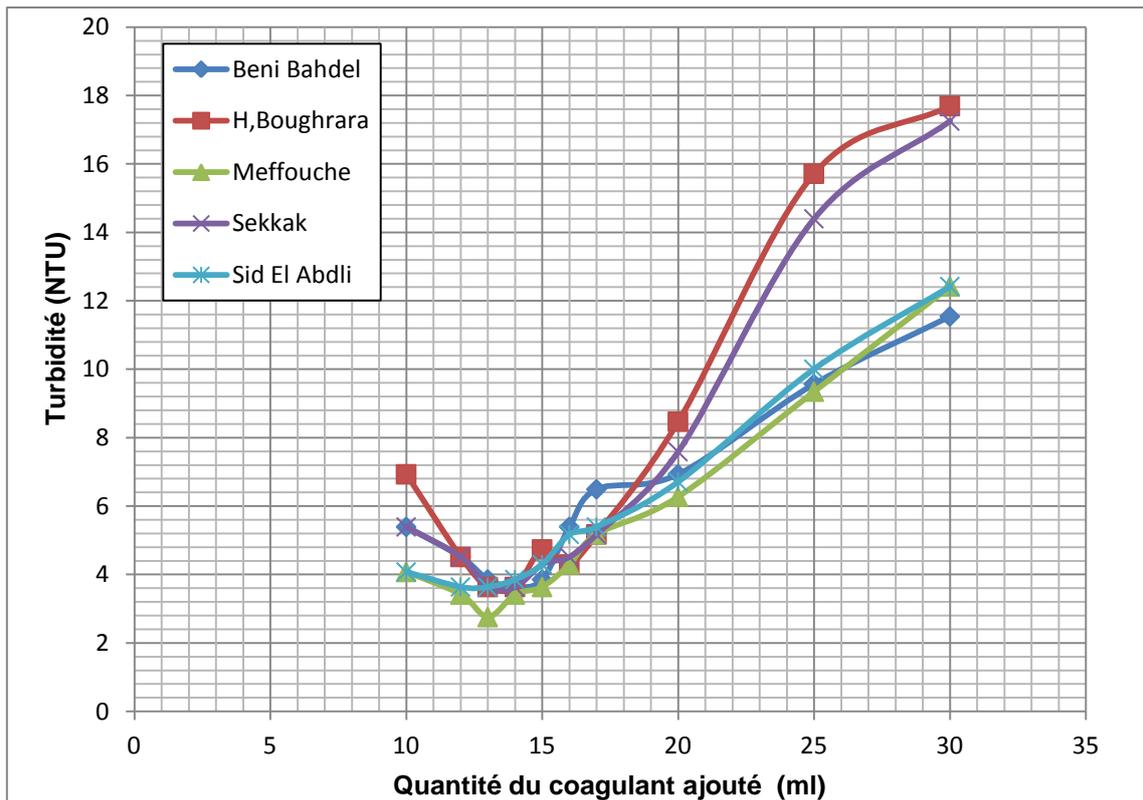


Figure V.10 influence de la quantité de Sulfate d'aluminium

Tableau V.11 Résultat d'Influence la quantité de chlorure ferrique

N° de bécher	Quantité du coagulant Ajouté (ml)	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abkli
1	5	6,93	11,77	6,28	7,37	6,93
2	10	6,06	6,06	5,40	6,06	4,30
3	12	6,06	5,62	5,62	5,84	4,08
4	14	3,64	5,84	3,86	4,74	4,08
5	15	3,42	5,18	3,20	4,74	2,98
6	<b>16</b>	<b>3,20</b>	5,18	<b>2,32</b>	4,74	<b>2,98</b>
7	17	3,20	4,74	2,98	3,42	3,20
8	<b>18</b>	3,86	<b>4,08</b>	3,64	<b>3,20</b>	3,86
9	19	4,52	4,08	4,30	3,86	4,96
10	20	5,40	4,52	5,18	4,52	5,84
11	22	8,47	7,37	7,15	7,37	8,03
12	24	11,33	11,99	12,20	11,99	11,77

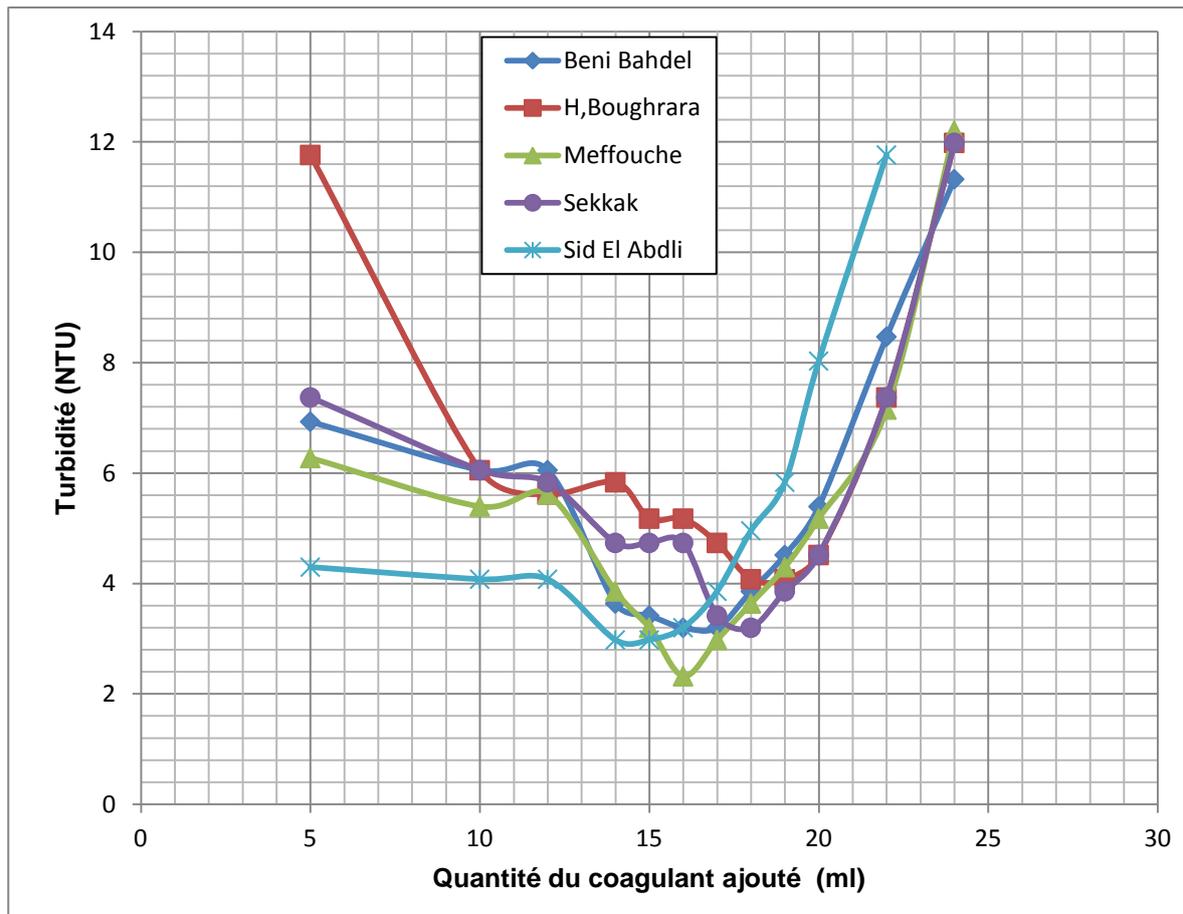
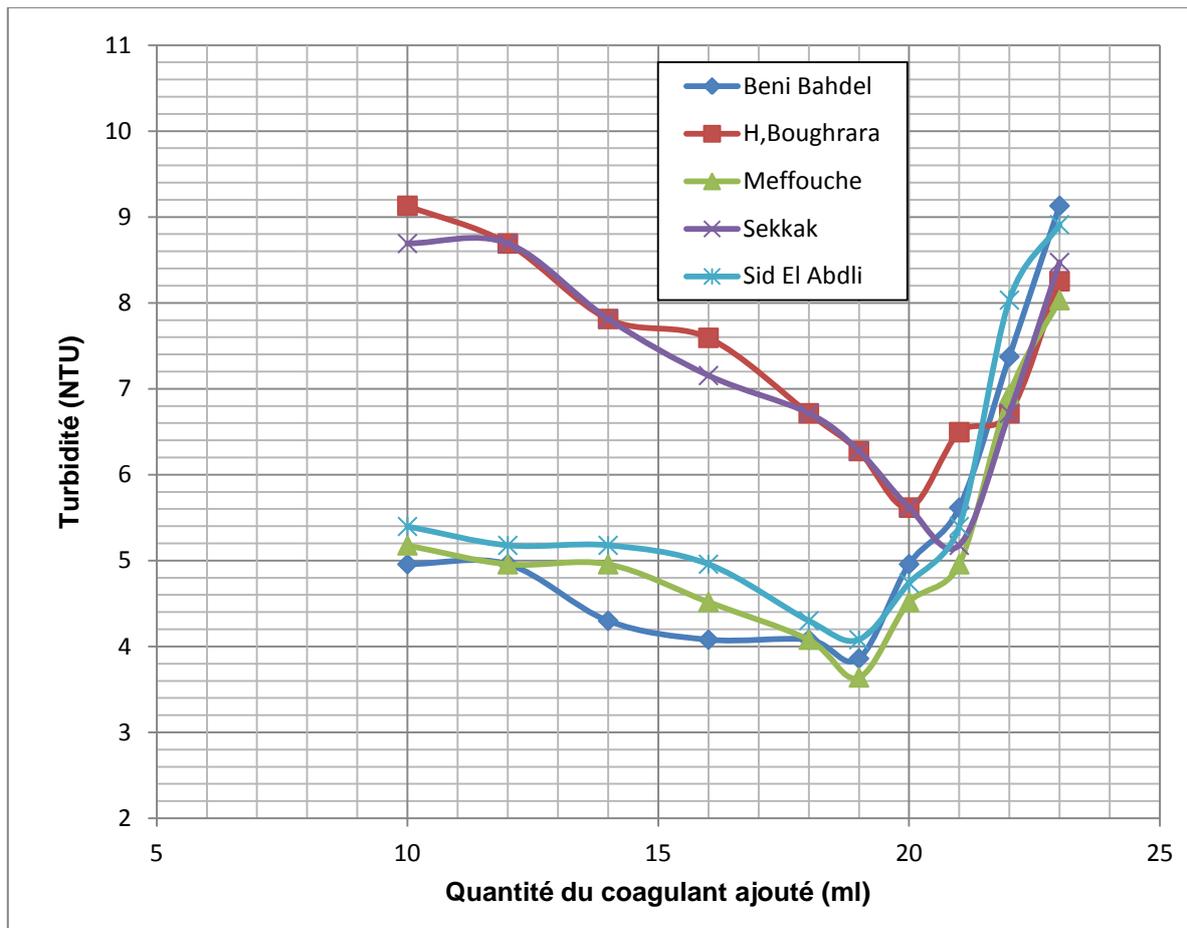


Figure V.11 influence de la quantité de chlorure ferrique

Tableau V.12 Résultat d’Influence de la quantité de sulfate ferrique

N° de bécher	Quantité du coagulant Ajouté (ml)	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
1	10	4,96	9,13	5,18	8,69	5,40
2	12	4,96	8,69	4,96	8,69	5,18
3	14	4,30	7,81	4,96	7,81	5,18
4	16	4,08	7,59	4,52	7,15	4,96
5	18	4,08	6,71	4,08	6,71	4,30
6	19	<b>3,86</b>	6,28	<b>3,64</b>	6,28	<b>4,08</b>
7	20	4,96	<b>5,62</b>	4,52	<b>5,62</b>	4,74
8	21	5,62	6,49	4,96	5,18	5,40
9	22	7,37	6,71	6,93	6,71	8,03
10	23	9,13	8,25	8,03	8,47	8,91



**Figure V.12 Influence de la quantité de sulfate ferrique**

La variation de la quantité du coagulant influe directement sur le processus. On remarque pour une faible dose coagulant le taux de la turbidité final est très élevé. Avec l'augmentation de la dose on obtient une bonne efficacité du processus sur le milieu traité jusqu'à un virage optimum, au-delà de ce point une forte dose du coagulant conduit une diminution du rendement.

A partir des résultats précédent (figures V.10 à V.12) nous constatons que le Sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique donnent les meilleurs résultats pour toutes les vases (turbidité finale < 4NTU) par rapport au sulfate ferrique (turbidité < 6NTU). Le sulfate d'aluminium (figure V.13) donne les meilleurs résultats pour une quantité moindre de coagulant (13ml de coagulant pour les vases de Sekkak, Meffrouche et Sid El Abdli et 14ml de coagulant pour les vases de H.Boughrara et Beni Bahdel)

La dose optimale est variable d'un coagulant à un autre et cette variance est imputable à son pouvoir de déstabiliser et neutraliser les charges des colloïdes du milieu traité et la nature de ces dernières.

## V.5. Influence de la concentration du coagulant sur la coagulation floculation

Une fois la quantité du coagulant est à son état optimal pour chaque solution et chaque type de coagulant et réaliser. Nous avons refait les mêmes essais avec les conditions en resserrant l'écart de concentration pour mieux apprécier l'influence de la concentration en coagulant et pour en déterminer la demande optimale des solutions préparées en coagulant. Les solutions de coagulants ont été préalablement concentré à 1,8mg/l, 3,6, ... jusqu'à 16 mg/l. cette expérience à pour but de déterminer quelle concentration de solution de coagulant nous donnant une bonne coagulation, en même temps la demande en coagulant nécessaire des eaux contenant des vases (dose du coagulant) pour avoir un bon rendement de coagulation-floculation. Les expériences ont été réalisées sur floculateur de laboratoire pour une concentration fixée de 200mg/l de la vase pour les 5 barrages et pour les conditions optimaux obtenus précédemment (Vitesse et temps de floculation, pH, et quantité de coagulant) relatif à chaque produit chimique et pour chaque vase.

Les résultats obtenus sont montré sur les graphes et les tableaux suivant :

**Tableau V.13 Résultat de l'Influence de la dose du coagulant (Sulfate d'aluminium).**

N° de bécher	Concentration du coagulant (g/l)	Dose du coagulant (mg/l)	Barrage Beni bahdel	Barrage H.Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
01	0,9	16,2	3,64	3,42	2,54	2,10	3,20
<b>02</b>	<b>0,8</b>	<b>14,4</b>	<b>2,98</b>	<b>2,76</b>	<b>1,88</b>	<b>1,66</b>	<b>1,66</b>
03	0,7	12,6	3,42	3,42	2,32	2,54	2,98
04	0,5	9	4,96	4,74	4,52	4,30	4,96
05	0,2	3,6	8,25	8,03	7,15	6,93	6,49
06	0,1	1,8	10,67	16,16	10,01	12,42	9,79

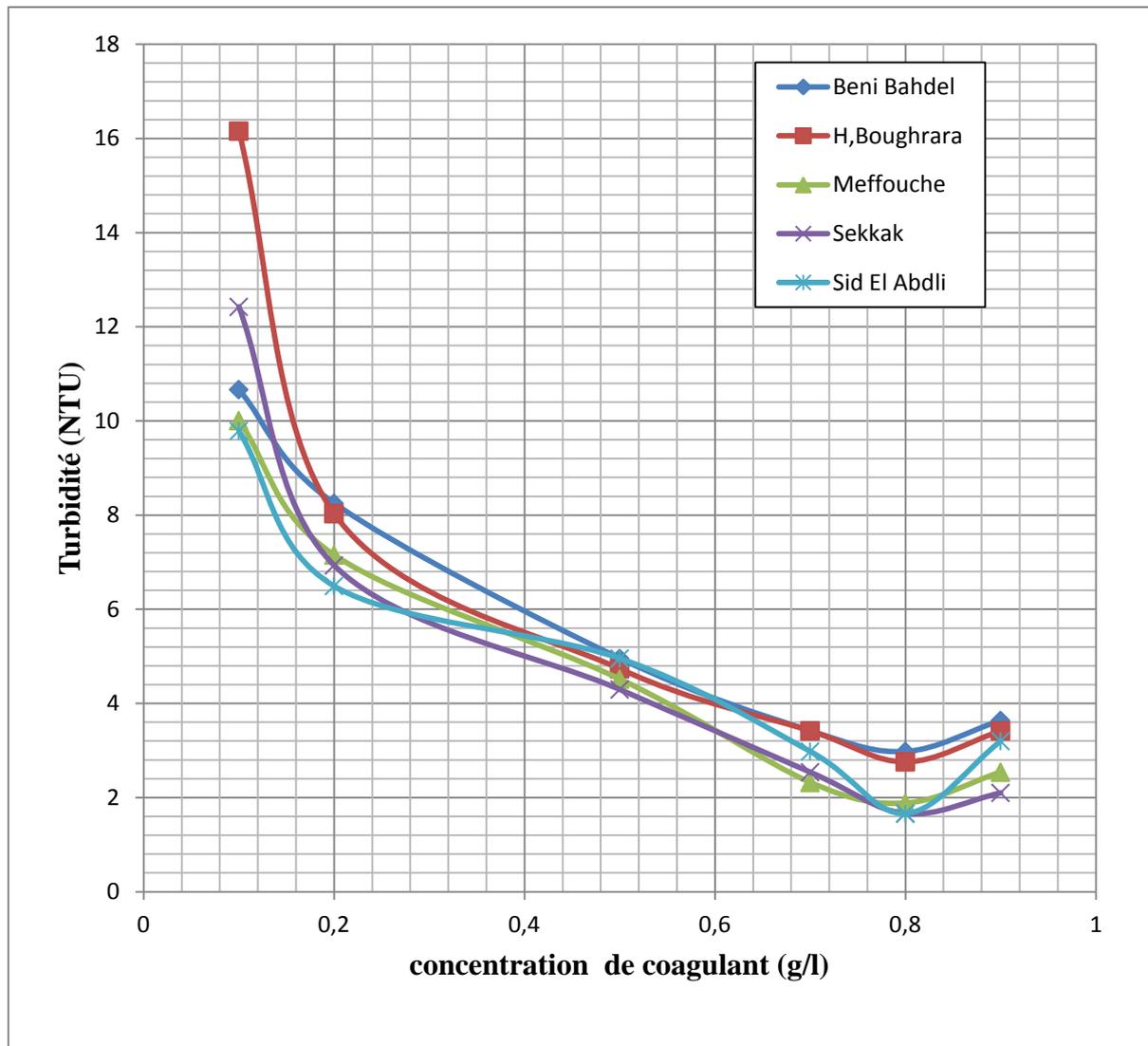


Figure V.13 Influence de la dose du coagulant (Sulfate d'aluminium).

Tableau V.14 Résultat d'Influence de la dose du coagulant (Chlorure ferrique).

N° de bécher	Concentration du coagulant (g/l)	Dose du coagulant (mg/l)	Barrage Beni bahdel	Barrage H. Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
01	0,9	16,2	2,32	3,20	2,54	2,32	3,42
02	0,8	14,4	2,10	2,54	1,88	1,88	2,54
03	0,7	12,6	2,10	1,88	1,00	1,88	1,88
<b>04</b>	<b>0,5</b>	<b>9,0</b>	<b>1,00</b>	<b>1,44</b>	<b>0,13</b>	<b>0,35</b>	<b>0,78</b>
05	0,2	3,6	15,06	22,31	16,60	19,45	15,28
06	0,1	1,8	17,48	27,58	18,35	20,99	17,48

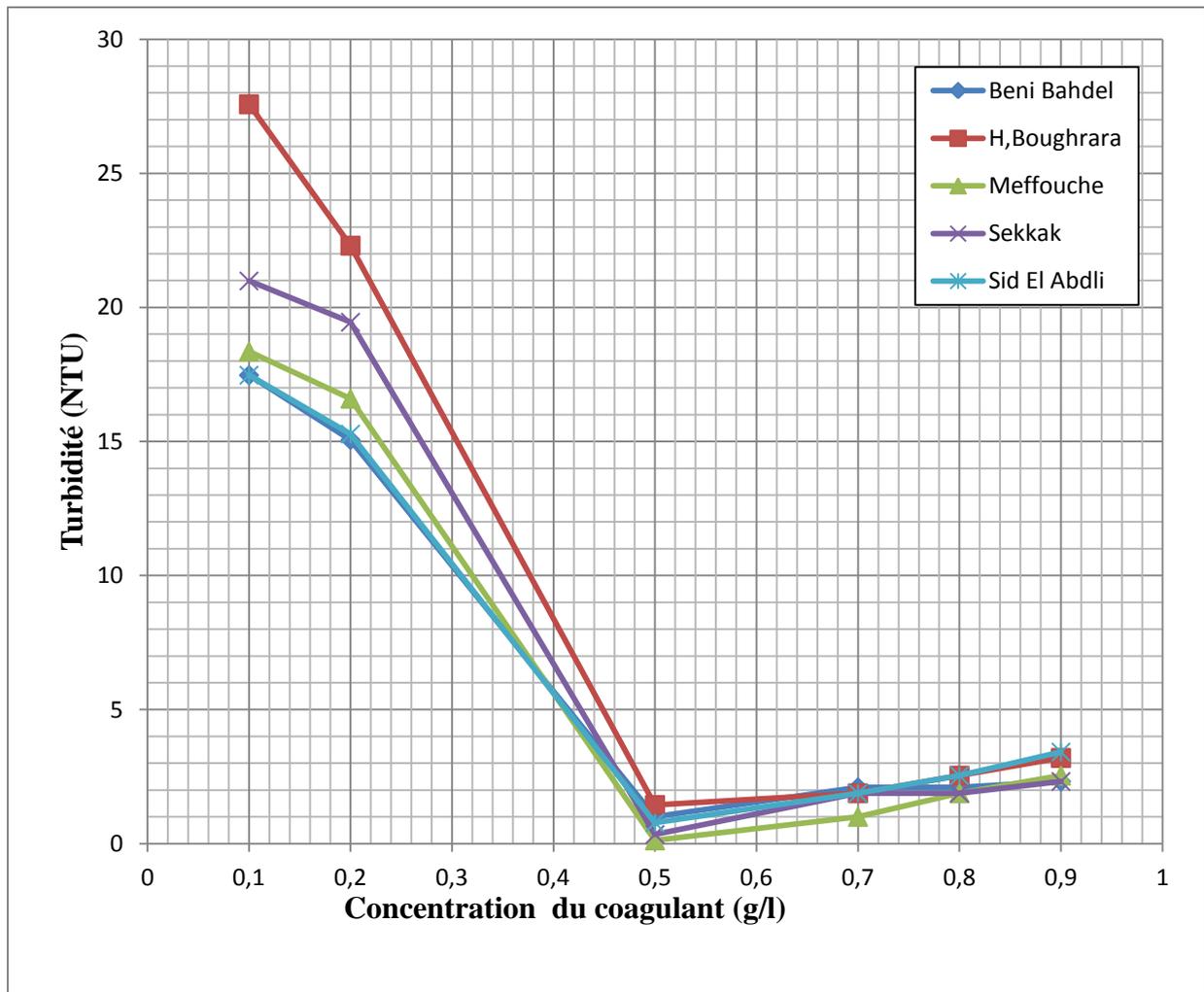
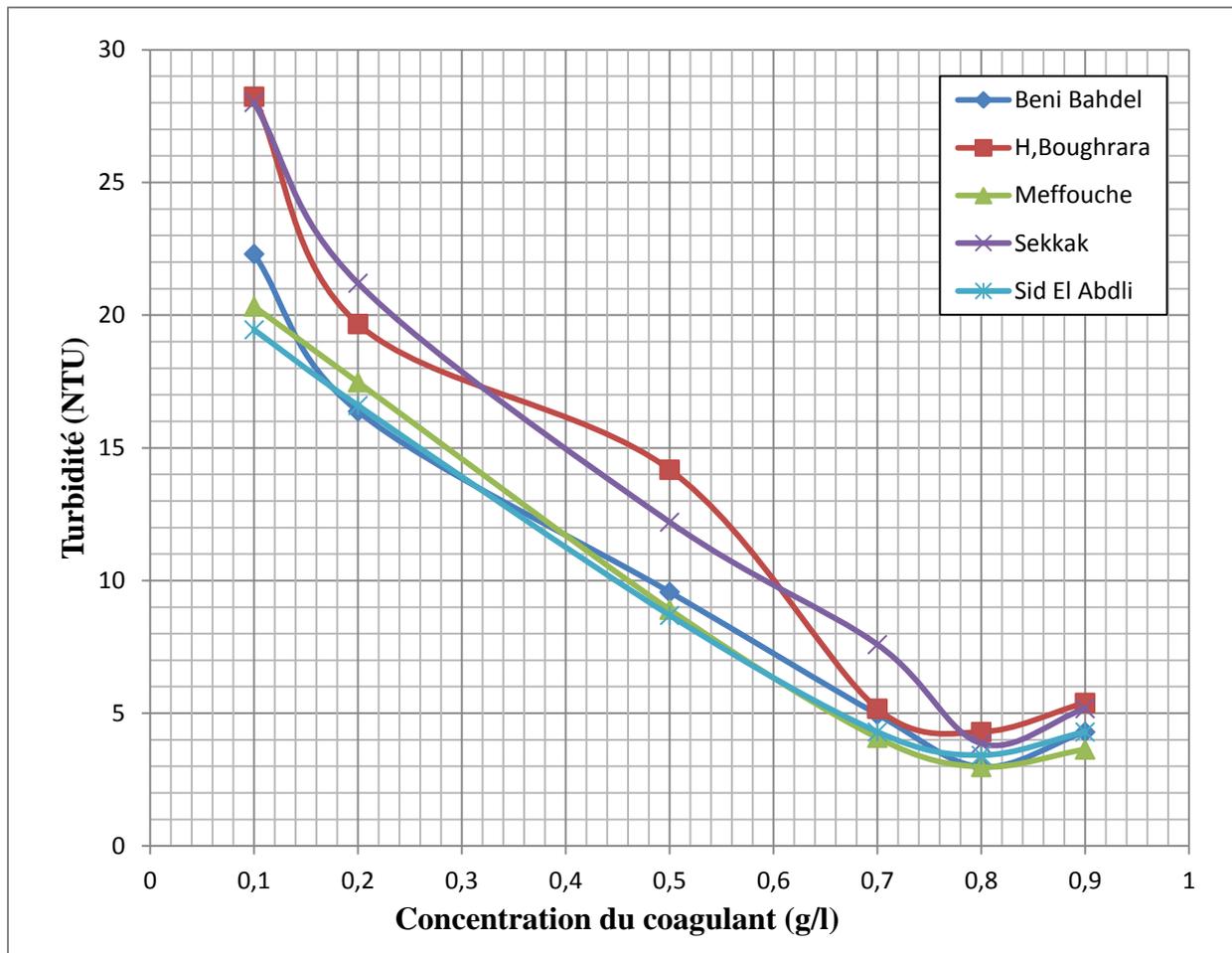


Figure V.14 influence de la concentration coagulant (Chlorure ferrique).

Tableau V.15 Résultat d’Influence de la concentration du coagulant (Sulfate ferrique).

N° de bécher	Concentration du coagulant (g/l)	Dose du coagulant (mg/l)	Barrage Beni Bahdel	Barrage H. Boughrara	Barrage Meffrouche	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
01	0,9	16,2	4,30	5,40	3,64	5,18	4,30
<b>02</b>	<b>0,8</b>	<b>14,4</b>	<b>2,98</b>	<b>4,30</b>	<b>2,98</b>	<b>3,86</b>	<b>3,42</b>
03	0,7	12,6	4,96	5,18	4,08	7,59	4,30
04	0,5	9	9,57	14,18	8,91	12,20	8,69
05	0,2	3,6	16,38	19,67	17,48	21,21	16,60
06	0,1	1,8	22,31	28,24	20,33	28,02	19,45



**Figure V.15 influence de la concentration coagulant (Sulfate ferrique).**

Les essais sur des différentes solutions et les graphes déduits à partir des résultats obtenus montrent qu'avec une augmentation de la concentration du coagulant le rendement du processus augmente ce qui est montré avec une courbe décroissante de la turbidité final. Jusqu'à un point optimal où le milieu sera saturé. Un excès du coagulant restabilise les colloïdes de nouveau, empêche la formation des floes ce qui influe négativement sur le rendement de la coagulation-floculation du milieu testé.

Des expériences réalisées dont les résultats sont représentés dans les figures V.13. à V.15. Nous montrent que la coagulation avec le chlorure ferrique a un pouvoir très élevés de déstabilisation des colloïdes par rapport au deux autres coagulants du fait que l'utilisation d'une concentration de 0,5 g/l (dose de 9 mg/l) nous permis de réduire la turbidité de toute les solutions vaseuses à moins de 1,44 NTU. La solution de sulfate d'aluminium à 0,8g/l (dose de 14,4 mg/l) à permis d'avoir des turbidités résiduelles de moins de 3 NTU, et la solution de sulfate ferrique à 0,8g/l (dose de 14,4mg/l) à permis d'avoir des turbidités résiduelles de moins de 4,3 NTU.

## V.6. Influence des particules de vases des barrages sur la coagulation floculation :

Dans cette expérience nous essayerons de déterminer la demande en coagulant pour des eaux contenant des particules de vase de diverse origines et de diverse concentration en particules solide. Dans cette série d'expériences nous utiliserons uniquement deux coagulants (le sulfate d'aluminium et le chlorures ferriques) et pour les vases, nous contenterons de vases (H.Boughrara, Sid El abdeli et Sékkak). Pour mieux apprécier les résultats de nos essais nous exprimerons nos résultats par le rendement d'élimination des colloïdes

$$R(\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \cdot 100 \dots\dots (V.1) \text{ (in[73])}.$$

Où :

**R** : Rendement d'élimination de la turbidité (%).

**T<sub>i</sub>** : Turbidité initial (avant traitement) (NTU).

**T<sub>f</sub>** : Turbidité final (après traitement) (NTU).

Dans cette étapes tous les paramètres sont optimisés la concentration du coagulant, la vitesse d'agitation et le temps d'agitation. Le paramètre vérifier c'est la concentration des matières en suspension a traités.

Les courbes suivantes nous montrent les points optimaux où la coagulation floculation ce faite a un rendement maximum.

### **Remarque**

A cause de manque du Temps et le manque des produits au laboratoire nous nous concentrons lors de nos tests sur les trois Barrage principaux au wilaya de Tlemcen ( Sekkak – H.Boughrara – Sid el abdeli).

L'élimination des deux autres barrages (El mefrouche et Beni Bahdel) est justifier par la bonne qualité des eaux de Barrage Meffrouche (la moindre en teneur de turbidité en Algérie), et par l'absence du processus de coagulation-floculation a la station de traitement des eaux barrage de Beni Bahdel (station de Bouhlou).

Le sulfate ferrique n'est pas utilisé dans cette étape vu les difficultés de son utilisation et sa manipulation au laboratoire, à cause de son oxydation rapide avec l'air et même pendant l'étape de la préparation des solutions ou bien la dilution.

## A. Pour une concentration de 200 mg/l

Tableau V.16. Rendement de la coagulation-floculation par le chlorure ferrique pour une concentration de 200 (mg/l).

N° de bécher	Dose du coagulant (mg/l)	Barrage Sekkak Rendement (%)	Barrage H.Bouhrara Rendement (%)	Barrage Sid el abdeli Rendement (%)
01	16,2	95,00	92,88	92,31
02	14,4	95,95	94,34	94,29
03	12,6	95,95	95,81	95,77
04	<b>9,0</b>	<b>99,26</b>	<b>96,79</b>	<b>98,24</b>
05	3,6	58,12	50,36	65,67
06	1,8	54,81	38,63	60,73

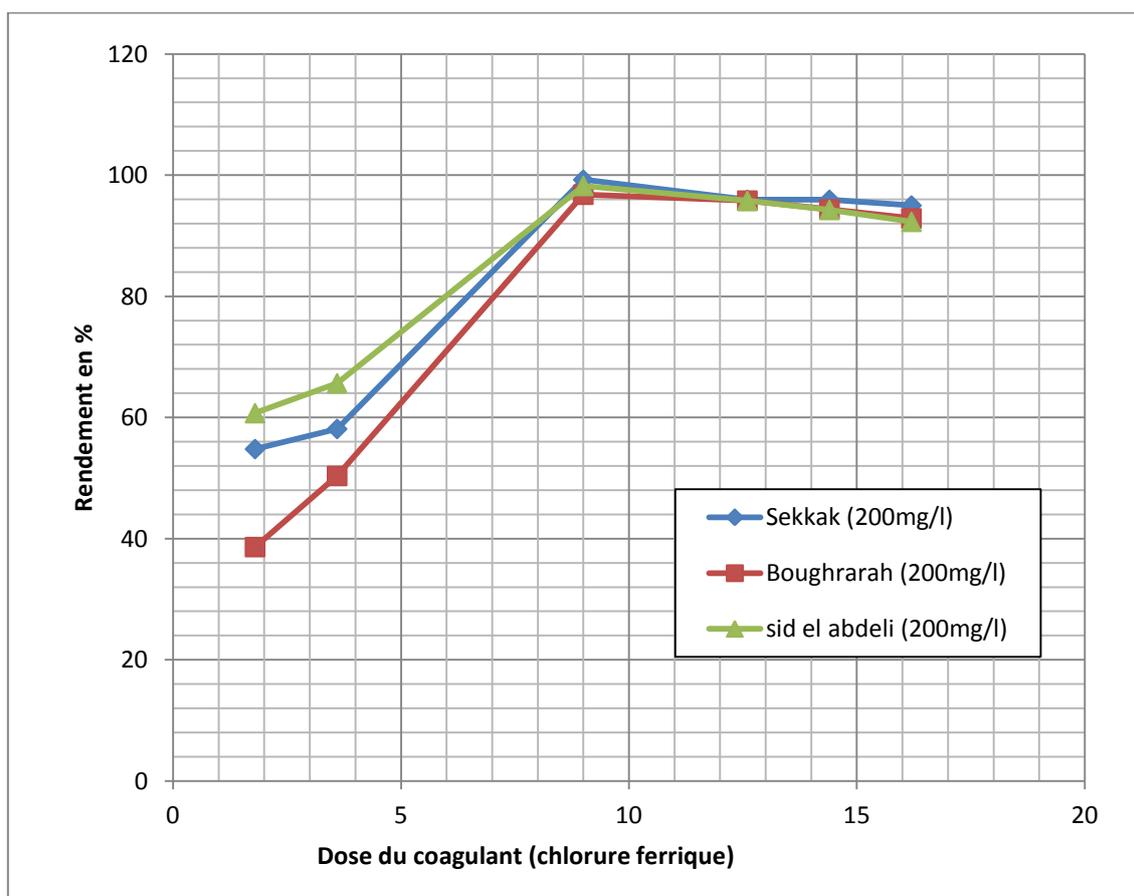
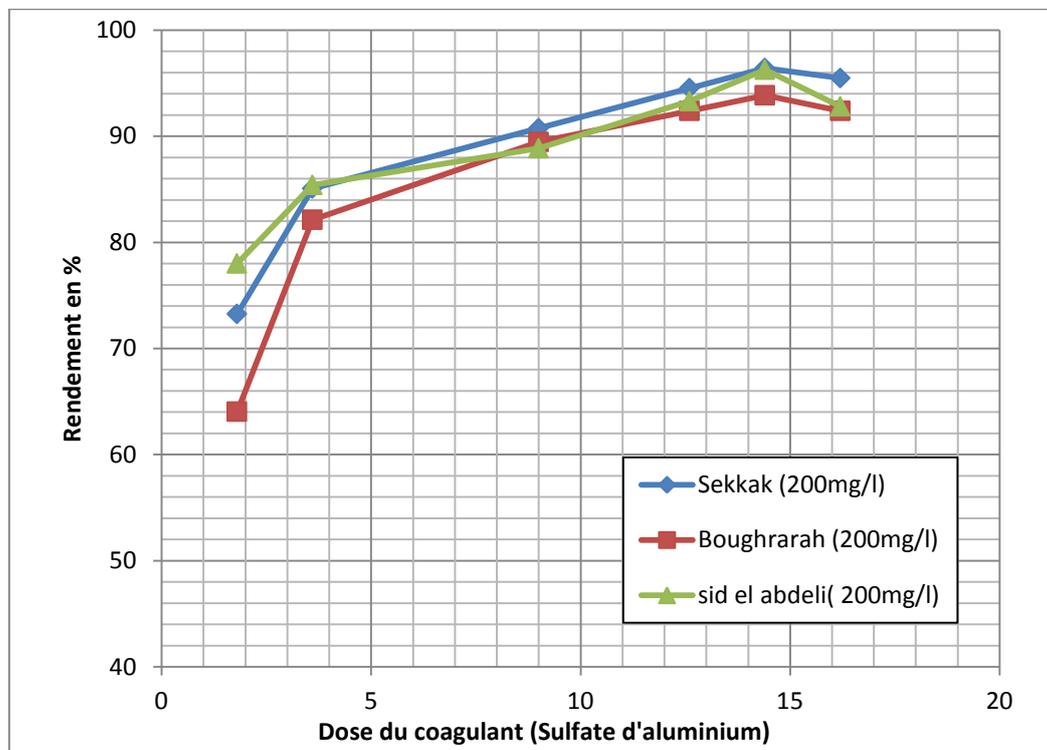


Figure V.16. Evolution du rendement en fonction de la dose de chlorure ferrique (200 mg/l)

**Tableau V.17 Rendement de coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium pour une concentration de 200 (mg/l).**

N° de bécher	Dose de coagulant (mg/l)	Barrage Sekkak Rendement (%)	Barrage H.Boughrara Rendement (%)	Barrage Sid el abdeli Rendement (%)
01	16,2	95,47	92,39	92,81
02	<b>14,4</b>	<b>96,42</b>	<b>93,86</b>	<b>96,26</b>
03	12,6	94,53	92,39	93,30
04	9	90,75	89,46	88,86
05	3,6	85,07	82,13	85,41
06	1,8	73,25	64,04	78,00



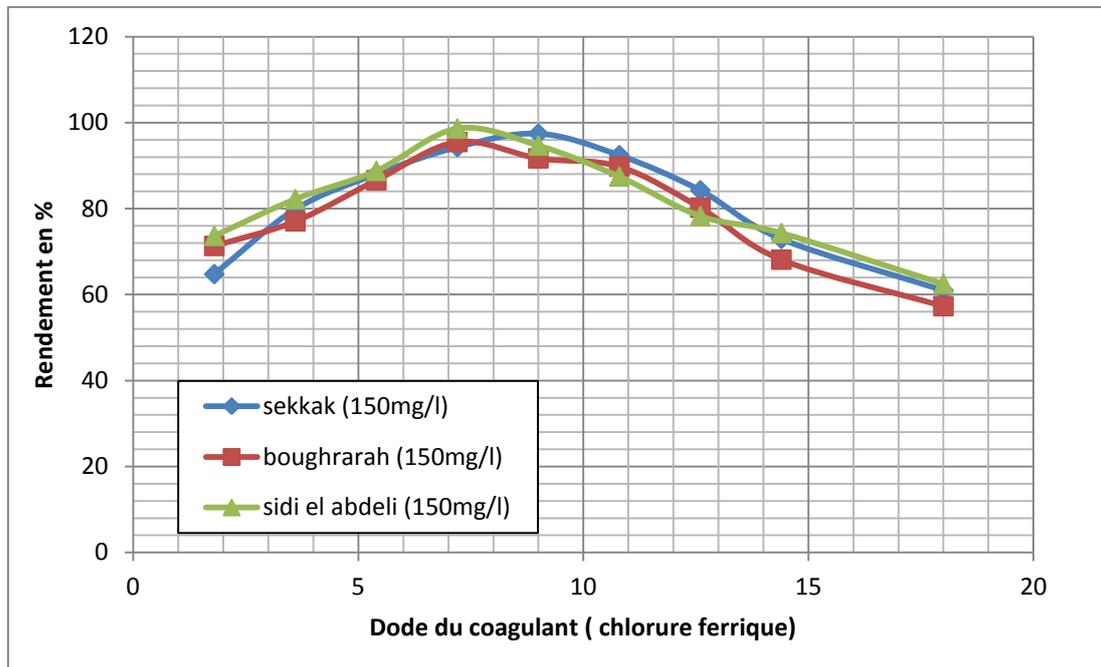
**Figure V.17 Evolution du rendement en fonction de la dose de Sulfates d'aluminium (200 mg/l) .**

### B. Pour une concentration de 150 mg/l

Les tableaux et les graphes suivant résumant les résultats de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique pour une concentration de vase de 150mg/l.

**Tableau V.18 Rendement de coagulation-floculation par le chlorure ferrique pour une concentration de 150 (mg/l).**

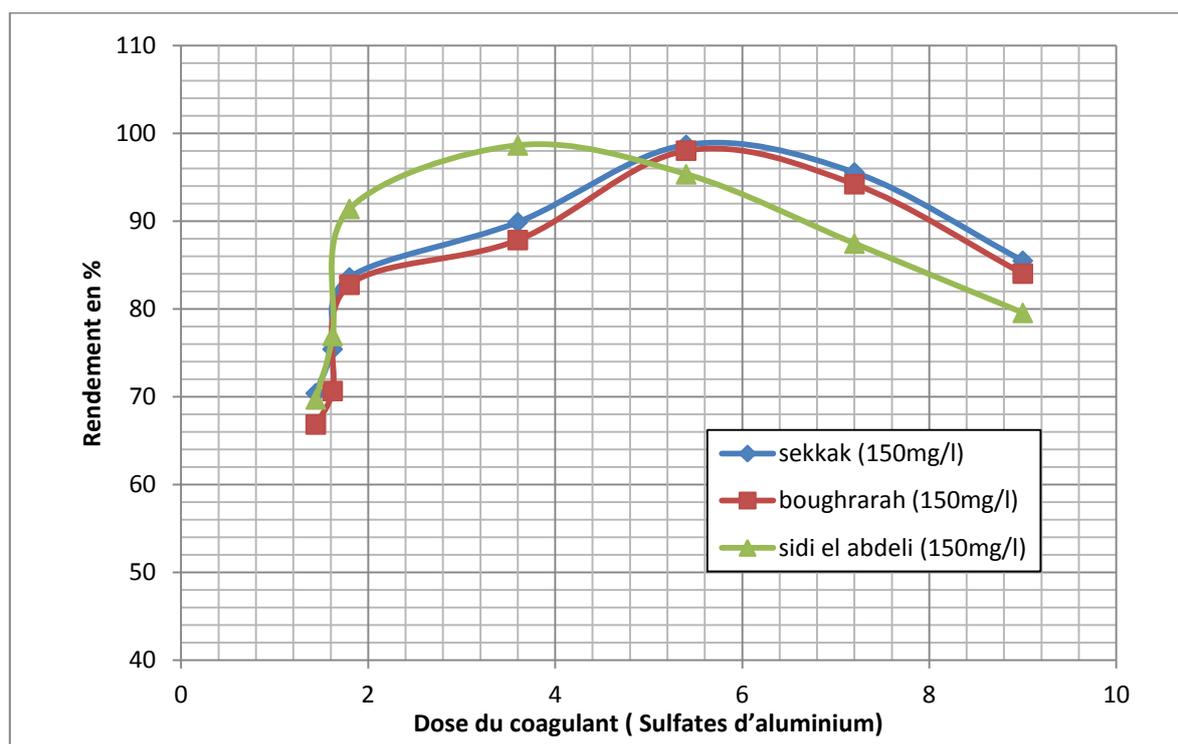
N° de bécher	Dose de coagulant (mg/l)	Barrage Sekkak Rendement (%)	Barrage H.Boughrara Rendement (%)	Barrage Sid el abdeli Rendement (%)
01	18	60,97	57,29	62,46
02	14,4	72,91	68,11	74,29
03	12,6	84,23	80,21	78,24
04	10,8	92,40	89,75	87,44
05	<b>9</b>	<b>97,42</b>	91,66	94,68
06	7,2	94,28	<b>95,48</b>	<b>98,62</b>
07	5,4	88,00	86,57	88,76
08	3,6	79,83	77,02	82,18
09	1,8	64,74	71,29	73,64



**Figure V.18 Evolution du rendement en fonction de la dose de chlorure ferrique (150 mg/l).**

**Tableau V.19. Rendement de coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium pour une concentration de 150 (mg/l).**

N° de bécher	Dose de du coagulant (mg/l)	Barrage Sekkak Rendement (%)	Barrage H.Bouhrara Rendement (%)	Barrage Sid el abdeli Rendement (%)
01	9	85,48	84,02	79,55
02	7,2	95,54	94,21	87,44
03	<b>5,4</b>	<b>98,68</b>	<b>98,03</b>	95,33
04	3,6	89,88	87,84	<b>98,62</b>
05	1,8	83,60	82,75	91,39
06	1,62	75,43	70,66	76,92
07	1,44	70,40	66,84	69,69
06	0,9	73,25	64,04	78,00



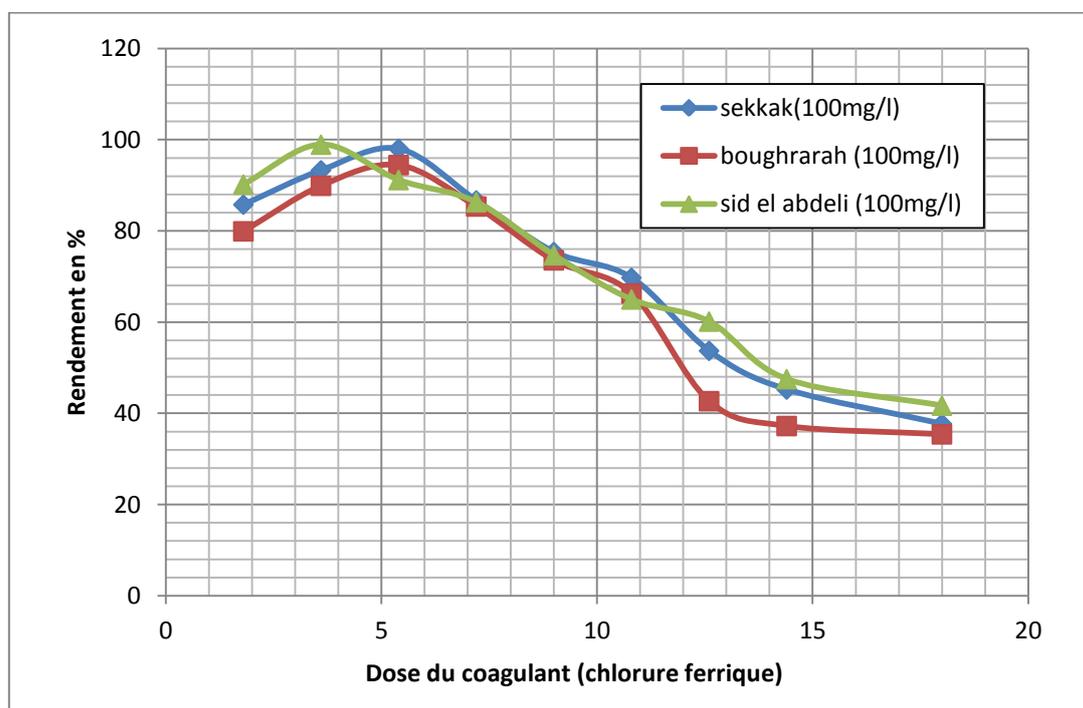
**Figure V.19 Evolution du rendement en fonction de la dose de Sulfates d'aluminium (150 mg/l) .**

### C. Pour une concentration de 100 mg/l

Les résultats du rendement de la concertation (100mg/l) sur la quantité du coagulant ajouté (le chlorure ferrique) sont montrés sur les tableaux et le graphe suivant :

**Tableau V.20 Rendement de coagulation-floculation par le chlorure ferrique pour une concentration de 100 (mg/l).**

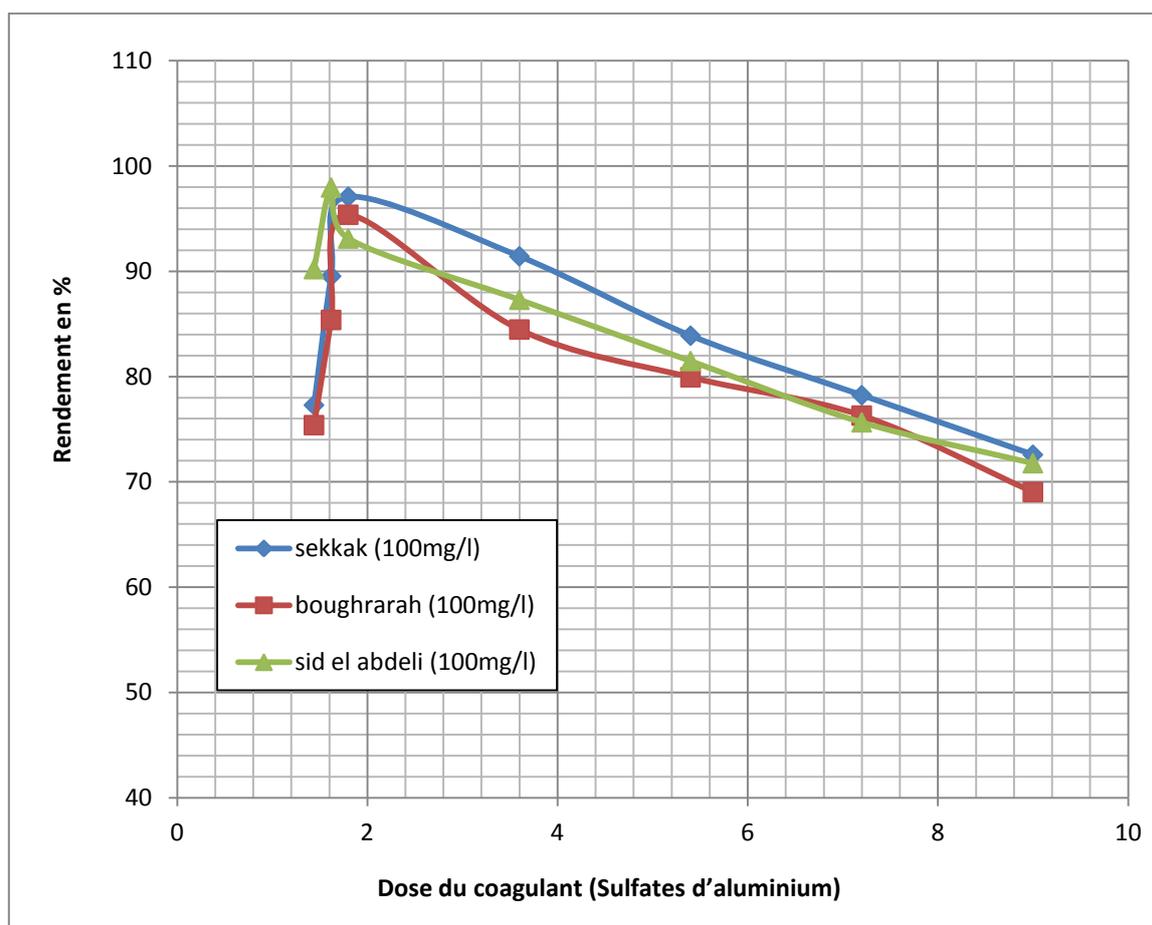
N° de bécher	Dose de du coagulant (mg/l)	Barrage Sekkak Rendement (%)	Barrage H.Bouhrara Rendement (%)	Barrage Sid el abdeli Rendement (%)
01	18	37,70	35,42	41,71
02	14,4	45,24	37,24	47,53
03	12,6	53,72	42,69	60,14
04	10,8	69,75	66,31	64,99
05	9	75,40	73,57	74,69
06	7,2	86,71	85,38	86,33
07	<b>5,4</b>	<b>98,02</b>	<b>94,46</b>	91,18
08	3,6	93,31	89,92	<b>98,94</b>
09	1,8	85,77	79,93	90,21



**Figure V.20 Evolution du rendement en fonction de la dose de chlorure ferrique (100 mg/l) .**

**Tableau V.21 Rendement de coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium pour une concentration de 100 (mg/l).**

N° de bécher	Dose de du coagulant (mg/l)	Barrage Sekkak Rendement (%)	Barrage H.Boughrara Rendement (%)	Barrage Sid el abdeli Rendement (%)
01	9	72,58	69,03	71,78
02	7,2	78,23	76,30	75,66
03	5,4	83,89	79,93	81,48
04	3,6	91,43	84,47	87,30
05	<b>1,8</b>	<b>97,08</b>	<b>95,37</b>	93,12
06	1,62	89,54	85,38	<b>97,97</b>
07	1,44	77,29	75,39	90,21



**Figure V.21 Evolution du rendement en fonction de la dose de Sulfate d'aluminium (100 mg/l).**

Les colloïdes dispersés dans un liquide traité dépendent de la concentration des matières en suspensions ajoutées ce qui affecte la concentration du coagulant.

D'après les figures V.12 à V.21 le rendement la coagulation floculation croît avec l'augmentation de la dose du coagulant jusqu'à atteindre une valeur maximale au delà de laquelle il baisse avec l'accroissement de la dose de coagulant (les particules se restabilisent)

Les résultats des expériences nous ont donnés des rendements très élevés en appliquant les doses optimales des coagulants testés; ils varient entre 93% à 98% pour le Sulfate d'aluminium et de 92% à 99 % pour le chlorure ferrique, pour les concentrations des vases testées

Les doses demandées pour traiter nos solutions en fonction de ces concentrations en vase sont variables d'un coagulant à un autre et d'un barrage à un autre.

En générale la demande en coagulant de Sid el Abdeli est inférieure à celle d'une eau contenant les vases des deux autres barrages, cela est dû à la compositions de ces vases.

## **V.7 Variation de la dose de coagulant en fonction le la concentration en particules de vase.**

Dans cette partie les doses optimales des coagulants en fonction des turbidités des solutions de vases correspondantes et cela pour les trois vases utilisées sont représentées dans des graphiques, et les nuages de points sont par la suite ajustés à des courbes théoriques. Le calcul les coefficients de corrélation de ces derniers nous permet d'apprécier la représentativité des ajustements. Le choix de l'utilisation de la turbidité au lieu de la concentration à été motivé par le fait qu'aux stations de traitement le premier paramètre et le plus simple à déterminer est la turbidité de l'eau brute.

Les équations des courbes de tendances sont déterminés a partir des points des concentrations optimaux obtenu à partir des expériences précédentes.

Les concentrations de la vase utilisées pour notre étude sont (100, 150, et 200 mg/l) traduit en turbidité en utilisant la courbe d'étalonnage de la figure IV.6 Les coagulants utilisés c'est (Le Sulfate d'aluminium et chlorure ferrique).

Les concentrations initiales des solutions de vases et les turbidités correspondantes sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau V.22 Concentrations initiales et les turbidités correspondantes.**

Concentration Vase (mg/l)	Barrage H.Boughrara	Barrage Sekkak	Barrage Sid el abdli
	Tur (NTU)	Tur (NTU)	Tur (NTU)
100	23,77	21,61	22,05
150	33,92	31,76	33,49
200	45,80	43,86	45,37

**Remarque :**

En plus des trois turbidités étudiées (tableau V.23, V24) nous ajoutons la norme de turbidité pour les eaux de consommation (2 NTU) pour laquelle la demande en coagulant et en principe nulle [89].

**V.7.1 Courbe de tendance.**

Les demandes en coagulant pour les diverses turbidités de l'eau, pour les deux coagulants utilisés sur les trois vases de barrages sont mentionnées dans ce qui suit:

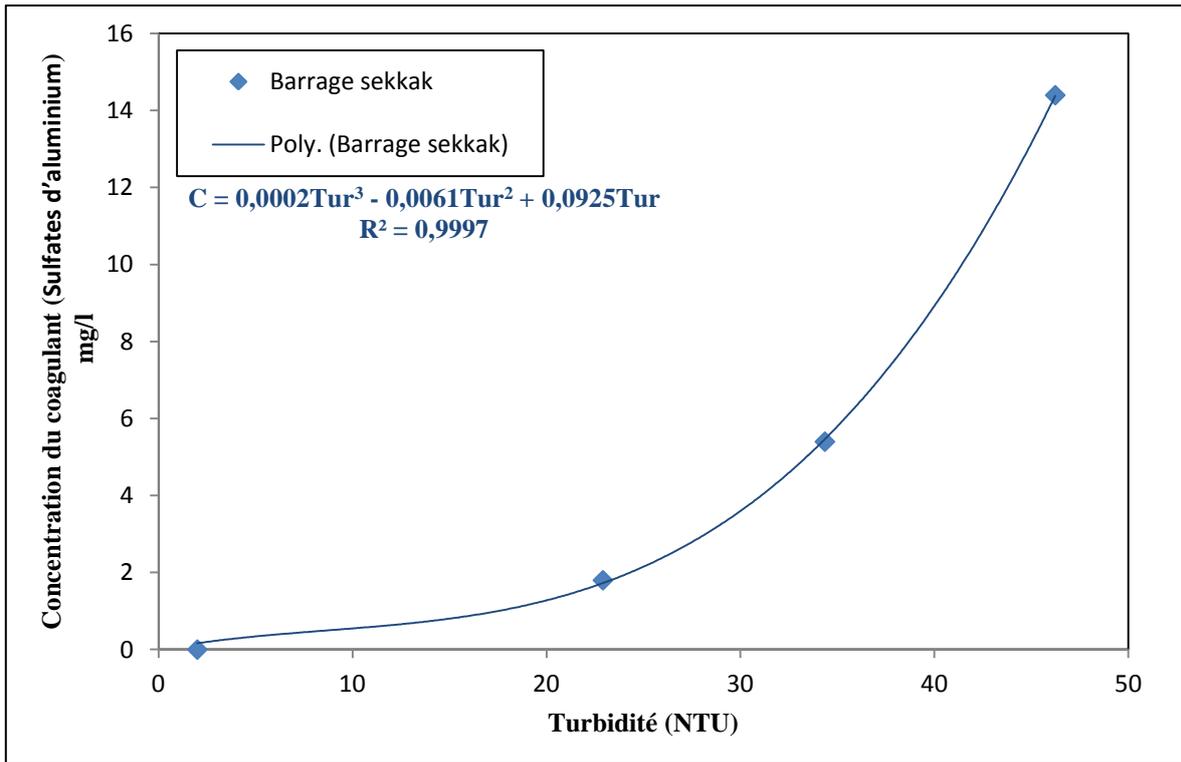
**A. Sulfates d'aluminium**

Le tableau V. 23 qui suit résume les doses optimales du Sulfates d'aluminium pour la concentration de la vase (turbidité de l'eau brute).

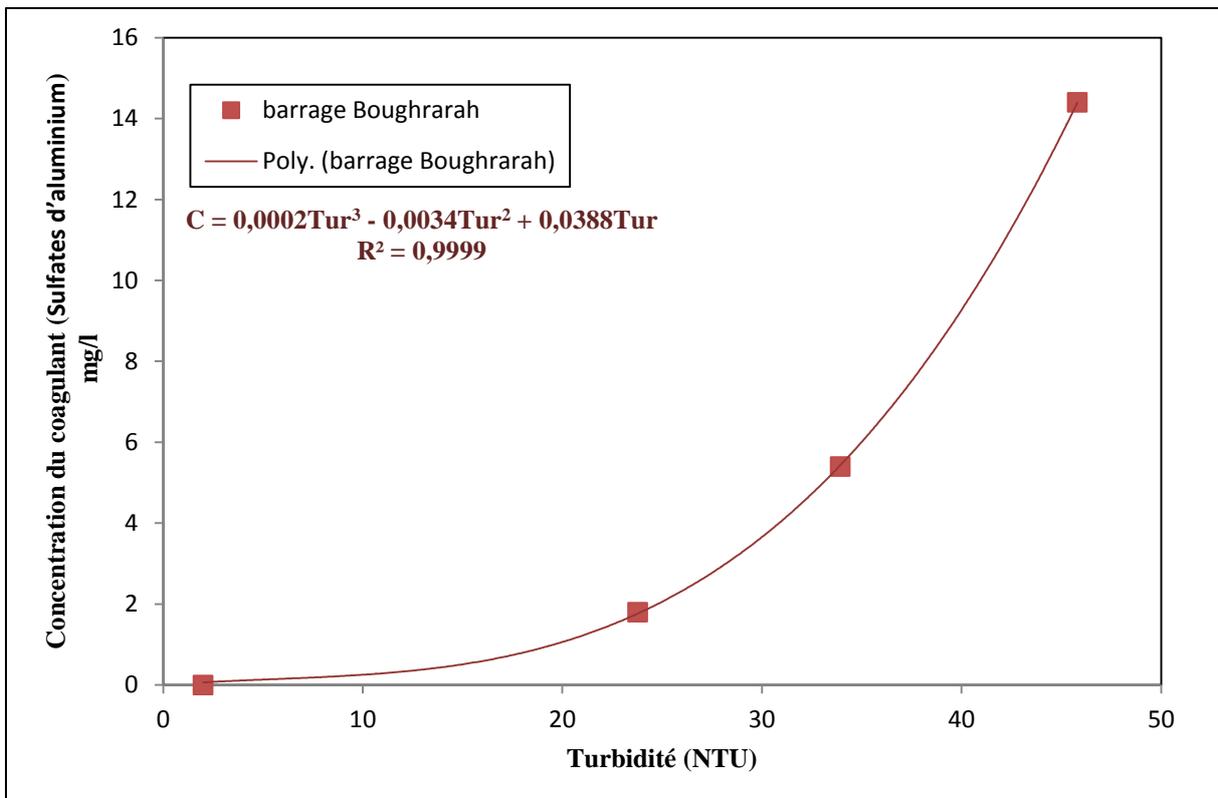
**Tableau V. 23 Dose optimale de Sulfates d'aluminium pour diverses concentrations de vase.**

Concentration Vase (mg/l)	Sekkak Tur (NTU)	H.Boughrara Tur (NTU)	Sid el abdeli Tur (NTU)	Sekkak DC (mg/l)	H.Boughrara DC (mg/l)	Sid el abdeli DC (mg/l)
/	2	2	2	0	0	0
100	21,61	23,77	22,05	1.8	1.8	1.62
150	31,76	33,92	33,49	5.4	5.4	3.6
200	43,86	45,80	45,37	14.4	14.4	14.4

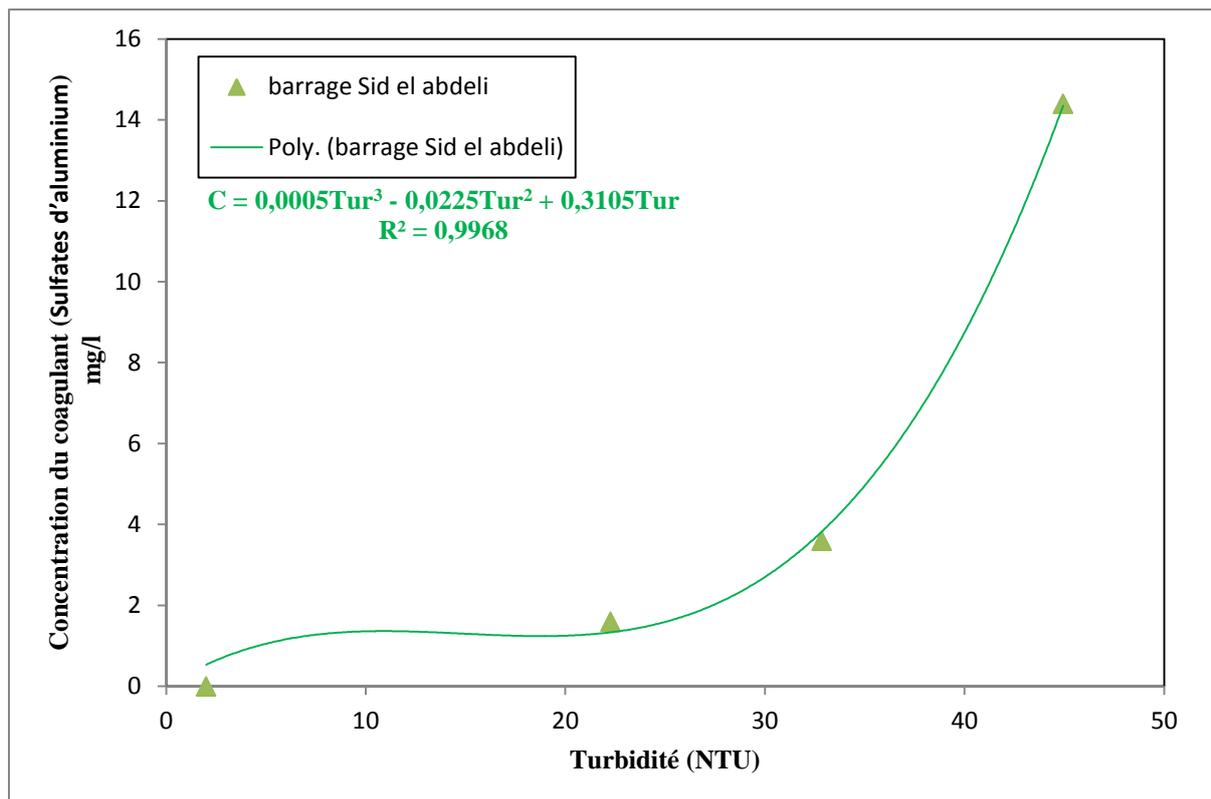
Tur: Turbidité de l'eau, DC: Dose de coagulant



A/ Sekkak.



B/ H.Boughrara.



C/ Sid El Abdeli

**Figure V. 22 Courbes de tendances des doses optimales de Sulfate d'aluminium pour diverse concentration de vase.**

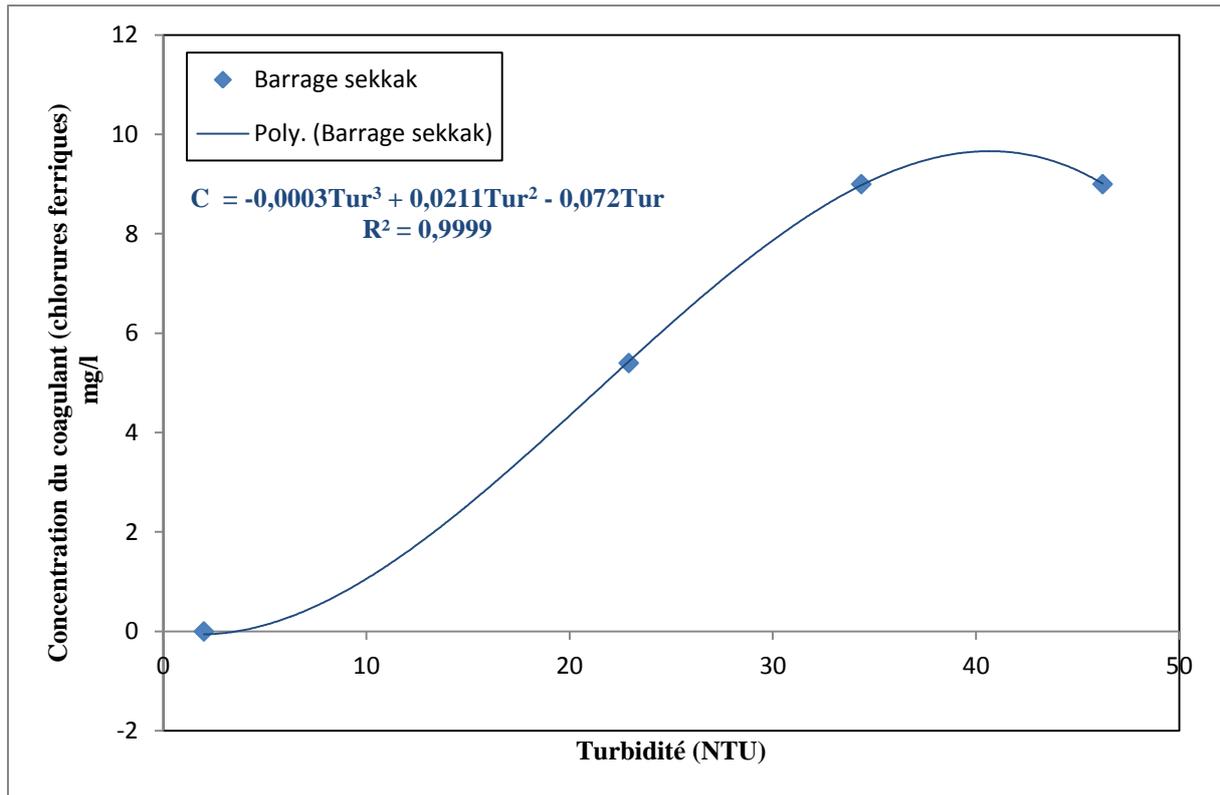
### B. Chlorures Ferriques

Le tableau suivant nous montre la variation de la dose du coagulant (chlorure ferrique) en fonction de la concentration de la vase :

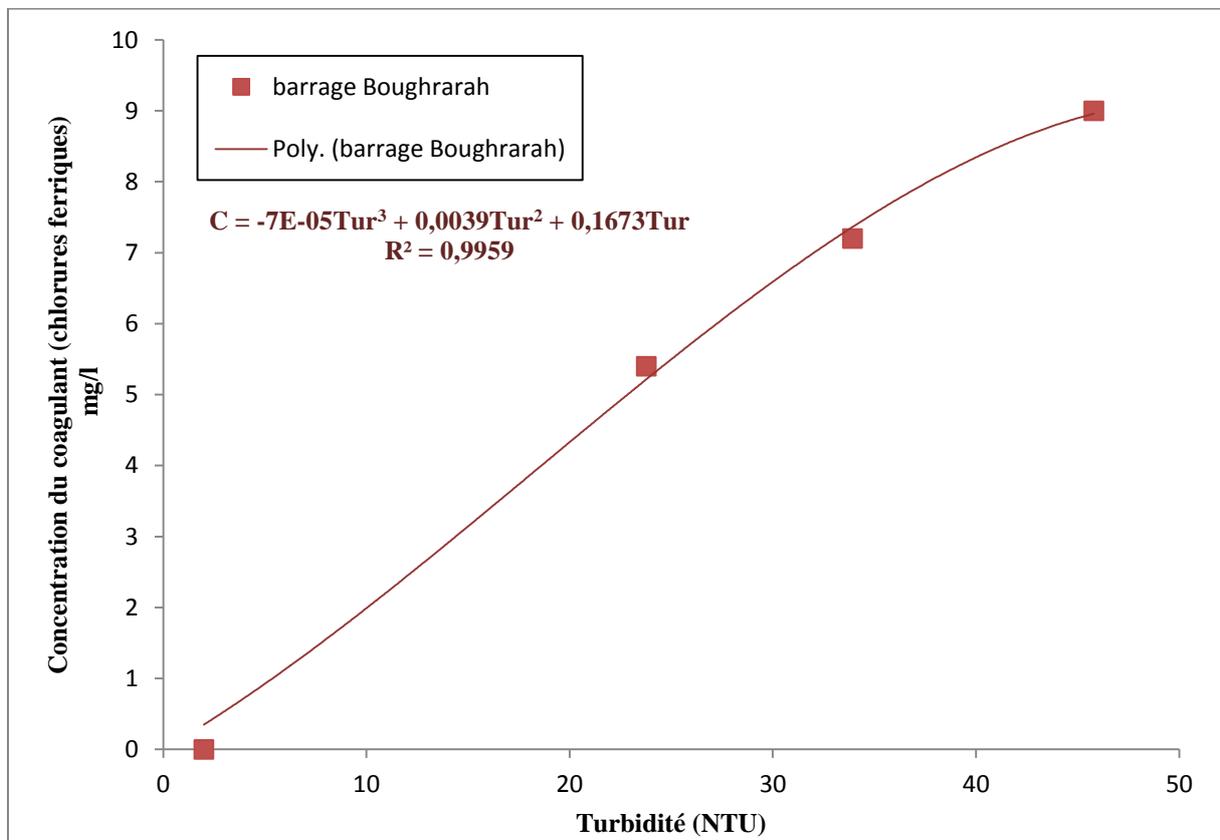
**Tableau V.24 demande en chlorure ferrique**

Concentration Vase (mg/l)	Sekkak Tur (NTU)	H.Boughrara Tur (NTU)	Sid el abdeli Tur (NTU)	Sekkak DC (mg/l)	H.Boughrara DC (mg/l)	Sid el abdeli DC (mg/l)
/	2	2	2	0	0	0
100	21,61	23,77	22,05	5,4	5,4	3,6
150	31,76	33,92	33,49	9	7,2	7,2
200	43,86	45,80	45,37	9	9	9

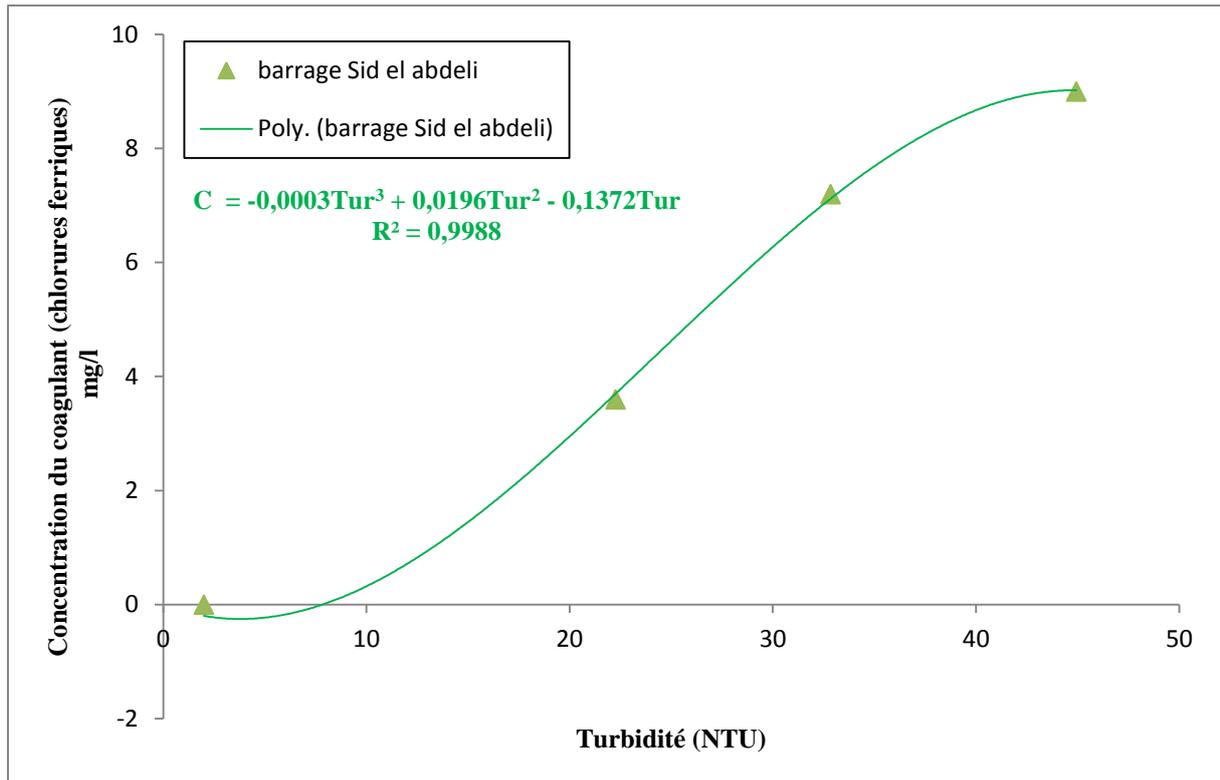
Tur: Turbidité de l'eau, DC: Dose de coagulant



A/ Sekkak.



B/ H. Boughrara.



### C/ Sid El Abdeli

**Figure V. 23. Courbes de tendances des doses optimales de chlorure ferrique pour diverse concentration de vase.**

A partir des résultats obtenus et des données graphiques, nous pouvons déduire les équations d'ajustement, d'où nous pouvons tirer les doses nécessaires du coagulant pour traiter une eau d'une turbidité connue pour des 3 barrages.

D'après les figures V.22. et V.23, nous constatons que la loi polynomiale d'ordre 3 s'adapte bien pour la description du comportement dose du coagulant-turbidité de eau et cela pour toutes les vases étudiées avec les coagulants utilisés. Cela s'y confirmé par les coefficients de corrélation élevés obtenus

Les relations obtenues avec leurs coefficients de corrélation sont rangés dans ce qui suit :

#### A. Le Sulfate d'aluminium (figure v.22)

- ❖ Barrage Sekkak  $C = 0,0002Tur^3 - 0,0061Tur^2 + 0,0925Tur$  ( $R^2 = 0,9997$ ).
- ❖ Barrage H. Boughrara  $C = 0,0002Tur^3 - 0,0034Tur^2 + 0,0388Tur$  ( $R^2 = 0,9999$ ).
- ❖ Barrage Sid el abdeli  $C = 0,0005Tur^3 - 0,0225Tur^2 + 0,3105Tur$  ( $R^2 = 0,9968$ ).

**Avec :**

**C :** La concentration du coagulant (sulfate d'aluminium).

**Tur :** La turbidité initiale qu'on veut l'éliminé.

**B. Le Chlorure Ferrique (figure v.23)**

❖ Barrage Sekkak  $C = -0,0003Tur^3 + 0,0211Tur^2 - 0,072Tur$  ( $R^2 = 0,9999$ ).

❖ Barrage H.Bouhrara  $C = -7E-05 Tur^3 + 0,0039Tur^2 + 0,1673Tur$  ( $R^2 = 0,9959$ ).

❖ Barrage Sid el abdeli  $C = -0,0003Tur^3 + 0,0196Tur^2 - 0,1372Tur$  ( $R^2 = 0,9988$ ).

**Avec :**

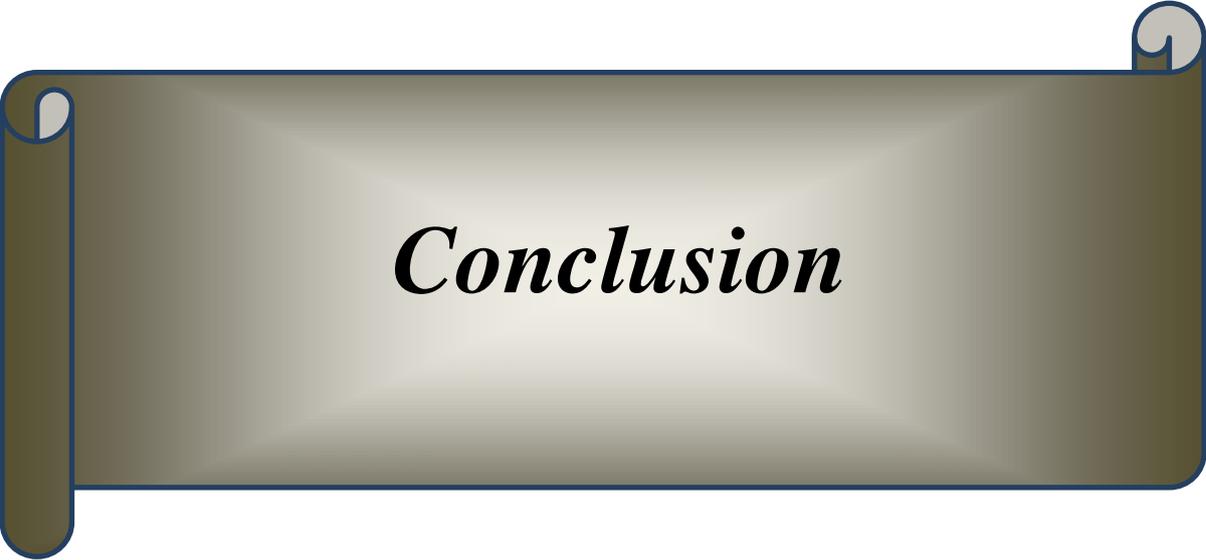
**C :** La concentration du coagulant (sulfate d'aluminium).

**Tur :** La turbidité initiale qu'on veut l'éliminé.

**Remarque 1 :**

Les équations changent d'un barrage a un autre, ce changement est du à la nature de sa vase (composition, granulométrie, ou bien a une composition chimique non connue).

On n'a pas pu faire l'analyse des vases étudiés a cause du manque des équipements nécessaires pour les caractériser et les comparer entre elles.

A horizontal scroll graphic with a dark brown background and a blue outline. The scroll is unrolled, showing a lighter brown center. The word "Conclusion" is written in a black, italicized serif font in the center. The scroll has a small circular detail at the top right corner and a vertical strip on the left side.

*Conclusion*

## **Conclusion :**

Notre travail a pour objectif l'amélioration de la qualité des eaux naturelles destinées à la consommation humaine au niveau des Barrage de la wilaya de Tlemcen.

Dans ce travail nous avons étudié plus particulièrement l'élimination de la turbidité et la matière organique qui représentent un problème principal des stations de traitements. Afin de cerner au mieux la problématique du thème choisi, l'élaboration d'une synthèse bibliographique a été nécessaire.

La première partie du mémoire a donc consisté en un état des connaissances sur les différents critères de qualité de potabilisation, procédés de traitement des eaux de surface en particulier le procédé de coagulation-floculation.

Notre travail a été consacré à la présentation des résultats des essais expérimentaux que nous avons réalisés dans le cadre de cette étude. Structurés en plusieurs chapitres, cette étude expérimentale a permis la description détaillée des réactifs utilisés ainsi que des protocoles expérimentaux suivis en cours des essais. Ces essais ont été réalisés sur différents prélèvements de vase des cinq barrages de La wilaya de Tlemcen (Meffrouche – H.Bouhrara – Sid el abdli – Sekkak - Beni bahdel.)

Les essais de coagulation-floculation des solutions de vases préparées au laboratoire du département d'hydraulique de l'université de Tlemcen, sur Jar-Test et l'utilisation de la turbidité comme critère de performance du processus, ce qui nous a permis de tirer les conclusions comparatives suivantes :

La coagulation-floculation basée sur le sulfate d'aluminium comme coagulant a une grande performance sur la turbidité et le pouvoir d'éliminer les matières en suspension colloïdales en comparaison avec les autres coagulants utilisés (le chlorure ferrique et le sulfate ferrique). Le sulfate d'aluminium présente une facilité d'utilisation rapport au chlorure ferrique et le sulfate ferrique et c'est le coagulant le plus rependu.

Les résultats des expériences ont donné des rendements très élevés en appliquant les doses optimales des coagulants testés; ils varient entre 93% à 98% pour le Sulfate d'aluminium et de 92% a 99 % pour le chlorure ferrique, pour les concentrations des vases testées.

L'inconvénient majeur de l'utilisation de chlorure ferrique et le sulfate ferrique est leurs oxydations rapides avec l'air ou, ils perdent leurs pouvoirs de déstabilisation de la vase (les colloïdes) et formation des floccs.

Le temps d'agitation des solutions en utilisant le chlorure ferrique est très important (il peut atteindre jusqu'à 30 min) par rapport au sulfate d'alumine qui a un temps optimal le moins sur les trois coagulants utilisé (10 min), le sulfate ferrique a un temps d'agitation moyen (15 min).

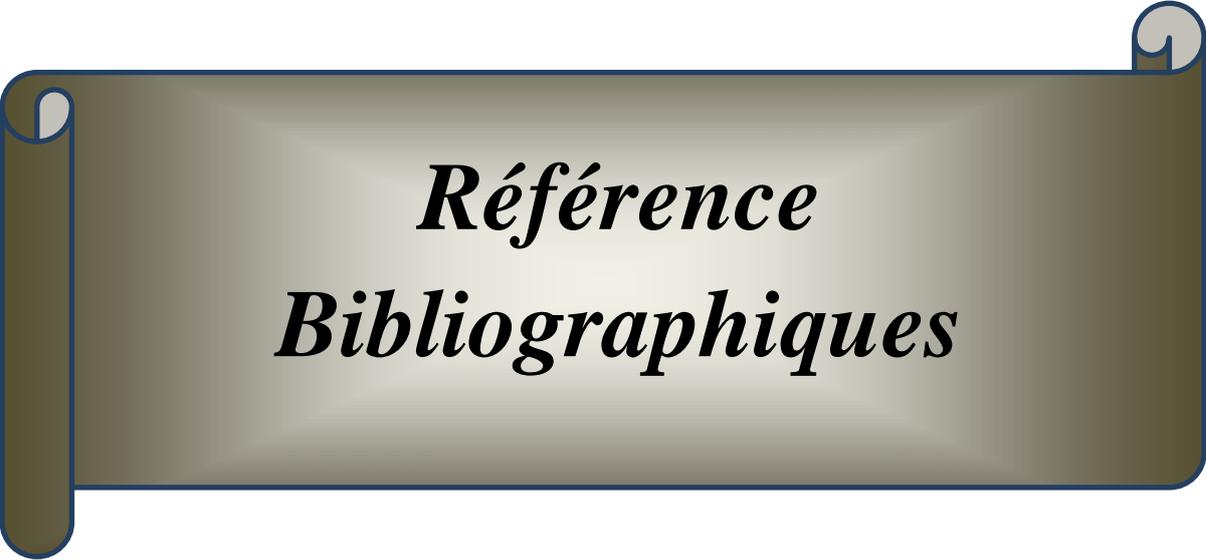
En générale la demande en coagulant de Sid el Abdeli est inférieure à celle d'une eau contenant les vases des deux autres barrages (H Boughrara, Sekkak), cela est dû sans doute à la compositions de ces vases, les deux dernières vases contiennent plus de matières organiques que la première, ce qui est confirmé par l'existence d'unité de traitement de la matière au niveau des stations de traitement de H Boughrara, Sekkak (filtration sur charbon actif).

On peut conclure aussi que la coagulation-floculation avec le chlorure ferrique peut ce faire dans des milieux un peu acide ( $\text{pH}=5.5$ ). Pour les coagulant a la de base sulfate, le ph du milieu peut atteindre 6 a 6,5.

Donc, pour avoir une bonne coagulation pour les eaux des 5 barrages de Tlemcen qui sont utilisés dans notre étude, nous devons corrigés le pH de l'eau, a fin de le situer dans les plages optimales indiquées.

Cette étude ne peut être qualifié de parfaite, d'autres études doivent être entreprises sur la coagulation-floculation pour des faibles concentrations de vase (moins de 100 mg/l) affin de déterminer les doses optimales de coagulant à ajouter pour de faibles teneurs en turbidité (moins de 50 NTU).

A la fin de cette étude, nous proposons l'utilisation d'autres coagulants existants, et des floculants, dans le but d'améliorer les rendements d'élimination de la turbidité, Temps et vitesse d'agitation et le coût des opérations.



*Référence  
Bibliographiques*

## *Références Bibliographiques*

---

- [1] **Degrement, 2005** : Mémento technique de l'eau, Tome I, Lavoisier, Paris.
- [2] **Rodier J, Legube B, Merlet N et Coll 2009** : L'analyse de l'eau ; 9<sup>ème</sup> édition. édition Dunod, Paris.
- [3] **Desjardins R, 1997** : Traitement des eaux ; Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2<sup>ème</sup> édition revue et améliorée.
- [4] **Alberta Environmental Protection**. Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage.
- [5] **Franck Rejsek**. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.
- [6] **Benkhaled A.et Zitouni W., 2011** : Diagnostic de la qualité de l'eau dans le réseau et de l'état de propreté des conduites ; Mémoire de licence en science et technique de l'eau, Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Université Abou BekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.
- [7] **Rodier J 1996**. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7<sup>ème</sup> édition.
- [8] **Beaudry Jean-Paul 1984**. Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada.
- [9] **Philippo P, Pommery J, Thomas P 1981**. Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportement des espèces métalliques au Contact des matières humiques, J.fr.Hydrobiol.
- [10] **Gérard Copin-Montégut** . Propriétés physiques de l'eau de mer. [www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Prophy\\_ecran.pdf](http://www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Prophy_ecran.pdf). (Consulté le 05/04/2013).
- [11] **Le SIEM, service public de qualité pour eau potable et de qualité**, <http://www.eaux-moises.com/Qu-est-ce-que-la-durete-de-l-eau.html> (consulté le 05/04/2013).
- [12] **Eau Confort Habitat** , installation des solutions et appareils écologique pour réaliser des économies d'eau et des solutions de traitement de l'eau comme les **adoucisseurs d'eau sans sel** pour lutter contre le calcaire.  
<http://www.eauconforthabitat.com/consequences-eau-calcaire/durete-de-l-eau.html> (consulté le 05/04/2013).
- [13] **TOUSSAINT, Bertrand**, Année universitaire 2007/2008, Biochimie, cour L'eau solvant de la vie, chapitre3, université joseph fourier, Faculté de Médecine de Grenoble (UJF)  
[http://umvf.biomedicale.univparis5.fr/wiki/docvideos/Grenoble\\_0708/TOUSSAINT\\_Bertrand/TOUSSAINT\\_Bertrand\\_P03/TOUSSAINT\\_Bertrand\\_P03.pdf](http://umvf.biomedicale.univparis5.fr/wiki/docvideos/Grenoble_0708/TOUSSAINT_Bertrand/TOUSSAINT_Bertrand_P03/TOUSSAINT_Bertrand_P03.pdf) (consulté le 05/04/2013).
- [14] **Pierre Davous**, L'eau : propriétés physiques et chimiques, [www.ecosociosystemes.fr/eau\\_proprietes\\_physicochimiques.html](http://www.ecosociosystemes.fr/eau_proprietes_physicochimiques.html) (consulté le 05/04/2013).
- [15] **Rodier J. et Coll, 2005** : L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8<sup>ème</sup> édition. édition Dunod, Paris.

## *Références Bibliographiques*

---

- [16] **Dajoz R 1982.** Précis d'écologie. 4ème édition, édition Gauthier Villars, p : 525.
- [17] **Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2012,** Etat écologique des eaux de surface, Etat chimique des eaux de surface et des eaux souterraines. Version V1 du 31/08/2012, édition Agence de l'eau Loire-Bretagne.  
[http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations\\_et\\_donnees/outils\\_de\\_consultation/masses\\_d\\_eau/Notice\\_etat\\_des\\_eaux\\_2010\\_V1.pdf](http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations_et_donnees/outils_de_consultation/masses_d_eau/Notice_etat_des_eaux_2010_V1.pdf) (Consulté le 05/04/2013).
- [18] **Centre d'information sur l'eau,** <http://www.cieau.com>,  
<http://www.fond-ecran-image.com/galerie-membre,ruisseau,eau-courantejpg.php>  
(Consulté le 05/04/2013).
- [19] **Groupe CARSO,** Analyse des Eaux et de l'Environnement  
[http://www.groupecarso.com/?categorie\\_id=7](http://www.groupecarso.com/?categorie_id=7) (consulté le 06/04/2013).
- [20] **Gorge A,** Traitement et distribution de l'eau, édition UTLO - Groupe Inter Générations;  
[http://ig45.fr/Enseignants/Ecole/Doc\\_Ecole/eau.pdf](http://ig45.fr/Enseignants/Ecole/Doc_Ecole/eau.pdf) (consulté le 06/04/2013).
- [21] **CNRS,** Eau Potable, Les procédés classiques de traitement des eaux,  
<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/traitEau.html>  
(Consulté le 06/04/2013).
- [22] **SPGE, Société publique de gestion de l'eau,** <http://www.spge.be/fr/traitement-des-eaux-de-distribution.html?IDC=1306> (Consulté le 06/04/2013).
- [23] **Bertrand Olivier,** L'eau, CCI de la Moselle, Conseiller Qualité Sécurité Environnement  
[http://www.codlor.com/img/fichiers/file/ENVIRONNEMENT/Environnement\\_Eau\\_%2003012013.pdf](http://www.codlor.com/img/fichiers/file/ENVIRONNEMENT/Environnement_Eau_%2003012013.pdf) (Consulté le 27/04/2013).
- [24] **Jean-Pierre Canler, Jean-Marc Perret,** 2004, Étude des prétraitements compacts basés uniquement sur le tamisage fin, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales.
- [25] **Degrement, 1972 :** Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris.
- [26] **Hydranet ,** [http://www.hydranet.fr/doc/621\\_Degrillage.pdf](http://www.hydranet.fr/doc/621_Degrillage.pdf) (consulté le 27/04/2013).
- [27] **Boumediene M., 2011 :** Cours de traitement des eaux ; Master 1 en Hydraulique.  
Option : Technologies de traitement des eaux.
- [28] **Observatoire Départemental de l'eau,** Direction de l'Environnement et de l'Aménagement - Service de l'eau <http://observatoire-eau.vendee.fr/eaux-domestiques/assainissement.htm> (consulté le 14/06/2013).
- [29] **Office national d'assainissement;**  
<http://www.onas.nat.tn/Fr/photo.php?code=53&type=23> (consulté le 14/06/2013).

## *Références Bibliographiques*

---

- [30] **Syndicat Intercommunal d'Adduction d'eau**, Historique de la Station de Traitement des eaux résiduaires de Beaurainville - Campagne les Hesdin - Lespinoy - Maresquel Ecquemicourt  
<http://sivucousteau.pagesperso-orange.fr/explication.html> (consulté le 06/04/2013).
- [31] **Deshayes M., 2008** : Guide pour l'établissement des plans d'Assurance de la qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés, Mémoire en Génie civil, Strasbourg.  
<http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.html>. (Consulté le 27/04/2013)
- [32] **Labarre Christophe**, université de lorraine, <http://web04.inpl-nancy.fr/ENSAIA/marie/web/ntic/pages/2006/labar.html> (consulté le 06/04/2013).
- [33] **Delphine J, Noémie R et Ingrid P** <http://tpe-jouaud-protain-ribac.e-monsite.com/pages/i-l-assainissement-de-l-eau.html> (consulté le 06/04/2013).
- [34] **Boursali I.**, 2011, Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'états en géologie ; Département des sciences de la terre, Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers ; Université Abou BekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.
- [35] **ACONSULT**, service de l'ensemble des acteurs concernés par la problématique de la gestion des déchets organiques, et de la qualité des eaux.  
<http://atout.boues.pagesperso-orange.fr/lexique.html> (consulté le 06/04/2013).
- [36] **SNEAT**, cit' au service des citoyens (France)  
<http://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-269.html> (consulté le 06/04/2013).
- [37] **Bonnin Jacques**; 1986, Hydraulique urbaine, 1ère édition, Éditions Eyrolles, France,.
- [38] **LENNTECH**, Water Treatment & Purification Holding B.V. Solutions de traitement de l'eau pour tous types d'applications, équipements domestiques  
<http://www.lenntech.fr/colloide.htm> consulté le (22/03/2013).
- [39] **Valiron F**, 1989, Gestion des Eaux : alimentation en eau - assainissement, édition Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris.
- [40] **Science Direct**, un serveur mondial de base de données texte intégral des articles scientifiques offrant des revues et de chapitres de livres de plus de 2500 revues et près de 20.000 livres. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com),  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868602000672>  
(consulté le 22/03/2013).
- [41] **HYDRANET**, Société des solutions clés en main pour répondre à votre demande en matière d'équipements de traitements des eaux,  
[http://www.hydranet.fr/doc/611\\_Decantation.pdf](http://www.hydranet.fr/doc/611_Decantation.pdf) (consulté le 22/03/2013).
- [42] **Saïd Ouali M., 2001** : Cours de procédés unitaire biologique et traitement des eaux, édition Office des publications universitaires, Ben-Aknoun(Alger).

## *Références Bibliographiques*

---

- [43] **Kemmer F.N.1984**, Manuel de l'eau, Edition NALCO.
- [44] **Cardot G., 2005** : Génie de l'environnement; Les traitements de l'eau Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, février 2005.
- [45] **Carmen T, 2012**, Cour filtration chapitre 5  
<http://carmen.tibirna.org/files/carmen/FIB/C11.pdf> (consulté le 20/04/2013).
- [46] **EDUSCOL**, Portail national des professionnels de l'éducation  
[http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen\\_chim/triboulet/rtf/filtration.pdf](http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/filtration.pdf) (consulté le 20/04/2013).
- [47] **Bachi M. et AbdelliR., 2005** :L'influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation- floculation et décantation, Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekr Belkaïd, Tlemcen, juillet 2005.
- [48] **Slimani A. et Touati H., 2004**, Filtration sur sable, Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekr Belkaïd, Tlemcen.
- [49] **Beaudry J.P., 1984** , Traitement des eaux. Edition de Griffon d'argile.  
<http://www.une-eau-pure.com/purification-de-l-eau/filtration-et-filtre-sable.html>
- [50] **Office international de l'eau www.oieau.fr**,  
<http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/TraitementPotable/FiltLenteConcept4.pdf> (consulté le 20/05/2013).
- [51] **ECOLE NATIONAL SUPERIEURE DES MINES DE SAINT-ETINNE**  
[http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8\\_1.htm](http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8_1.htm) (consulté le 20/04/2013).
- [52] **Roland V., 2010** : Eau, environnement et santé publique, Introduction à l'hydrologie, 3<sup>ème</sup> édition ; édition Lavoisier.
- [53] **Les agences de l'eau**, faire de l'eau une ressource d'avenir,  
[http://www.lesagencesdeleau.fr/wp-content/uploads/2012/07/9-Fiche-eau-potable\\_web.pdf](http://www.lesagencesdeleau.fr/wp-content/uploads/2012/07/9-Fiche-eau-potable_web.pdf)  
(consulté le 20/04/2013).
- [54] **Degremont**, 1989, Mémento technique de l'eau, tome 1, édition Technique et documentation.
- [55] **L'eau en Poitou-charentes**, Réseau partenarial des données sur l'eau.  
<http://www.eau-poitou-charentes.org/Les-differentes-etapes-d-une.html>
- [56] **Lounnas Amel**, 2009, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station HAMADI-KROMA de SKIKDA, Mémoire de Magister, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, Spécialité : Chimie, Université de Skikda.
- [57] **Kettab A**, 1992, Traitement des eaux "les eaux potable", édition O.P.U, Alger.

## *Références Bibliographiques*

---

- [58] **Lazergui A et Boughedaoui M**, 1987, Etude de la substitution de l'As P6 par la silice activée et la bentonite dans le traitement des eaux du barrage Ghrib, Mémoire d'ingénieur, E.N.P. Alger.
- [59] **Rehi R et Gaid A**, 1987, Optimisation du traitement physico-chimique d'une eau de surface. Cas de l'oued Kessir alimentant la ville de Jijel, (Est Algérien).
- [60] **Achour S**, 1997, Optimisation des étapes de clarification au cours du traitement des eaux de surface algériennes, Tribune de l'eau, vol.50, 3,35-39.
- [61] **Rahni M**, 1994. Coagulation-floculation de quelques composés organiques par le fer ferreux en milieux aqueux : Etude de mécanisme et comparaison avec, adsorption, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers.
- [62] **Barrer R. M.**, 1978, .Zeolites and clay minerals as sorbents and moléculaire sieves. édition Academic Press.
- [63] **Mazet M**, 1990, et al. Adsorption de substances humiques sur floes d'hydroxyde d'aluminium préformés, Wat. Res. <http://larhyss.net/pdf/journal/4/13.S.Achour.pdf> (Consulté le (02/05/2013)).
- [64] **Desjardins C.**, 1999, Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire pour l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées, édition Ecole polytechnique de Montréal, Canada.
- [65] **Vigouret J**, 1985, Le potentiel Zêta et son application dans le domaine de l'eau potable. (TECHNIQUES ET SCIENCES MUNICIPALES 75(1980) NR 3)
- [66] **Ezziane S.**, 2007, Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur ; Université Hassiba Ben Bouali, Chlef.
- [67] **Fiessinger F**, 1976, La coagulation : errements anciennes et nouveaux. Technologie et Sciences p : 147-162 (1976).
- [68] **Lakhdari B.**, 2011, Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz .Mémoire de magister en Chimie Inorganique et Environnement; Département de Chimie ; Faculté des Sciences, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Décembre 2011.
- [69] **Encyclopaedia Universalis En Line**, <http://www.universalis.fr/encyclopedie/colloides/> (consulté le 02/05/2013).
- [70] **Cuisset Olivier**, 1979, Le potentiel électrocinétique des argiles Influence de la salinité, Département de géotechnique Laboratoire central <http://www.geotech-fr.org/sites/default/files/revues/blpc/BLPC%20104%20pp%2015-20%20Cuisset.pdf> (consulté le 02/05/2013).

## *Références Bibliographiques*

---

- [71] **Site d'informations scientifiques, techniques et écologiques sur l'EAU**, <http://pravarini.free.fr/Coagulation.html> (consulté le 10/05/2013).
- [72] **Hernández De León H.R.**, 2006, Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- [73] **Belarbi Fadila**, 2000, Etude comparative de l'effet des caractéristiques physico-chimique des particules solides sur la coagulation-floculation, mémoire de fin d'étude du diplôme d'ingénieur d'état, département de Génie Rural, université de Blida.
- [74] **Lind C**, 1994, Coagulation Control and Optimization : Part 1, Public Works, Oct.
- [75] **Hernández De León H.R.**, 2006, Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- [76] **Cardot G.**, 2005 : Génie de l'environnement ; Les traitements de l'eau Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, février 2005.
- [77] **Meghzili B, Boussaa M, Medjram M**, 2012, Aluminium résiduel et optimisation des étapes de la clarification dans les stations de traitement des eaux, Publié le: 2012-01-3, [http://sciencelib.fr/IMG/pdf/Aluminium\\_residuel\\_et\\_optimisation\\_des\\_etapes\\_de\\_la\\_clarification\\_dans\\_les\\_stations\\_de\\_traitement\\_des\\_eaux.pdf](http://sciencelib.fr/IMG/pdf/Aluminium_residuel_et_optimisation_des_etapes_de_la_clarification_dans_les_stations_de_traitement_des_eaux.pdf)
- [78] **Lind C**, 1994, Coagulation Control and Optimization: Part 2, Public Works, Nov.
- [79] **Dihang D**, 2007, Mécanismes de coagulation et floculation des suspensions d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux, Doctorat de l'université Paul Sabatier.
- [80] **Cornet M.**, 1981, Détermination des gradients hydrauliques dans les différentes phases du traitement des eaux" dans "La Technique de l'Eau et de l'Assainissement" (N° 418 - Octobre 1981 - p21-32).  
<http://www.google.com/patents/EP0330582A1?cl=fr>
- [81] **Bottero J.Y, LARTIGES B**, 1992., Séparation liquide-solide par coagulation-floculation : les coagulants/floculant, mécanismes d'agrégation, structure et densité des floes, Mines et carrières Industrie minérales.  
<http://www.erudit.org/revue/rseau/2010/v23/n1/038927ar.html?lang=en>
- [82] **Thebault P**, 1978, Elimination des matières organiques et des micropolluants contenus dans les eaux de surface : Rôle et efficacité des coagulants, Thèse de docteur-Ingénieur, I.N.P.L.
- [83] **Fournitures chimiques industrielles**, <http://iran-banner.com/en-US/cat37/ads152321> (consulté le 24/05/2013).
- [84] **Ahmed Ammar Y. et Benhaddou M.**, 2010 : Etude expérimentale de la coagulation floculation par le sulfate d'alumine des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'état

## *Références Bibliographiques*

---

en hydrogéologie ; faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers. Département des sciences de la terre et de l'univers. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen.

**[85] Lefebvre E,** 1990, Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux. Effet de la peroxydation, Thèse de Doctorat, université de Poitiers.

**[86] Seghiri R,** 1996, Elimination des substances humiques extraites de l'eau de la retenue de Hammam-Ghrouz par coagulation-floculation avec le fer ferrique et les sels d'aluminium, Thèse de Magister, université de Constantine.

**[87] Hubert Cabana, 2011,** La coagulation, la floculation et l'agitation, cour Chapitre 3, <http://www.civil.usherbrooke.ca/cours/gci720/Chapitre%203%20-Coagulation%20-%20Floculation.pdf>

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

**[89] Office international de l'eau,** impacts de l'abaissement de la norme sur la turbidité au niveau du traitement de potabilisation, Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau (SNIDE), <http://www.oieau.org/documentation/IMG/pdf/01-turbidite.pdf> (consulté le 30/08/2013).

**[90] Aubert .G, 1978,** Méthodes d'analyses des sol, Edition centre national de documentation pédagogique de Marseille.