

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE 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'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en **Hydraulique**

Option : Eau, sol et aménagement

Thème

Etude de l'influence des particules argileuses sur le traitement des eaux

Soutenue publiquement le : 16/06/2015

Présenté par :

M^{elle} MOULAI HADJ Hassiba

Devant le jury :

| | |
|--|-----------|
| M ^r CHERIF Zine El Abidine | Président |
| M ^r GHENIM Abderrahmane Nekache | Examineur |
| M ^r BESSEDIK Madani..... | Examineur |
| M ^{me} BOUCHELKIA Fadila | Encadreur |
| M ^r BOUCHELKIA Hamid | Encadreur |

Promotion 2014/2015

Remerciement

Mes remerciements vont à mes encadreurs **M^{me} BOUCHELKIA Fadila & M^r BOUCHELKIA Hamid**, d'avoir accepté de m'encadrer, pour leurs orientations, leurs judicieux conseils et leur disponibilité durant toute la période de notre projet.

J'adresse mes sincères remerciements à **Mr CHERIF Zine El Abidine**, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury, ainsi les membres de jury, Messieurs : **GHENIM Abderrahmane Nekache, BESSEDIK Madani** qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi aux responsables et les techniciens des laboratoires de Génie civil et d'Hydraulique, pour leur accueil et aide pour l'élaboration de ce travail.

J'adresse toute ma gratitude à l'équipe de Barrage Hammam Boughrara, de m'avoir accueillie.

Je profite aussi de ce mémoire pour exprimer mes plus vifs remerciements envers tous les professeurs qui nous ont apportés du soutien durant nos études et envers toutes mes amies qui ont été toujours près de moi, avec leurs encouragements, critiques et conseils.

A tous ceux qui de près ou de loin, m'ont soutenu.

Dédicace

Au nom de Dieu le clément et le miséricordieux et de fidélité,

Je dédie ce présent mémoire :

A la mémoire de ma grande mère

A Mon PERE et ma MERE

A mes chers : Walid et Wafaà

A tous ceux qui j'aime

A mes chères amies.

MOULAI HADJ Hassiba

Résumé:

Le but de notre travail est d'apprécier l'influence des particules solides en suspension sur le traitement des eaux. Pour ce faire, nous avons utilisé le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique comme coagulants sur deux échantillons d'origine et de nature différente : une terre végétale de Ghazaouet et la vase du barrage Hammam Bouhrara. L'effet d'autres paramètres tels que la nature du mélange, le pH, La dose des coagulants et la concentration en particules solides, est étudié.

Les résultats obtenus montrent que les coagulants utilisés donnent des rendements d'élimination des particules solides importants qui dépassent 90%, le chlorure ferrique donne de meilleurs résultats, et l'élimination des particules de la vase est plus facile que celle de la terre végétale.

Mots clés : coagulation- floculation, Jar-test, turbidité, concentration, coagulant, vase, terre végétale, banc d'essai

Abstract:

The aim of this study is to appreciate the effect of solids particles on the efficiency of water treatment. To do this, we used aluminum sulfate and ferric chloride as coagulants on two samples of different origin and nature: topsoil from Ghazaouet and silt of Hammam Bouhrara dam. The effect of other parameters such as the nature of the mixture, the pH, the dose of the coagulants and the concentration of solids particles, is studied.

The results show that: The Coagulants used provide significant removal efficiencies of solids particles that exceed 90%, and elimination of sit particles is better than the topsoil particles.

Keys words: coagulation-floculation, Jar-test, turbidity, concentration, coagulant, silt, topsoil, test bench.

ملخص:

الهدف من دراستنا هو تقدير مدى تأثير الجسيمات الصلبة العالقة على معالجة المياه. للقيام بذلك استعملنا كيرينات الألمونيوم وكلوريد الحديد، كمخثرات لعينتين ذات مصدر و طبيعة مختلفة : أرض زراعية من منطقة الغزوات و الرواسب الطينية من سد حمام بوغرة. ودرسنا أيضا تأثير عوامل أخرى كطبيعة التحريك، درجة الحموضة، جرعة المخثرات و تركيز الجسيمات الصلبة.

النتائج المتحصل عليها أظهرت أن المخثرات المستعملة تعطي مردود هام من حيث إزالة الجسيمات الصلبة يفوق 90 بالمائة، كلوريد الحديد يعطي نتائج أفضل و إزالة جسيمات الرواسب الطينية أسهل من إزالة جسيمات الأرض الزراعية.

الكلمات المفتاحية : التخثر، التكتل، اختبار جار، تعكر، تركيز، مخثر، رواسب طينية، أرض زراعية، مرفق اختبار.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : LA QUALITE ET LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

| | |
|--|----|
| Figure I.1: Cycle de l'eau..... | 4 |
| Figure I.2: Distribution de l'eau dans la planète | 5 |
| Figure I.3: Différents types des nappes souterraines | 8 |
| Figure I.4: Eau courante..... | 9 |
| Figure I.5 : Eau stagnante | 9 |
| Figure I.6 : Chaîne de traitement des eaux..... | 14 |
| Figure I.7: Coagulation-Floculation..... | 19 |

CHAPITRE II : THEORIE DE COAGULATION FLOCCULATION & DECANTATION

| | |
|---|----|
| Figure II.1: Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement..... | 23 |
| Figure II. 2: Double couche d'une particule colloïdale..... | 25 |
| Figure II.3: Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion électrostatique (ER), la force d'attraction moléculaire (Ea) et la force résultante (E) | 26 |
| Figure II.4: Modèle de Stern-Gouy-Chapman, montrant l'arrangement ionique en double couche et l'évolution du potentiel électrique de la surface de la particule vers la solution..... | 27 |
| Figure II.5: Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation..... | 30 |
| Figure II.6: Adsorption et pontage à l'aide de polymères..... | 30 |
| Figure II.7: Décanteur à contre courant | 39 |
| Figure II.8: Décanteur à co-courant..... | 39 |
| Figure II.9 : Décanteur à courant croisé..... | 40 |

CHAPITRE III : PROCEDURE EXPERIMENTALES ET MATERIELS :

| | |
|---|----|
| Figure III.1: Sulfate d'aluminium..... | 42 |
| Figure III.2 : Le chlorure ferrique..... | 42 |
| Figure III.3: La terre végétale..... | 43 |
| Figure III.4 : La vase du barrage..... | 43 |
| Figure III.5: Pilote de coagulation floculation décantation | 48 |
| Figure III.6: Listes des vannes | 53 |
| Figure III.7 : Jar test. Laboratoire d'Hydraulique. Université de Tlemcen..... | 54 |
| Figure III.8: Le Spectrophotomètre. Laboratoire d'Hydraulique. Université de Tlemcen..... | 56 |
| Figure III.9: Courbe d'étalonnage de la turbidité..... | 57 |
| Figure III.10: Turbidimètre de Laboratoire d'Hydraulique..... | 57 |
| Figure III.11: pH mètre de type HANNA..... | 58 |
| Figure III.12 : La Pipette..... | 59 |
| Figure III.13 : Les éprouvettes (50,250 ml)..... | 59 |
| Figure III.14: Les béchers (50,800 ml)..... | 59 |
| Figure III.15: Fiole jaugée (250 ml)..... | 60 |
| Figure III.16 : Balance électrique..... | 60 |

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS :

| | |
|--|----|
| Figure IV.1: Influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium..... | 72 |
| Figure IV.2: Influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique..... | 72 |
| Figure IV.3: Influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Figure IV.4: Influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique..... | 74 |
| Figure IV.5: Influence de vitesse d'agitation lente sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium..... | 76 |
| Figure IV.6: Influence de vitesse d'agitation lente sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique..... | 77 |
| Figure IV.7: Influence de temps d'agitation lente sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium..... | 79 |
| Figure IV.8: Influence de temps d'agitation lente sur la coagulation par le Chlorure ferrique..... | 79 |
| Figure IV.9: Influence de pH sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium..... | 81 |
| Figure IV.10: Influence de pH sur la coagulation par le Chlorure ferrique..... | 82 |
| Figure IV.11: Influence de la dose de Sulfate d'aluminium sur la coagulation..... | 86 |
| Figure IV.12: Influence de la dose de Chlorure ferrique sur la coagulation-floculation..... | 86 |
| Figure IV.13: Variation de la dose de Sulfate d'aluminium en fonction de la concentration de particules solides..... | 91 |
| Figure IV.14: Variation de la dose de Chlorure ferrique en fonction de la concentration de particules solides..... | 91 |
| Figure IV.15: Décantation de la vase coagulée 50 l/h (avant)..... | 96 |
| Figure IV.16: Décantation de la vase coagulée 50 l/h (après)..... | 97 |
| Figure IV.17: Décantation de la terre coagulée 50 l/h (avant)..... | 97 |
| Figure IV.18: Décantation de la terre coagulée 50 l/h (après)..... | 98 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : LA QUALITE ET LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

| | |
|--|----|
| Tableau I.1 : Normes des substances indésirables | 12 |
| Tableau I.2: Les normes des substances toxiques..... | 12 |
| Tableau I.3: Les différents types de dégrillage | 15 |
| Tableau I.4: Temps de décantation des différentes particules | 19 |

CHAPITRE II : THEORIE DE COAGULATION FLOCCULATION & DECANTATION

| | |
|---|----|
| Tableau II.1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer | 31 |
| Tableau II.2: Sulfate d'aluminium et leur concentration | 32 |
| Tableau II.3: Sulfate d'aluminium et leur concentration | 33 |

CHAPITRE III : PROCEDURE EXPERIMENTALE ET MATERIELS

| | |
|---|----|
| Tableau III.1: La teneur en MO des deux particules solides..... | 44 |
| Tableau III.2 : La densité des particules solides étudiées..... | 45 |
| Tableau III.3: Résultats des essais au bleu de méthylène..... | 46 |
| Tableau III.4: Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau . | 55 |
| Tableau III.5: Classification des eaux d'après leur pH | 58 |

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS :

| | |
|---|----|
| Tableau IV.1 : variation de la turbidité des solutions en fonction de la concentration en particules solides..... | 70 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tableau IV.2: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium..... | 71 |
| Tableau IV.3: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique..... | 71 |
| Tableau IV.4: Résultat d'influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium..... | 73 |
| Tableau IV.5: Résultat d'influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique..... | 73 |
| Tableau IV.6: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation lente sur la coagulation-floculation de par le Sulfate d'aluminium..... | 75 |
| Tableau IV.7: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation lente sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique. | 76 |
| Tableau IV.8: Résultat d'influence de temps d'agitation lente sur la coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium..... | 78 |
| Tableau IV.9: Résultat d'influence de temps d'agitation lente sur la coagulation de sédiment par le Chlorure ferrique..... | 78 |
| Tableau IV.10: Résultat d'influence de pH sur la coagulation des particules solides par le Sulfate d'aluminium..... | 80 |
| Tableau IV.11: Résultat d'influence de pH sur la coagulation-floculation des particules solides par le Chlorure ferrique..... | 81 |
| Tableau IV.12 : Résultat d'influence de la concentration de Sulfate d'aluminium sur la coagulation-floculation..... | 83 |
| Tableau IV.13 : Résultat d'influence de la concentration de chlorure ferrique sur la coagulation-floculation..... | 83 |
| Tableau IV.14: Résultat d'influence de la dose de Sulfate d'aluminium sur la coagulation-floculation..... | 84 |
| Tableau IV.15: Résultat d'influence de la dose de Chlorure ferrique sur la coagulation-floculation..... | 85 |
| Tableau IV.16: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.2 g/l) sur la coagulation- floculation par le Sulfate d'aluminium..... | 87 |
| Tableau IV.17: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.2 g/l) sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique..... | 88 |
| Tableau IV.18: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.5 g/l) sur la coagulation -floculation par le Sulfate d'aluminium..... | 88 |

| | |
|--|----|
| Tableau IV.19: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.5 g/l) sur la coagulation floculation par le Chlorure ferrique..... | 89 |
| Tableau IV.20: Résultat d'influence de concentration des particules solides (1 g/l) sur la coagulation floculation par le Sulfate d'aluminium | 89 |
| Tableau IV.21: Résultat d'influence de concentration des particules solides (1 g/l) sur la coagulation floculation par le Chlorure ferrique..... | 90 |
| Tableau IV.22 : Variation de la dose optimale en fonction de concentration des particules solides..... | 90 |
| Tableau IV.23: l'influence de débits d'alimentation en suspensions et les débits de dosage de sulfate d'aluminium sur la décantation des particules solides de terre végétale..... | 93 |
| Tableau IV.24: l'influence de débits d'alimentation en suspension et les débits de dosage de sulfate d'aluminium sur la décantation des particules solides de la vase..... | 94 |
| Tableau IV.25: l'influence de débits d'alimentation en suspension et les débits de dosage de chlorure ferrique sur la décantation des particules solides de la terre..... | 94 |
| Tableau IV.26: l'influence débits d'alimentation en suspension et les débits de dosage de chlorure ferrique sur la décantation des particules solides de la vase..... | 95 |

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|---------------------------|--|
| pH : | Potentiel d'Hydrogène |
| O₂ : | Oxygène |
| °C : | Dégré Celsius |
| kJ : | kilo joule |
| Pa : | Pascal |
| NFU : | Unité Néphélométrique de Formazine |
| NTU : | Unité Néphélométrique de Turbidite |
| Ca : | Calcium |
| Mg : | Magnésium |
| CACO₃ : | Carbonate de calcium |
| °F : | Degré français : |
| MES : | Matière En Suspension |
| FA : | Force d'attraction gravitationnelle |
| FR : | Force de répulsion électrostatique. |
| pZ : | Potentiel Zêta |
| μ : | Force ionique |
| C_n : | Concentration de l'ion n (mol/l) |
| Z_n : | Valence de l'ion n |
| N : | Nombre de particules par m ² |
| Γ : | Facteur tenant en compte l'efficacité des collisions |
| k : | Constante de Boltzmann (1,38 x10 ⁻²³ J. k ⁻¹) |
| θ : | Température (K) |

| | |
|-------------------------------|--|
| η : | Viscosité dynamique de l'eau. |
| G : | Gradient de vitesse (s^{-1}) |
| d : | Diamètre des particules (m) |
| P : | Puissance réellement dissipée (W) |
| V : | Volume du bassin (m^3) |
| μ : | Viscosité dynamique de l'eau ($kg/m*s$) |
| MO : | Matière Organique |
| Gs : | Densité des grains solides |
| VB : | Valeur au bleu de méthylène |
| Vb : | le volume total de bleu utilisé en ml |
| Ms : | la masse sèche de fines de sol |
| S_s : | Surface Spécifique |
| TE600 : | Pilote de coagulation floculation décantation. |
| A_λ : | Absorbance |
| I_o : | Intensité de Lumière incidente à λ fixée. |
| I : | Intensité de Lumière transmise à λ fixée |
| λ : | longueur d'onde |
| Qa : | le débit d'eau à traiter ou débit d'alimentation (l/h) |
| C_{opt} : | la concentration optimale du coagulant (mg/l) |
| Qc : | le débit de la pompe du coagulant (l/h) |
| Cc : | la concentration du coagulant (g/l) |
| tr/min : | Nombre du tour par minute |
| R : | Rendement d'élimination de la turbidité en %. |
| Ti : | Turbidité initiale (avant traitement) en (NTU). |
| Tf : | Turbidité finale (après traitement) en (NTU) |
| SA : | Sulfate d'aluminium |
| CF : | Chlorure ferrique |

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
|----------------------------|---|

CHAPITRE I : LA QUALITE ET LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

| | |
|---|----|
| I.1. Le cycle de l'eau dans l'environnement | 3 |
| I.2. Distribution de l'eau sur la planète | 4 |
| I.3. Propriétés de l'eau | 5 |
| I.3.1. Propriétés physiques | 5 |
| I.3.1.1. Propriétés thermique | 5 |
| I.3.1.2. La masse volumique | 6 |
| I.3.1.3. la viscosité | 6 |
| I.3.1.4. La tension superficielle | 6 |
| I.3.1.5. la conductivité électrique | 6 |
| I.3.1.6. Les Propriétés optiques | 6 |
| I.3.2. Propriétés chimiques de l'eau | 7 |
| I.3.3. Propriétés biologiques de l'eau | 7 |
| I.4. Ressources hydriques | 7 |
| I.4.1. Eaux souterraines..... | 7 |
| I.4.2. Eaux de surface | 8 |
| I.4.3. Eaux de mers | 9 |
| I.5. Les paramètres de qualité des eaux | 9 |
| I.5.1. Les paramètres organoleptiques | 9 |
| I.5.1.1. Turbidité | 9 |
| I.5.1.2. La couleur | 10 |
| I.5.1.3. Goût et odeur | 10 |

| | |
|--|----|
| I.5.2.les paramètres physico-chimiques | 10 |
| I.5.2.1. La température | 11 |
| I.5.2.2. La dureté | 11 |
| I.5.2.3. Le pH | 11 |
| I.5.2.4. L'alcalinité | 11 |
| I.5.2.5. La conductivité | 11 |
| I.5.3. Les paramètres des substances indésirables | 12 |
| I.5.4. Les paramètres de substances toxiques | 12 |
| I.5.5. Les paramètres microbiologiques | 13 |
| I.6. Réglementation sur la potabilité de l'eau | 13 |
| I.7.Traitement des eaux de surface..... | 13 |
| I.7.1. Objectif de traitement | 13 |
| I.7.2. Processus de potabilisation des eaux de surface | 14 |
| I.7.2.1. Prétraitement | 14 |
| -Prédessableur ou fosse de bâtards | 16 |
| -Dessableurs circulaires | 16 |
| I.7.2.2. Pré-oxydation | 17 |
| I.7.2.3. Clarification | 18 |
| I.7.2.4. Désinfection | 20 |
| I.7.2.5. Affinage | 20 |
| I.8. CONCLUSION | 21 |

CHAPITRE II : THEORIE DE COAGULATION FLOCCULATION & DECANTATION

| | |
|---|----|
| II .1. Caractéristiques des particules à éliminer | 22 |
| II .1.1. Généralités | 22 |

| | |
|--|----|
| II .1.1.2. Les particules colloïdales | 23 |
| II.1.1.3. Les matières dissoutes..... | 23 |
| II.1.2. Les types des particules colloïdales | 24 |
| II.1.2.1. Les particules colloïdales hydrophiles | 24 |
| II.1.2.2. Les particules colloïdales hydrophobes | 24 |
| II .1.3. Stabilité des particules colloïdales | 24 |
| II.1.3.1. Force d'attraction-répulsion | 25 |
| II .1.3.2. Théorie Double couche | 26 |
| II.1.3.2.1.Potentiel thermodynamique ou potentiel STERN | 26 |
| II .1.3.2.2. Le potentiel électrocinétique Zêta | 26 |
| II.2. La coagulation – floculation | 27 |
| II.2.1. La Coagulation..... | 27 |
| II .2.1.1. Définition | 27 |
| II .2.1.2. Stratégie | 28 |
| II .2.1.3.Déstabilisation des particules colloïdales | 28 |
| II.2.1.4.Les Coagulants | 30 |
| • Les sels d'aluminium | 31 |
| - Sulfate d'aluminium | 31 |
| - Chlorure d'aluminium..... | 31 |
| • Les sels de fer | 32 |
| - Sulfate ferrique | 32 |
| - Chlorure ferrique..... | 32 |
| II .2.1.5. Les facteurs influençants dans la coagulation | 32 |
| • Influence de pH | 33 |
| • Influence des sels dissous | 33 |
| • Influence de la température de l'eau | 33 |
| • Influence de coagulant | 34 |
| • Influence de la turbidité | 34 |
| II .2.2. La floculation | 35 |
| II .2.2.1. Types de floculation : On distingue deux types de floculation | 35 |

| | |
|--|----|
| II .2.2.2. Flocculants | 36 |
| II.3.Décantation | 36 |
| II.3.1. Définition..... | 36 |
| II.3.2.Types de décantation | 37 |
| II.3.2.1. Décantation des particules discrètes..... | 37 |
| II.3.2.2. Décantation de particules flocculantes | 37 |
| II.3.2.3. Décantation freinée | 37 |
| II.3.2.4. Décantation en compression de boue | 37 |
| II.3.3. Types de décanteur | 37 |
| II.3.3.1.Décanteur simple | 37 |
| II.3.3.2. Décanteur lamellaire | 37 |
| II.3.3.3. Décanteurs à tubes | 39 |
| II.4. Conclusion | 39 |

CHAPITRE III : PROCEDURE EXPERIMENTALE ET MATERIELS

| | |
|---|----|
| III.1. Caractérisation des coagulants et des particules solides utilisées | 40 |
| III.1.1. Préparation des coagulants | 40 |
| III. 1.1.1. Sulfate d'aluminium | 40 |
| III.1.1.2. Le chlorure ferrique | 41 |
| III.1.2. Type de particules solides et leurs Préparation..... | 41 |
| A. Traitement des échantillons au laboratoire | 41 |
| B. Détermination des caractéristiques des particules solides utilisées | 42 |
| C. Préparation des solutions mères | 45 |
| III.2.Description des bancs d'essais et mode opératoire des et appareils utilisés | 46 |
| III.2.1: Pilote de coagulation-floculation-décantation TE600 | 46 |
| III.2.1.1.Procédure générale de mise en route | 47 |

| | |
|--|----|
| III. 2.1.2. Liste des vannes | 51 |
| III. 2. 2. Jar test | 52 |
| III.2.3 : Appareils et méthode de mesure | 53 |
| III.2.3.1. Mesure de la turbidité | 53 |
| III.2.3.2. Mesure de PH | 57 |
| III.2.4. Autres appareils | 58 |
| III.3: Protocole expérimental | 59 |
| III.3.1. Mode opératoire en Jar-test | 59 |
| III.3.1.1.Influence de la vitesse et de la durée d'agitation rapide..... | 60 |
| III .3.1.2. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation lente..... | 60 |
| III .3.1.3.Mode opératoire de l'influence de pH sur la coagulation floculation | 61 |
| III.3.1.4.Mode opératoire de l'influence de la concentration de la solution du coagulant | 62 |
| III .3.1.5.Mode opératoire de l'influence de la dose de coagulant | 63 |
| III.3.2. Mode opératoire de coagulation floculation décantation sur le pilote TE600 | 64 |
| III.3.2.1. Préparation de l'effluent à traiter | 65 |

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPEREMENTAUX ET INTERPRETATIONS

Erreur ! Signet non défini.

| | |
|---|----|
| IV .1. Caractéristiques de solutions utilisées | 68 |
| IV.2.Résultats expérimentaux d'application de la coagulation floculation-décantation sur Jar-test | 69 |
| IV .2.1. L'influence la vitesse et de temps d'agitation | 69 |
| a. La vitesse d'agitation rapide | 69 |
| b. Temps d'agitation rapide | 72 |
| c. Vitesse d'agitation lente | 74 |
| d. Temps d'agitation lente | 76 |
| IV.2.2. L'influence du pH sur la coagulation | 79 |

| | |
|---|----|
| IV.2.3. Influence de concentration de la solution du coagulant | 81 |
| IV.2.4. Influence de la dose de coagulant | 83 |
| IV.4. Influence de concentration des particules solides sur la coagulation floculation | 86 |
| IV.5. Résultats expérimentaux d'application de la coagulation floculation décantation sur le pilote TE600 | 91 |
| CONCLUSION GENERALE | 98 |
| BIBLIOGRAPHIE | |

INTRODUCTION GENERALE

Les eaux superficielles sont utilisées pour l'alimentation en eau potable, lorsqu'il ya une insuffisance de la ressource en eaux souterraines. Elles ne sont pas directement utilisables pour l'alimentation en eau potable, car elles sont chargées de nombreuses impuretés dissoutes ou en suspension, d'origine naturelle ou humaine. Certaines posent un danger pour la santé humaine, alors que d'autres nuisent au traitement de l'eau.

Le traitement des eaux pour la distribution a pour objet de réduire ces impuretés pour les rendre conforme à des valeurs fixées par des normes (qui sont en fait des critères de qualité) et d'assurer une sécurité parfaite par désinfection.

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, dans le but de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé consiste à l'injection et la dispersion de produits chimiques, appelés coagulants. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

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

- ❖ Les conditions opératoires : elles 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.
 - Celle liées au coagulant lui même, sa nature et sa concentration.
- ❖ Les conditions de la phase aqueuse influent directement sur l'efficacité de la coagulation floculation par ses caractéristiques physico chimiques : le pH, la température, la force ionique.
- ❖ 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 teneur en matière organique, la surface spécifique et la densité.

Le but de notre travail est de déterminer l'influence de la nature des particules solides sur le procédé de coagulation floculation et par conséquent, la variation des conditions optimales de formation des floes en fonction des caractéristiques physico chimiques des particules solides dispersés dans l'eau.

Pour ce faire, nous avons utilisé le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique comme coagulants sur deux échantillons d'origine et de nature différente : la terre végétale et la vase du barrage Hammam Boughrara ; des expériences en été menées en premier lieux sur jar-test afin de déterminer les conditions optimales de coagulation floculation, en second lieux sur le pilote T900, afin d'apprécier l'influence de la nature et l'origine des particules sur l'efficacité de traitement dans un processus a débit continu.

Afin d'apporter une contribution à cette problématique, nous avons organisé notre travail en 4 chapitres :

Le chapitre 1 : résume les principales caractéristiques des eaux et décrit le processus de clarification des eaux superficielles.

Le chapitre 2 : explique brièvement la théorie de coagulation floculation décantation.

Le chapitre 3 : donne la description des différents appareils et produits chimiques utilisés, ainsi que la caractérisation des particules solides utilisés dans la partie expérimentale.

Le chapitre 4 : a été réservé pour interpréter les résultats expérimentaux enregistrés, Il détaille l'influence des conditions opératoires et les caractéristiques des particules solides sur la coagulation floculation décantation.

Et enfin, une conclusion est donnée pour résumer notre travail.

CHAPITRE I :**LA QUALITE ET LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE**

Compte tenu de tous les contaminants auxquels les eaux de surface sont exposées depuis le moment où elles tombent sous forme de précipitations jusqu'au moment où l'on s'en sert comme source d'approvisionnement, il est important de bien comprendre les caractéristiques de la source d'eau de surface pour être en mesure de fournir un approvisionnement continu en eau potable salubre. La quantité d'eau disponible et la qualité de l'eau varient selon les saisons. Les événements météorologiques extrêmes, comme les fortes chutes de pluie et les sécheresses prolongées, influent également sur la quantité et la qualité des sources d'eau.

La compréhension de ces variations et de leur incidence sur le système de traitement est l'un des principaux facteurs pour un approvisionnement continu en eau potable salubre [1].

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit brièvement les principales caractéristiques des eaux et les étapes conventionnelles de potabilisation d'une eau de surface dans une station de traitement.

1.1. Le cycle de l'eau dans l'environnement :

Sur la terre l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturelle : solide (glace, neige), liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur). L'eau s'évapore, se condense et se précipite conventionnellement dans un cycle infini [2].

L'eau s'évapore à la surface des fleuves, des lacs, des mers et des océans, lorsque la quantité d'eau dans l'atmosphère devient suffisamment grande, la vapeur se condense sur les particules en suspension, dans l'air pour former les nuages, les nuages précipitent éventuellement sous forme de pluies, l'eau qui est libérée ruisselle vers les rivières et les fleuves [2].

En ayant une bonne compréhension de ce cycle, on peut mieux déterminer quelles sont les exigences relatives à la salubrité et au traitement qui s'appliquent à l'eau brute provenant de ces sources [1].

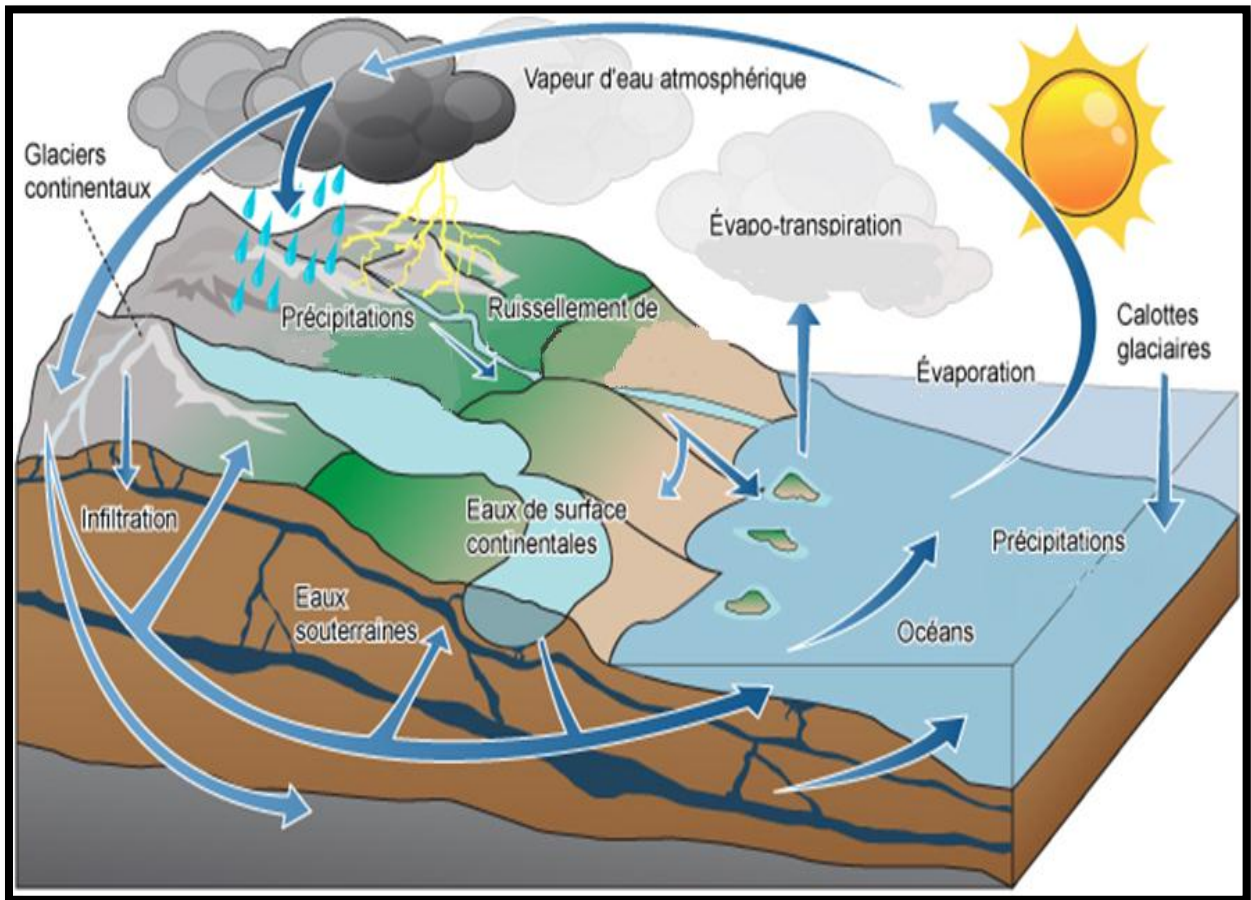


Figure I.1: Cycle de l'eau [3].

I.2. Distribution de l'eau sur la planète :

De toute l'eau de la Terre, seulement 3% est de l'eau douce, le reste (97%) étant de l'eau salée. L'eau douce est répartie comme suit : 68.7% dans les calottes glaciaires et les glaciers, 30.1 % en eaux souterraines et environ 0,3% en eaux de surface. De ce 0,3 %, 2 % se trouve dans les cours d'eau, 11 % dans les marécages et 87 % dans les lacs [1].

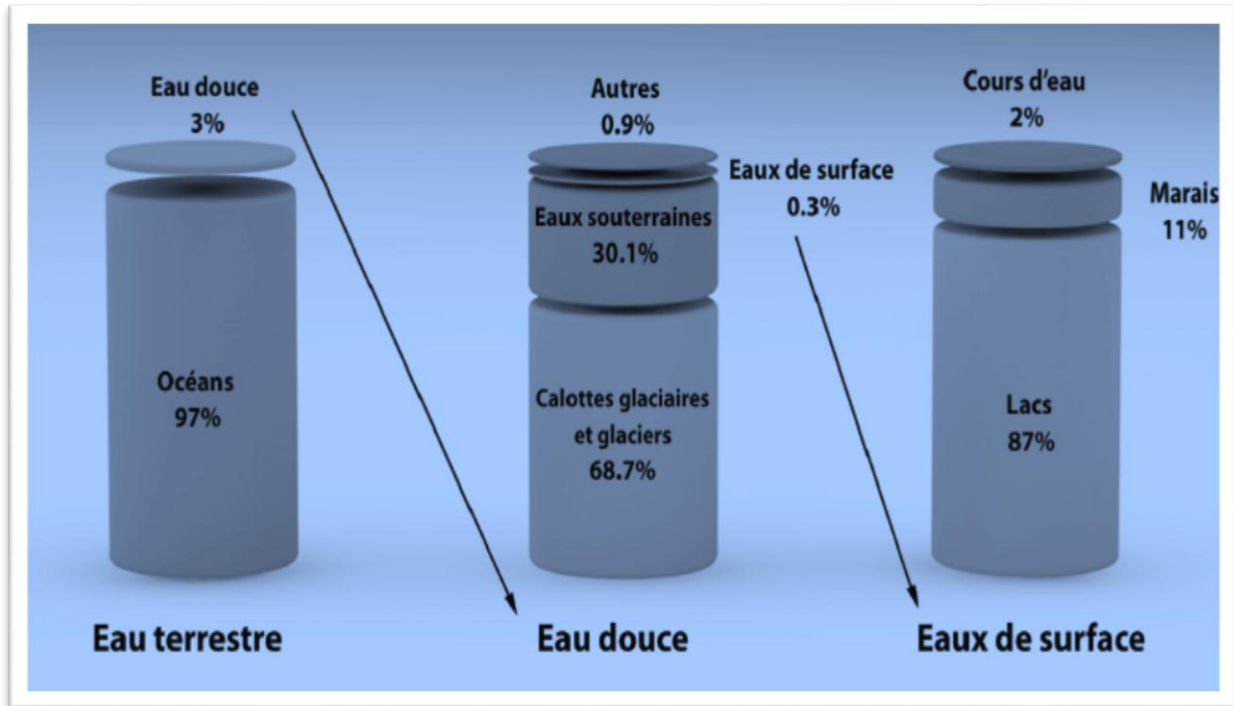


Figure I.2: Distribution de l'eau dans la planète [1].

I.3. Propriétés de l'eau :

Indispensable à la vie, catalyseur de nombreuses réactions chimiques, l'eau est également le principal agent d'érosion et sédimentation et donc un facteur déterminant de la formation des paysages. Le caractère banal de l'eau qui nous environne, fait parfois oublier que ce liquide qui nous est si familier, s'avère en réalité par ses propriétés si particulières à la fois le fluide le plus indispensable à la vie et celui dont la complexité est la plus remarquable [4].

I.3.1. Propriétés physiques :

Les propriétés physiques de l'eau les plus intéressantes sont les suivantes :

I.3.1.1. Propriétés thermique :

- Chaleur massique : qui est la quantité de chaleur absorbée ou fournie par une unité de masse qui s'élève ou s'abaisse de 1°C [5]. Elle vaut $4.18 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ à 20 °C, elle varie avec la température [1].
- Chaleur latente : qui est, pour un matériau et un changement d'état donné, la chaleur mise en jeu (à donner ou retirer selon qu'il y a fusion ou solidification, vaporisation ou condensation) par unité de masse [5].

I.3.1.2. La masse volumique :

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1g/cm^3 [6].

I.3.1.3. la viscosité :

C'est la propriété que présente un fluide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit interne, soit globaux. Cette résistance est due aux frottements réciproques des molécules en mouvement. Elle est à la base des pertes d'énergie cinétiques (perte de charge) et joue un rôle important dans le traitement de l'eau [6].

On distingue deux types :

- Viscosité dynamique : le rapport de la contrainte tangentielle de cisaillement T (en Pa) au gradient de vitesse V (en m. s^{-1}).
- Viscosité cinématique : le rapport de la viscosité dynamique à la masse volumique de fluide [6].

I.3.1.4. La tension superficielle :

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température [6].

I.3.1.5. la conductivité électrique :

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4.2 microsiemens par mètre à 20 °C. Elle varie en fonction de la température [6].

I.3.1.6. Les Propriétés optiques :

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible [2].

Les propriétés optiques sont très utilisées dans le control de l'efficacité des traitements d'épuration et pour mesurer certaines fonctions de pollution [2].

I.3.2. Propriétés chimiques de l'eau :

Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques [4].

I.3.3. Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des être vivants [7]. 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 [4].

I .4. Ressources hydriques :

Les eaux à visée de potabilisation pour la consommation humaine sont de différentes natures [8].

I.4.1. Eaux souterraines:

La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine.

- Une nappe peut être libre (phréatique), elle est alimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie.
- Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales: ce sont les nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.
- Une nappe peut être captive si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables [6].

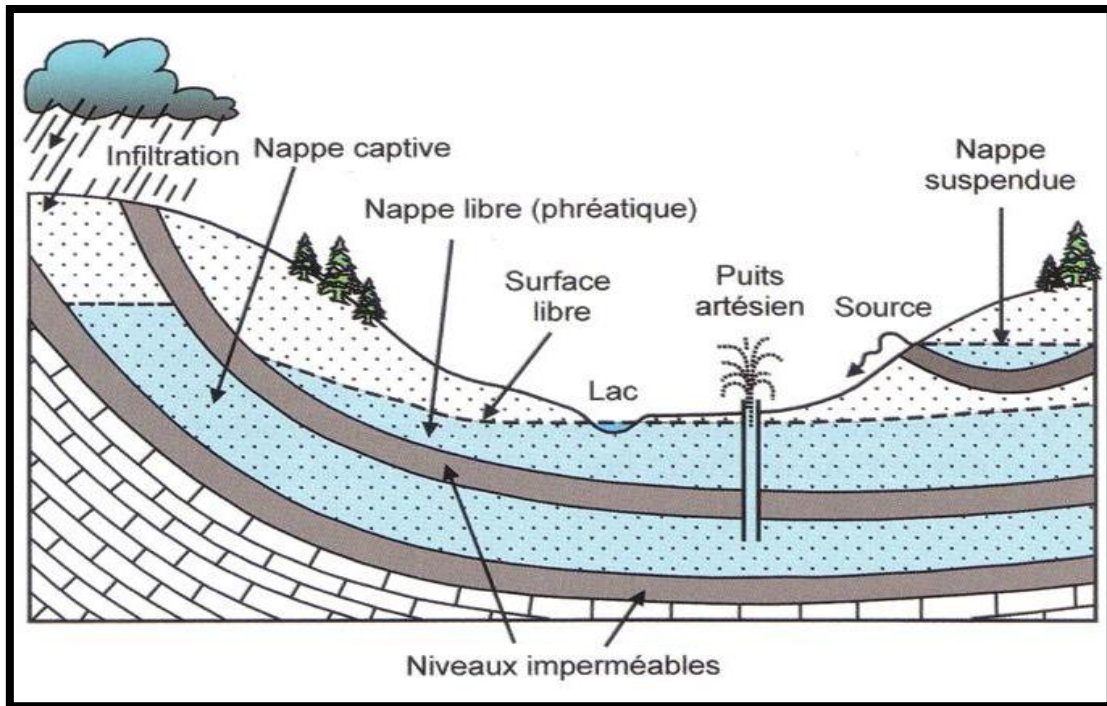


Figure I.3: Différents types des nappes souterraines [9].

Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique. Néanmoins, les terrains traversés en influencent fortement la minéralisation. Celle-ci est faible dans les terrains anciens de type granite et schiste, et élevée dans les terres sédimentaires comme les calcaires. Elles sont pauvres en O_2 dissous et exemptes de matières organiques sauf en cas de pollution [8].

I.4.2. Eaux de surface :

Les eaux de surfaces se répartissent en eaux circulantes (courantes) ou stockées (stagnantes). Elles se forment à partir, soit de l'émergence de nappes profondes en source, soit du rassemblement d'eau de ruissellement [8].

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, elle est donc généralement riches en gaz dissous, en matière en suspension et en matière organique ainsi qu'en plancton. Les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique [10].



Figure I.4: Eau courante [9].



Figure I.4 : Eau stagnante [11].

I.4.3. Eaux de mers :

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de la mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/l [12].

I.5. Les paramètres de qualité des eaux :

La qualité de l'eau peut être jugée par rapport à trois types de paramètres :

I.5.1. Les paramètres organoleptiques :

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution [4].

I.5.1.1. Turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques ...etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace [13].

Les mesures de turbidité sont de précieux indicateurs de la qualité de l'eau, tout comme les mesures bactériologiques. Des mesures de turbidité élevées ou une fluctuation des mesures peuvent indiquer un traitement inadéquat de l'eau ou un problème de qualité de l'eau [14].

Exprimée en unité NFU (Nephelometric Formazine Unit) ou en unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit), on obtient sur les eaux de surface des valeurs qui oscillent généralement entre 10 et 50, mais après de fortes précipitations on peut dépasser 100, voire 200 [13].

I.5.1.2. La couleur :

La couleur peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais le plus souvent à certaines matières organiques dissoutes (acides humiques, fulvique). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [6].

I.5.1.3. Goût et odeur :

Le goût peut être défini comme : l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche [13].

L'odeur peut être définie comme : l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles [13].

Dans le cas d'une eau potable, l'apparition ou le changement de goût et d'odeur peuvent être signe d'activité microbienne et de lacune dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un goût plus prononcé qu'une eau non potable du fait du chlore résiduel [4].

I.5.2.les paramètres physico-chimiques :

Il s'agit des caractéristiques de l'eau, ces caractéristiques sont en relation avec la structure naturelle de l'eau.

I.5.2.1. La température :

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux quelles soient souterraines ou superficielles. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15°C ; entre 20 et 25 °C, elle désaltère mal [13].

I.5.2.2. La dureté :

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium. La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milliéquivalents/l :

$1^{\circ}\text{F} = 4 \text{ mg/l de Ca ou } 2.43 \text{ mg/l de Mg ou } 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$.

Les eaux de surface, généralement moins riches en acide carbonique et en oxygène dissous que les eaux souterraines, ont une dureté moins élevée que ces dernières [13].

I.5.2.3. Le pH :

Le pH est une mesure qui permet de déterminer à quel point l'eau est acide ou basique. Cela est lié directement à la quantité d'ions hydrogène (H^+) dans l'eau en solution. Plus il y a d'ions H^+ , plus l'eau est acide et plus le pH est bas. Le pH est habituellement donné sur une échelle de 0 à 14 [1].

I.5.2.4. L'alcalinité :

L'alcalinité correspond à la capacité de l'eau de limiter ou, en termes plus techniques, de tamponner les variations du pH [1].

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes [13].

I.5.2.5. La conductivité :

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution. D'une façon générale, la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau, les écarts sont d'autant plus importants que la minéralisation initiale est faible [13]. La conductivité électrique s'exprime en micro siemens/cm [4].

I .5.3. Les paramètres des substances indésirables :

Pour Les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après :

Tableau I.1 : Normes des substances indésirables [15].

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

I .5.4. Les paramètres de substances toxiques :

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après :

Tableau I.2: Les normes des substances toxiques [15].

| Substances | Valeurs µg/l |
|------------|--------------|
| Plomb | 10 |
| Cadmium | 5 |
| Mercure | 1 |
| Chrome | 50 |
| Cyanure | 50 |
| Arsenic | 10 |
| Nickel | 20 |

I.5.5. Les paramètres microbiologiques :

L'eau ne doit contenir de germes pathogènes en particulières Salmonelle et les Escherichia coli dans 5 litres d'eau prélevée, en Staphylocoques dans 100 ml d'eau prélevée. L'eau ne doit pas contenir de Coliformes streptocoques dans 100000 litres d'eau prélevée [15].

I.6. Réglementation sur la potabilité de l'eau :

Les méthodes de traitement des eaux destinées à la consommation humaine viseront donc toutes à soustraire les matières en suspension, ainsi que les matières vivantes et autres substances dissoutes, dans le but de rendre l'eau traitée propre à la consommation en regard des normes légales [17]. Les normes, c'est-à-dire les concentrations maximales acceptables et les modalités d'application, sont différentes d'un pays à l'autre, voire d'une province à l'autre [12].

I.7. Traitement des eaux de surface:

Les eaux captées dans la nature ne présentent souvent pas les qualités physiques, chimiques et biologiques désirables, propres à la consommation. C'est le rôle du traitement que leur conférer les propriétés souhaitables [17].

Le choix des procédés de traitement d'une eau quelle que soit la nature, dépend directement de plusieurs facteurs qui sont :

- La connaissance de l'eau à traiter;
- L'usage que l'on veut faire;
- Le degré du développement de pays considéré et le progrès de la technologie [18].

I.7.1. Objectif de traitement :

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à trois principaux objectifs :

- **La santé publique** : une eau sans risques pour la santé, exempte de germes pathogènes et des substances toxiques.
- **L'agrément du consommateur** : afin de susciter l'agrément du consommateur, le traitement doit également améliorer les qualités organoleptiques de l'eau; c'est-à-dire distribuer une eau agréable à boire, claire et équilibrée en sels minéraux.

- **La protection des infrastructures** : Protection du réseau de distribution d'eau et des installations des usagers (robinets, chauffe-eaux, chaudières,...) contre l'entartrage et la corrosion [20].

I.7.2. Processus de potabilisation des eaux de surface :

Nous présentons dans la figure ci-dessous la filière la plus complète et la plus courante d'une chaîne de traitement des eaux de surface.

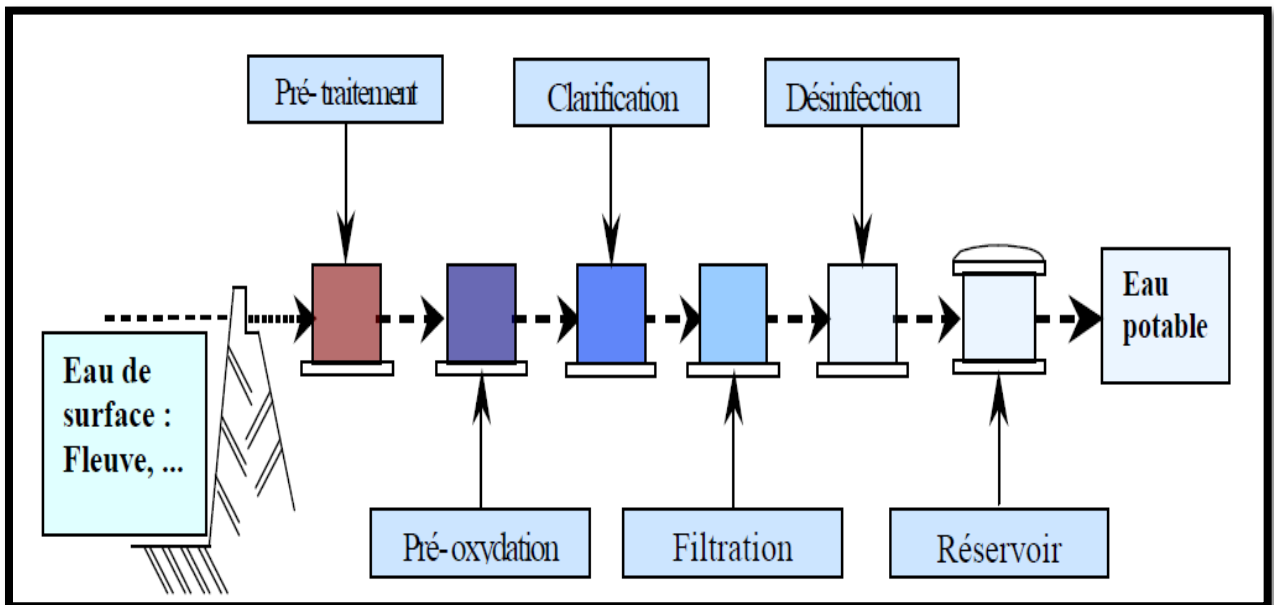


Figure I.5 : Chaîne de traitement des eaux [19].

I.7.2.1. Prétraitement :

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Les prétraitements physiques constituent une série d'opérations susceptibles d'alléger les eaux brutes des matières les plus grossières d'une part ou celles pouvant gêner le processus du traitement ultérieur [17].

Son objectif est d'éliminer, par procédés mécaniques, tous les éléments grossiers qui pourraient détériorer les équipements de la filière ou constituer un gêne pour les traitements ultérieurs. Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de trois types [1] :

➤ **Le dégrillage :**

Le dégrillage protège les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement, et permet également d'évacuer les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution [19]. Différents types de dégrillage sont définis selon l'espacement des barreaux :

Tableau I.3: Les différents types de dégrillage [21].

| Type de dégrillage | Espacement des barreaux |
|--------------------|-------------------------|
| Dégrillage fin | < 10 mm |
| Dégrillage moyen | 10 – 30 mm |
| Pré – dégrillage | 30 – 100 mm |

- **Types des grilles :**

Le classement des dégrilleurs peut s'effectuer selon leur système d'évacuation des déchets :

- **les grilles manuelles :** qui doivent être nettoyées à la main très régulièrement [21]. Elles peuvent être montées verticalement ou inclinées (60° à 80° sur l'horizontale) pour faciliter le relevage des refus. Elles sont parfois mobiles ou pivotantes pour autoriser le nettoyage de canal aval si ce dernier est ouvert [6].
- **les grilles mécaniques :** qui sont équipées d'appareils assurant leur nettoyage automatique [21].
 - ❖ **Grilles à nettoyage par l'amont :** elles sont réalisées en barreaux de section rectangulaire ou trapézoïdale à angles vifs ou arrondis. L'évacuation de déchets est toujours située à l'aval de la grille. Elles comportent quatre types principaux (Les grilles courbes, les grilles droites à nettoyage alternatif, les grilles à champs mobiles sans fin et rotatif type escalier) [6].
 - ❖ **Grilles à nettoyage par l'aval :** Quelques grilles comportent un système de nettoyage avec chaînes sans fin placé en aval [6].

➤ **Le dessablage :**

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus au moins fines, ainsi que les filasses de façon à éviter les dépôts dans les canaux et les conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion [6].

Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μ m, voire 300 μ m ; une granulométrie inférieure est en général du ressort de débouillage ou de décantation [6].

Le dessableur doit être conçu pour que la vitesse de l'eau à l'intérieur de l'ouvrage soit comprise entre 0,2 et 0,4 m/s [21], Il existe plusieurs types de dessableur, à savoir :

- Prédessableur ou fosse de bâtards ;
- Dessableurs circulaires ;
- Dessableurs rectangulaires aérés ;
- Dessableurs métallurgies [6].

➤ **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 [22].

➤ **Le débouillage :**

Si les eaux sont très chargées en sable ou limons (supérieur à 10g/l), opération peut fréquente qui s'effectue dans des décanteurs raclés [16].

➤ **Tamisage :**

Cette opération constitue un dégrillage fin ; c'est une filtration sur toile utilisable dans de nombreux domaines de traitement de l'eau. Suivant la dimension des mailles de toiles, on distingue [22] :

Macrotamisage, il est impératif si l'eau charrie des herbes, des feuilles, des débris plastiques...etc., le nettoyage doit être automatique [6].

Microtamisage, consiste en un filtrage plus fin de l'eau à travers une toile de fils ou de fibres ou à travers une membrane poreuse. Les particules organiques, minérales et les planctons sont interceptés si leur taille est supérieure à celle des ouvertures du microtamis [21]. Les toiles filtrantes ont des ouvertures de mailles de 30-40 μm à 150 μm [6].

1.7.2.2. Pré-oxydation :

Suivant la température et la distance, cette préoxydation sera faite soit à la prise d'eau, soit sur le site de la station.

➤ Aération :

C'est une opération qui vise à compenser un déficit de l'eau brute en oxygène ou à débarrasser l'eau de gaz indésirables ou en excès (H_2S ; CO_2) [6].

➤ Oxydation chimique :

La préchloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le plus réactif et le plus économique, mais il a comme inconvénient de former avec certains micropolluants des composés organochlorés du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables [23].

Les composés les plus souvent utilisés sont des agents chlorés: le chlore gazeux Cl_2 , L'hypochlorite de sodium ou « eau de javel » (NaCl), le dioxyde de chlore (ClO_2), L'ozone O_3 , le permanganate de potassium (KMnO_4). Le choix de l'oxydant dépend de la qualité des eaux brutes utilisées et des objectifs que l'on veut atteindre [24].

1.7.2.3. Clarification :

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organiques. La clarification comprend les opérations suivantes : la coagulation, la floculation, la décantation et la filtration [19].

➤ La coagulation:

Les colloïdes en solution sont naturellement chargés négativement. Ainsi, elles se repoussent mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste en la déstabilisation de ces particules par la

neutralisation de leurs charges négatives en utilisant des réactifs chimiques nommés coagulants avec une agitation importante [19].

L'opération de coagulation doit s'effectuer dans un temps très bref car le processus de déstabilisation est réversible. Le réactif doit être réparti de façon la plus rapide et la plus homogène possible dans toute la masse de l'eau. Ce mélange énergétique doit durer entre 1 et 3 minutes [19].

➤ **La floculation :**

La floculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées pour former des flocons ou « flocs » [43].

Contrairement à la coagulation, la floculation nécessite une agitation lente afin d'assurer le contact entre les flocs engendrés par la coagulation, si non ils risquent de se briser. La majorité des flocculants ou adjuvants sont des polymères de poids moléculaire très élevé. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes. Les temps d'injection du coagulant et du flocculant sont en général espacés de 1 à 3 minutes, en fonction de la température de l'eau [19].

➤ **Décantation :**

La décantation a pour objectif de séparer, par gravité, le floc formé de l'eau. Ce floc est récupéré par décantation en fond de l'ouvrage et constitue des boues, qui sont extraites périodiquement [24]. Les décanteurs sont des appareils dans lesquels l'eau circule d'une manière continue, très lentement, de façon qu'elle puisse abandonner ses matières en suspension et colloïdales rassemblées dans les flocons formés dans les flocculateurs. Les décanteurs sont précédés d'un tranquillisateur en vue d'atténuer les tourbillons à l'entrée de l'appareil [16].

Tableau I.4: Temps requis pour que des différentes particules chutent de 1 m dans une eau à 15°C [21].

| Type de particule | Diamètre (mm) | Temps de chute | | |
|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | densité de 2,65 | densité de 2,0 | densité de 1,1 |
| Gravier | 10,0 | 0,013 s | 0,02 s | 0,20 s |
| Sable grossier | 1,0 | 1,266 s | 2,09 s | 20,90 s |
| Sable fin | 0,1 | 126,66 s | 3,48 min | 34,83 min |
| Glaise | 0,01 | 3,52 h | 5,80 h | 58,0 h |
| Bactéries | 0,001 | 14,65 d | 24,19 d | 241,9 d |
| Colloïdales | 0,000 1 | 4,12 a | 6,66 a | 66,59 a |
| Colloïdales | 0,000 01 | 412,2 a | 665,9 a | 6 659 a |
| Colloïdales | 0,000 001 | 41 222,7 a | 66 590 a | 665 905 a |

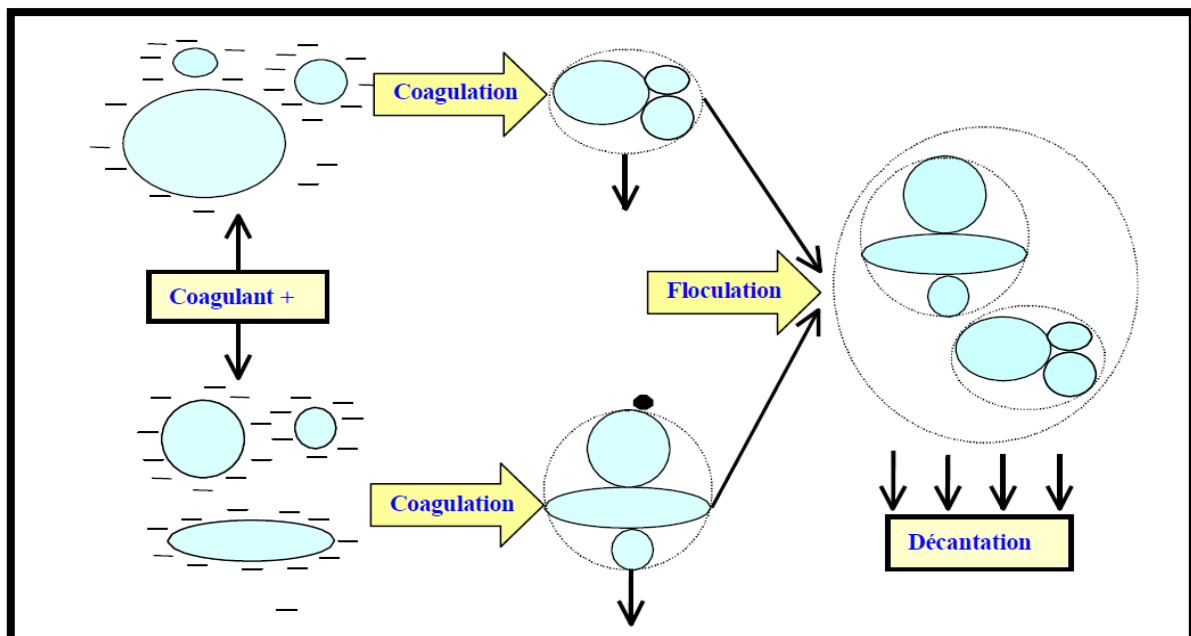


Figure I.6: Coagulation-Floculation [25].

➤ **La filtration :**

La filtration est un procédé destiné à clarifier le liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation physique. La filtration permet une élimination correcte de bactéries, de la couleur et de la turbidité [8].

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement:

- Filtration rapide sur sable.
- Filtration lente sur sable [21].

Dans une filière moderne de potabilisation, on utilise la filtration rapide, avec une vitesse de filtration d'une dizaine de mètres par heure [24].

En ce qui concerne la filtration lente sur sable, de construction et de fonctionnement simples, nécessite de grandes superficies; c'est pourquoi on les utilise surtout dans les pays où le climat est moins rigoureux, et lorsqu'on n'est pas limité par l'espace [21].

I.7.2.4. Désinfection :

Toutes les eaux distribuées doivent être désinfectées (stérilisées et chlorées) avant la consommation. L'objectif de cette opération de traitement est la destruction totale des germes pathogènes et le maintien d'une bonne qualité de l'eau de boisson [15].

Divers agents désinfectants peuvent être utilisés tels que le chlore et ses dérivées, l'ozone, les rayons ultra-violet. Mais le chlore est l'agent le plus utilisé comme désinfectant final, avant refoulement de l'eau dans le réseau ; il permet d'achever la désinfection de l'eau et de protéger le réseau contre les développements bactériens [4].

I.7.2.5. 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 sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation-floculation [4]. Les principaux moyens à mettre en œuvre sont :

➤ **L'oxydation :**

C'est essentiellement l'oxydation par l'ozone qui est utilisée en affinage. Elle transforme les molécules de forte masse molaire en molécules de plus petite taille. On notera cependant l'efficacité de l'ozone vis-à-vis de molécules organiques comportent des doubles liaisons ou des cycles aromatiques qu'il transforme en molécules plus facilement biodégradables [6].

➤ **L'adsorption :**

Elle s'effectue à l'aide de charbon actif de natures diverses. Le charbon actif est un matériau extrêmement poreux développant une surface importante de l'ordre de 600 à 1500 m²/g [26]. Le charbon actif retient :

- Les métaux lourds ayant échappé à la floculation-décantation
- Les micropolluants organiques
- Les bactéries, virus et mauvais goûts [26].

➤ **Ozonation :**

Elle consiste à injecter de l'air ozoné dans l'eau filtré à l'aide de poreux ou de turbines. Son intérêt est d'introduire une double sécurité pour l'élimination des bactéries et des virus mais on constate une grande amélioration de la couleur de l'eau traitée, se traduisant notamment par une amélioration de goût de l'eau [26].

I.8. CONCLUSION :

L'eau comme ressource naturelle est indispensable à la vie, qu'elle soit d'origine souterraine ou superficielle, les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est nécessaire de leur appliquer un traitement, ne serait-ce qu'une désinfection dans le cas des eaux souterraines. L'eau que nous utilisons couramment est celle des lacs et des rivières, elle constitue seulement 3% de l'eau disponible sur terre [19].

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

CHAPITRE II :

THEORIE DE COAGULATION FLOCCULATION & DECANTATION.

Le but de la clarification des eaux est l'élimination des particules indésirables qui confèrent à l'eau des apparences troubles ainsi que des odeurs et saveurs désagréables. Pour ce faire, on a eu recours aux procédés physico chimiques pour modifier l'état initial des corps présents dans l'eau et créer des conditions favorables à leur décantation ; d'où la technique de la coagulation floculation [18].

II .1. Caractéristiques des particules à éliminer :

II .1.1. Généralités :

Les particules en suspensions dans une eau de surface proviennent de l'érosion des terres, de la dissolution de substances minérales et la décomposition de substances. En général, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matières inorganiques (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matières organiques [12].

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivant :

- Etat de suspension qui regroupe les plus grosses particules.
- Etats colloïdal
- Etat dissous des sels minéraux et des molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules [8].

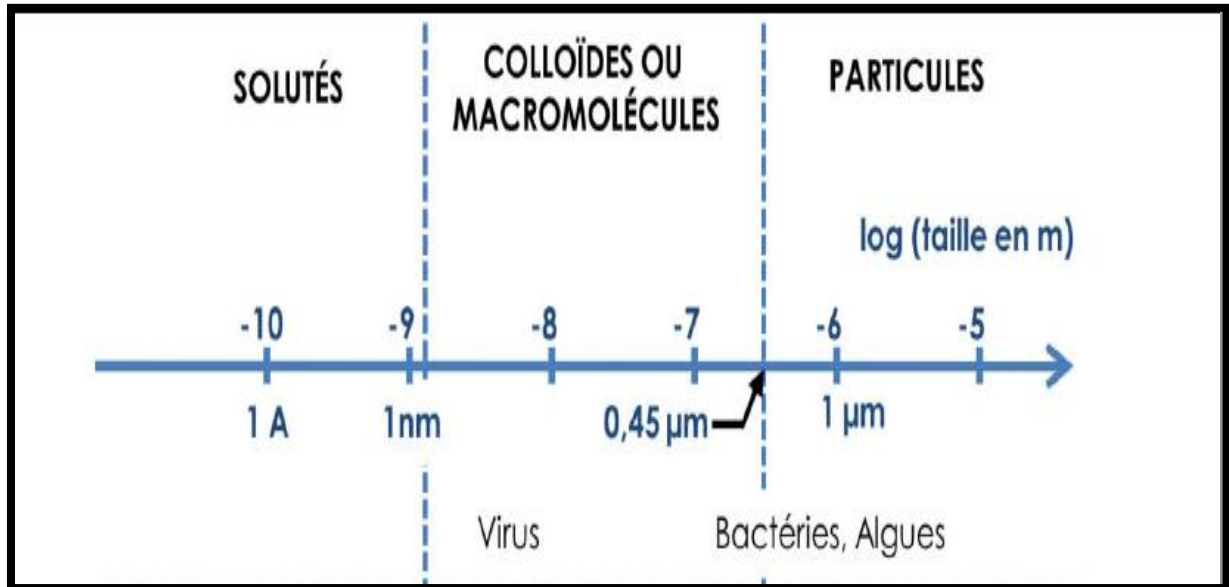


Figure II.1: Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement [27].

II.1.1.1. Les matières en suspension :

Sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à $1\mu\text{m}$. Leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité [28].

II.1.1.2. Les particules colloïdales :

Les particules colloïdales présentent un diamètre compris entre $1\mu\text{m}$ et 1nm . Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique l'existence de charges électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion intercolloïdales. Celles-ci permettent d'expliquer la grande stabilité de ces particules mises en solution [8].

Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre de 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 666 000 années pour décanter de un mètre [12].

II.1.1.3. Les matières dissoutes:

Quant à elles, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre, elles décanter donc encore plus lentement [28].

II.1.2. Les types des particules colloïdales :

II.1.2.1. Les particules colloïdales hydrophiles :

Elles se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Elles sont des particules de matières organiques [12]. Il est à noter que les colloïdes de nature hydrophile sont responsables de la coloration de l'eau [8].

II.1.2.2. Les particules colloïdales hydrophobes :

Elles sont en général de nature minérale. Ils n'ont aucune affinité à l'eau pour les molécules d'eau. La formation d'une couche d'hydratation est impossible. Ce type de particules est en partie responsable de la turbidité [8].

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.

II.1.3. Stabilité des particules colloïdales :

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer. Elles demeurent donc stables [28]. Une particule typique est représentée dans (Fig. II.2):

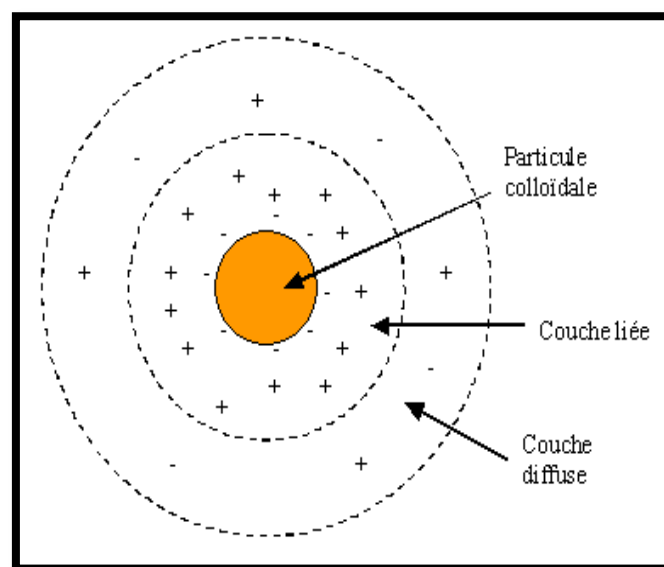


Figure II. 2: Double couche d'une particule colloïdale [29].

II.1.3.1. Force d'attraction-répulsion :

Les colloïdes sont soumises à deux types de force de directions opposées :

- Force d'attraction gravitationnelle de VAN DER WAALS (FA), liée à la surface spécifique et à la masse des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu.
 - Force de répulsion électrostatique (FR), liée aux charges superficielles des colloïdes et donc à leur potentiel zêta (ζ).
- Si $FA > FR$, l'agrégation se produit.
- Si $FR > FA$, il y a principalement la répulsion entre les particules colloïdales [30].

L'énergie totale d'interaction (E) entre les particules colloïdales est la somme de l'énergie répulsive (E_r) due au potentiel électrique et l'énergie attractive (E_a) (figure II.3) [30].

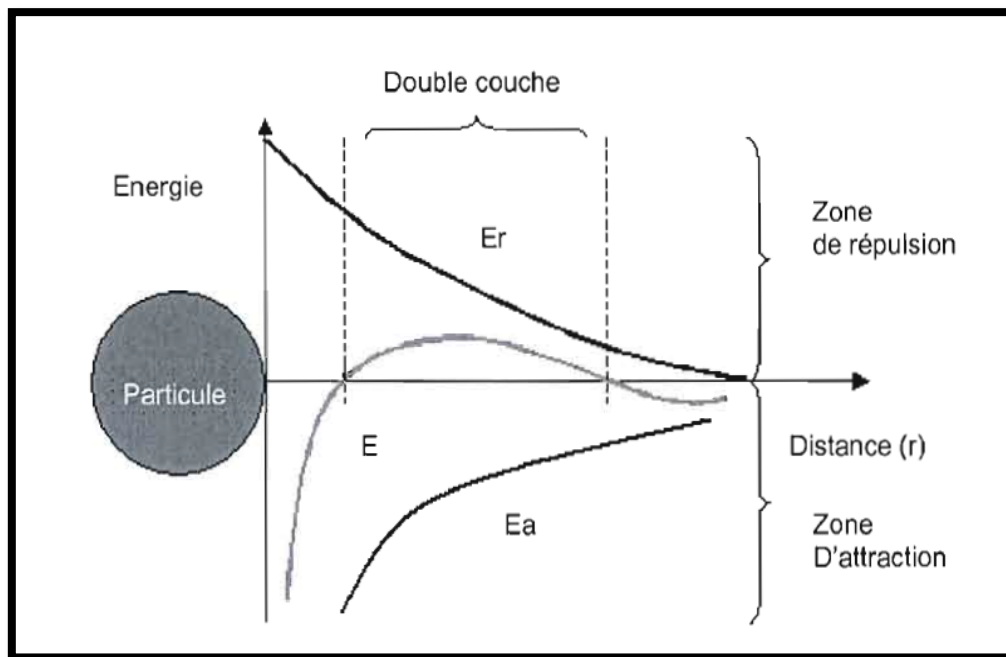


Figure II.3: Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion électrostatique (E_r) la force d'attraction moléculaire (E_a) et la force résultante (E) [31].

II .1.3.2. Théorie Double couche :

Pour expliquer la grande stabilité des colloïdes, on fera appel à la théorie de la double couche électrique [27]. Diverses théories expliquent ce phénomène :

1- théorie de Helmholtz : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée);

2- théorie de Gouy-Chapman : la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse);

3- jthéorie de Stern : qui combine les deux théories précédentes et considère la formation d'une double couche : la première formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant. Comme illustré sur la figure II.4, le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis diminue plus lentement à mesure que la distance augmente jusqu'à son annulation [32]. Un colloïde se caractérise par deux potentiels :

➤ **Le potentiel thermodynamique ou potentiel STERN :**

C'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 [12].

➤ **Le potentiel électrocinétique Zêta :**

La limite entre la couche de STERN et celle de GOUY, définit le plan de cisaillement [32]. Le potentiel électrostatique mesuré au plan de cisaillement est appelé potentiel Zêta [12]. En pratique, il est négatif, plus la charge de la particule s'intensifie (négativement). 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 [22].

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations [28].

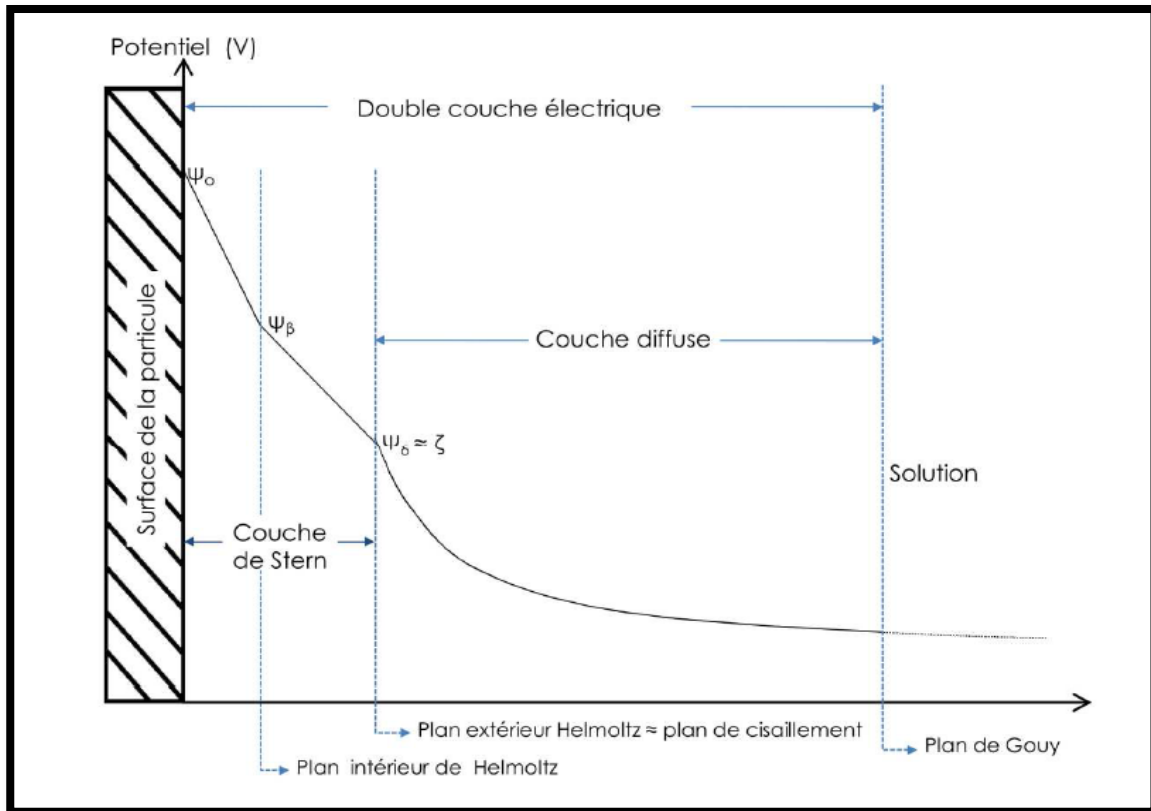


Figure II.4: Modèle de Stern-Gouy-Chapman, montrant l'arrangement ionique en double couche et l'évolution du potentiel électrique de la surface de la particule vers la solution [27].

II.2. La coagulation – floculation :

La coagulation-floculation permet, par un processus physico-chimique, de transformer la suspension colloïdale ainsi que la matière organique dissoute en des particules plus importantes aptes à sédimenter. L'efficacité de cette étape de traitement est liée au pH, au type et au dosage du coagulant ainsi qu'à la nature des particules et des matrices minérales et organiques [33].

II.2.1. La Coagulation:

II .2.1.1. Définition :

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par l'addition d'un réactif chimique, le coagulant, qui apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique. Ces cations sont attirés et adsorbés sur la couche de Stern. Le potentiel Zêta s'annule ou voisine le zéro avec la neutralisation de toutes les charges avoisinantes. Il faudra donc que le coagulant se disperse dans l'eau pour obtenir une

répartition homogène avant toute précipitation d'hydroxyde. Cela demande une forte agitation en temps courte ou, en d'autres termes, utiliser un gradient de vitesse très élevé [30].

II .2.1.2. Stratégie :

En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide des produits chimiques. La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et filtration [12]. Les essais de coagulation sont au préalable réalisés au Jar test à fin de déterminer la dose adéquate de coagulant [27].

II .2.1.3. Déstabilisation des particules colloïdales :

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leur agglomération :

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

Ces quatre mécanismes sont décrits brièvement ci-dessous [12].

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:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum^n C_n \cdot Z_n^2 \dots \dots \text{II.1}$$

μ = force ionique

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

Z_n = valence de l'ion n [28]

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 restabilisées [28].

C. Emprisonnement des particules dans un précipité :

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme le $Al_2(SO_4)_3$ ou le $FeCl_3$, sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive.

Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précipité formé, appelé floc, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation [28].

La figure II.5 ci-dessous résume bien ce mécanisme décrit:

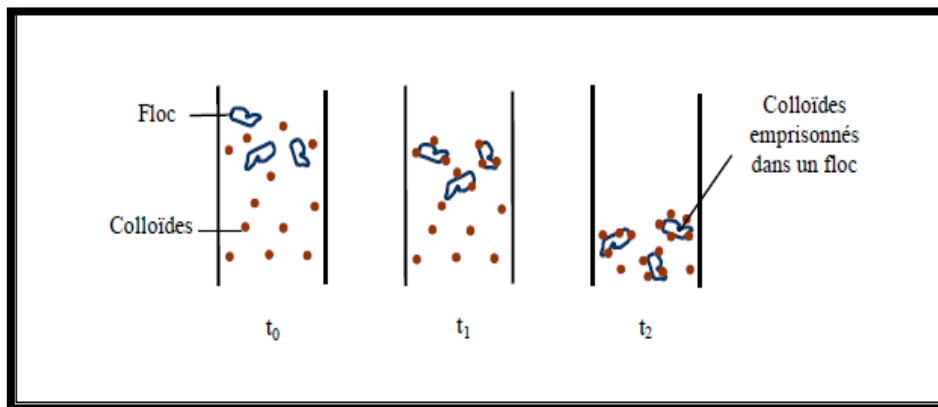


Figure II.6: Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation [30].

D. Adsorption et pontage entre les particules :

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, nonanioniques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde l'adsorbe à une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels. Les autres extrémités demeurent libres et peuvent adsorber un autre colloïde. Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par "pontage" des polymères. Par contre, une concentration de polymères trop élevée peut restabiliser les colloïdes. Les

polymères verront alors chacune de leurs extrémités être adsorbées par la même particule, d'où une restabilisation. La figure II.6 décrit le processus.

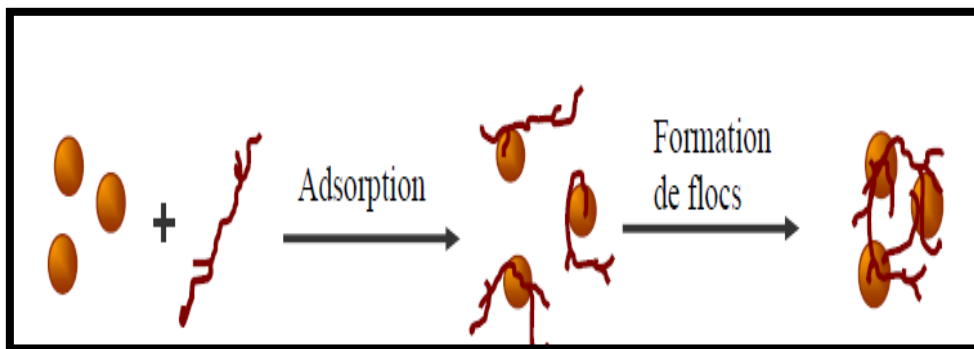


Figure II.7: Adsorption et pontage à l'aide de polymères [30].

II.2.1.4. Les Coagulants :

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau suivant [28] :

Tableau II.1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer [28].

| Sels d'aluminium | Formule chimique | Sels de fer | Formule chimique |
|----------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Sulfate d'aluminium | $Al_2(SO_4)_3$ | Sulfate ferrique | $Fe_2(SO_4)_3$ |
| Chlorure d'aluminium | $AlCl_3$ | Chlorure ferrique | Fe_2Cl_3 |
| Aluminate de sodium | $NaAlO_2$ | Sulfate ferreux | $FeSO_4$ |

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. On ne peut, néanmoins, négliger son prix et les effets secondaires comme les fuites en Fe^{+3} et Al^{+3} [8].

Les produits les plus utilisés sont les sels d'aluminium et de fer. Lorsque on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes, $Al(OH)_3$ ou $Fe(OH)_3$, insolubles [12].

❖ **Les sels d'aluminium :**

Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée très faible en turbidité. La vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre passe par le Jar test. Parmi les sels d'aluminium les plus utilisés en coagulation, on peut citer [17] :

• **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 [22].

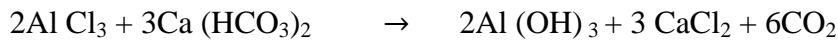
Son addition à l'eau en cours de traitement facilite l'enlèvement de la matière organique, permettant ainsi de réduire la turbidité et faciliter la désinfection de l'eau. De plus, il favorise la réduction de la couleur [17].

Tableau II.2: Sulfate d'aluminium et leur concentration [17].

| Nom | Formule | Quantité (g/m ³) | Remarques |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|--|
| Sulfate d'aluminium | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ | 10 à 150 pour les eaux de surface | Obtention d'une eau de très faible turbidité |
| | | 50 à 300 pour les eaux résiduaires | Poudre irritante, corrode les métaux ferreux |

• **Chlorure d'aluminium:**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40 g/m³. La formule de réactif commercial de chlorure d'aluminium est $AlCl_3 \cdot 6 H_2O$ [22].

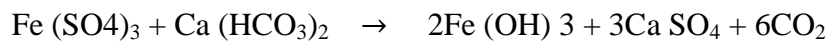


❖ **Les sels de fer :**

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 les conditions favorables [22] :

- **Sulfate ferrique :**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de coagulant sera comprise entre 10 et 50g/m³. [22]



- **Chlorure ferrique:**

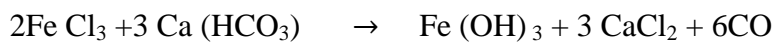


Tableau II.3: Sulfate d'aluminium et leur concentration [21].

| Nom | Formule | Quantité (g/m ³) | Remarques |
|-------------------|--|--|---|
| Chlorure ferrique | FeCl ₃ , 6 H ₂ O | 5 à 150 pour les eaux de surface 50 à 300 pour les eaux résiduaires | pour les eaux chargées en matière organique réactif acide, oxydant, corrosif, dissolution exothermique |

II .2.1.5. Les facteurs influençants dans la coagulation :

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation [34].

- **Influence de pH :**

Le pH est un des paramètres qui affecte le plus la coagulation-floculation. Son contrôle est donc suggéré. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant la meilleure coagulation. Ce pH se situe souvent dans la plage où la solubilité du coagulant utilisé est minimale, ce qui permet une meilleure précipitation. Le contrôle du pH permet aussi d'améliorer la coagulation lorsque la température de l'eau est faible [28] .

Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de pH optimales s'étendent respectivement de 4 à 6 et de 5 à 7. Pour certaines eaux, il faut parfois corriger le pH à l'aide de divers produits (acide, chaux ou soude). Pour abaisser le pH, il est plus avantageux, dans certains cas, d'augmenter la quantité de coagulant. Lorsque le pH est optimal, les produits solubles d'aluminium ou de fer sont pratiquement inexistantes [12].

- **Influence des sels dissous :**

Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation et la floculation :

- modification de la plage du pH optimale ;
- modification du temps requis pour la floculation ;
- modification de la quantité de coagulant requis ;
- modification de la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent [34].

- **Influence de la température de l'eau :**

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité ; c'est ce qui explique les difficultés de décantation du floc. On constate en outre que la plage de pH optimale se rétrécit. On peut surmonter de diverses manières les difficultés dues à une diminution de la température de l'eau :

- a. On effectue la coagulation dans les plages de pH optimale pour cette eau à cette température.
- b. On augmente la quantité de coagulant, ce qui pour effet d'accroître la probabilité de collisions entre les particules et d'élargir la plage de pH optimale.
- c. On augmente la turbidité de l'eau (par addition de glaise), afin d'alourdir le floc, ou on ajoute un aide-coagulant pour alourdir et renforcer le floc [34].

- **Influence de coagulant :**

Le choix du coagulant peut influencer les caractéristiques de la coagulation. Ainsi, même si l'alun 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 optimale plus large que celle due à l'alun. On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale, pour une eau donnée, qu'après avoir effectué des essais en laboratoire [34]. Enfin on ne peut choisir un coagulant qu'après avoir effectué des essais au laboratoire [35].

- **Influence de la technique de mélange et vitesse d'agitation :**

Pendant l'opération de coagulation floculation on procède au mélange des produits chimiques injectés dans l'eau à traiter. En premier lieu, le mélange est rapide et de courte durée (1 à 2 min), ce mélange a pour but de disperser les produits chimiques injectés dans la totalité du volume de l'effluent. En deuxième lieu, le mélange est lent, cela pour favoriser le contact entre les particules solides dispersées dans l'eau, cette phase dure pratiquement 10 à 15 mn à des vitesses moins énergétiques que la première [35].

- **Influence de la turbidité :**

La turbidité des eaux de surface est en grand partie due à la présence de particules de glaise dont le diamètre varie de 0,2 à 5 μm . Il s'agit donc là grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. La coagulation de ces particules est assez facile à réaliser lorsqu'on maintient le pH dans sa plage optimale [12].

- **Influence de la dose de coagulant :**

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte [22]. Une surdose du polymère produit inévitablement une restabilisation des particules colloïdales qui sont susceptibles de la charge de surface. Aussi les sites d'adsorption des particules colloïdales ne seraient plus disponibles pour la formation des ponts interparticulaires. Un traitement de coagulation mal ajusté peut donc conduire à une dégradation rapide de la qualité de l'eau et à des dépenses d'exploitation non justifiées.

Bien souvent, la dose de coagulant conditionne de fonctionnement des ouvrages de séparation et il se trouve tout simplement impossible de réaliser la clarification si cette dose est mal ajustée [32].

II .2.2. La floculation :

La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant. Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître la taille du floc, son volume, sa masse et sa cohésion [17].

II .2.2.1. Types de floculation : On distingue deux types de floculation :

- **Floculation péricinétique :**

Durant ce type de floculation, le mouvement brownien des particules est fonction de la température de l'eau. Lorsqu'elles entrent en contact, les particules ont tendance à s'agglutiner les unes aux autres. Le nombre total de particules varie donc selon l'équation suivante [28]:

$$\frac{dN}{dT} = -4 \frac{\Gamma \theta k N^2}{3\eta} \dots\dots \text{II.2}$$

Avec N = nombre de particules par m³

Γ = facteur tenant en compte l'efficacité des collisions

k = constante de Boltzmann (1,38 x 10⁻²³ J. k⁻¹)

θ = température (K)

η = viscosité dynamique de l'eau.

- **Floculation orthocinétique :**

Ce type de floculation est fonction de l'énergie dissipée dans le fluide. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules. La vitesse du fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par le gradient de vitesse, G. L'efficacité du processus est exprimée selon l'équation suivante lorsque le régime est turbulent [28].

$$\frac{dN}{dT} = -\frac{2}{3} \Gamma G d^3 N^2 \dots\dots \text{II.3}$$

Ou : G = gradient de vitesse (s⁻¹)

d = diamètre des particules (m) [28]

Le gradient de vitesse est défini selon l'équation (Camp et Stein, 1943) :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \dots\dots \text{II.4}$$

Avec : P = puissance réellement dissipée (W)

V = volume du bassin m³

μ = viscosité dynamique de l'eau (kg/m*s) [28]

II .2.2.2. Floculants :

Les floculants ou les adjuvants sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique [22].

II.3.Décantation :

En soumettant l'eau à un ralentissement important ou à un repos relatif suffisamment long, il est possible de la débarrasser d'une fraction substantielle de sa charge de matières en suspension. En supprimant la turbulence, on permet aux particules en suspension, plus lourdes que l'eau, de se sédimer. Cette opération est plus communément appelée : Décantation [31].

II.3.1. Définition:

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des MES et colloïdes floculées. Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur. Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Ces particules s'accablent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée [21].

II.3.2.Types de décantation :

II.3.2.1. Décantation des particules discrètes:

Ce type de décantation est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute [12].

II.3.2.2. Décantation de particules flocculantes :

Il est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (forme, dimension, densité et vitesse de chute) sont modifiées pendant le processus [12].

II.3.2.3. Décantation freinée :

Ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules, ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et, par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant [12].

II.3.2.4. Décantation en compression de boue :

Dans ce type de décantation, les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent [12].

II.3.3. Types de décanteur : Il existe deux types de décanteur :

II.3.3.1.Décanteur simple :

Les décanteurs classiques sont caractérisés par la surface de décantation égale la surface de base. Le décanteur le plus simple est constitué d'une cuve parallélépipédique munie d'une zone d'entrée et de deux zones de sortie (une pour la sur-verse et l'autre pour les boues) [21].

II.3.3.2. Décanteur lamellaire :

Les décanteurs dits lamellaires comportent souvent une série de lamelles qui permet de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal [21].

Pour qu'un décanteur lamellaire puisse être efficace, les particules à décanter doivent changer de morphologie au sein des lamelles en s'agglomérant, Pour qu'une fois sorties des lamelles,

elles ne soient pas réentraînées par le flux liquide et puissent s'écouler au fond du décanteur [21]. Trois types de décantation lamellaire sont possibles :

- **A contre-courant** : L'eau et la boue circulent en sens inverse (l'eau vers le haut et les boues vers le bas) [6].
- **A Co-courant** : L'eau et la boue circulent dans le même sens de haut vers le bas [6].

1. Entrée de l'eau floculée.
2. Zone de distribution.
3. Récupération de l'eau décantée.
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Evacuation des boues

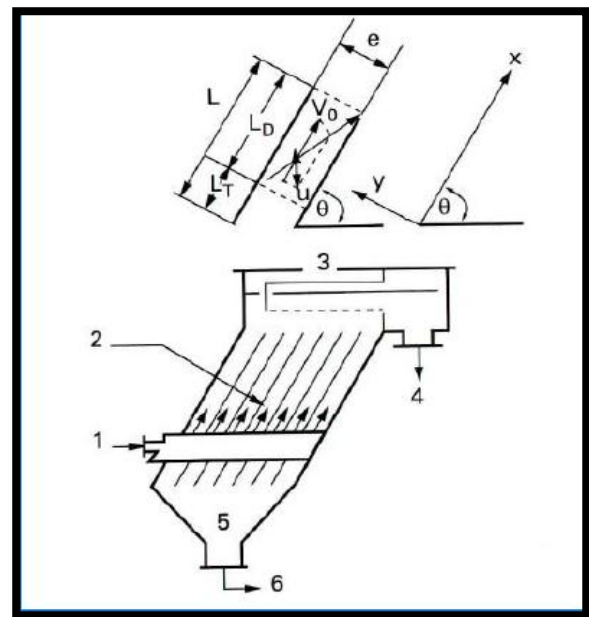


Figure II.8: Décanteur à contre courant [21].

1. Entrée de l'eau floculée.
2. Zone de distribution.
3. Récupération de l'eau décantée.
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Evacuation des boues.

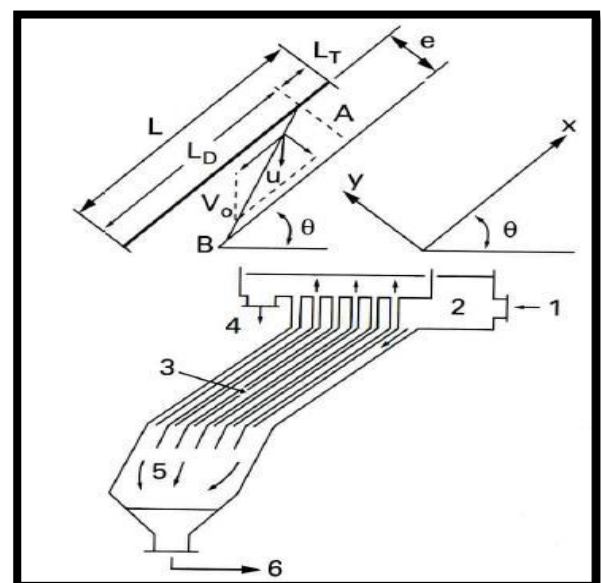
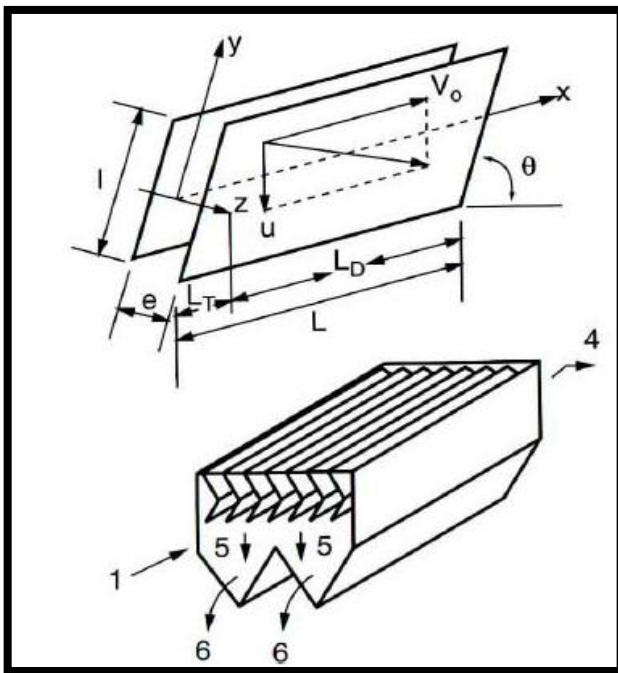


Figure II. 9: Décanteur à co-courant [21].

- **A courants-croisés** : L'eau et la boue circulent perpendiculairement l'un par rapport à l'autre (l'eau horizontalement et la boue du haut vers le bas) [6].



1. Entrée de l'eau floculée.
4. Sortie de l'eau décantée.
5. Fosse à boue.
6. Evacuation des boues.

Figure II.10 :Décanteur à courant croisé [21].

La décantation à contre courant permet l'organisation hydraulique la plus simple et la plus fiable. En revanche, la décantation à Co-courant se heurte à de grandes difficultés pour la reprise de l'eau traitée. Pour la décantation à courants croisés, l'équirépartition des flux hydrauliques est délicate [6].

- **Décanteurs à tubes** :

On trouve sur le marché deux types de décanteurs à tubes : ceux dont les tubes sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale (7°) et ceux dont les tubes sont fortement inclinés par rapport à l'horizontale (60°). Ces deux types de décanteurs sont habituellement constitués d'un empilement de tubes de section carrée de 5 cm de côté [21].

II.4. Conclusion :

kù

L'opération de coagulation floculation est essentielle dans l'étape de clarification des eaux de surface. Elle est utilisée pour séparer les matières en suspensions ainsi que les matières colloïdales dans l'eau. Cette méthode implique l'utilisation des coagulants cationiques. Elle est aussi très complexe car elle dépend de nombreux facteurs afin d'obtenir

une eau prête à être distribuée présentant un minimum d'aluminium, dissous et particulaire, et donc une faible turbidité.

CHAPITRE III :

PROCEDURE EXPERIMENTALE ET MATERIELS :

L'étude expérimentale de la coagulation-floculation a pour but de déterminer les concentrations optimales nécessaire à une réduction maximale de la turbidité d'une eau turbide.

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

Pour cette étude, tous les essais expérimentaux ont été opérés au laboratoire de département d'Hydraulique et département de Génie Civil de l'université de Tlemcen.

III.1. Caractérisation des coagulants et des particules solides utilisées :

Nous avons effectué une caractérisation des coagulants et des particules solides utilisées dans le cadre de cette étude, afin de bien comprendre leur influence sur la coagulation floculation.

III.1.1. Préparation des coagulants :

Nous avons effectué des séries d'essais de coagulation floculation : tout d'abord avec le sulfate d'aluminium, puis avec le chlorure ferrique pour pouvoir faire une comparaison entre les deux.

III. 1.1.1. Sulfate d'aluminium :

Le sulfate d'aluminium (Figure III.1) se présente sous forme de poudre blanche, qu'il est nécessaire de diluer avant utilisation. Les solutions de sulfate d'aluminium à 1 g/L sont préparées par dissolution des cristaux dans de l'eau distillée et bien agiter.

III.1.1.2. Le chlorure ferrique :

Le chlorure ferrique (Figure III.2) se présente sous forme de poudre noire, il est nécessaire aussi de la diluer juste avant son utilisation.



Figure III.1: Sulfate d'aluminium.



Figure III.2 : Le chlorure ferrique.

III.1.2. Type de particules solides et leurs Préparation:

Les particules solides étudiées ont été prélevées à deux endroits distincts : Les premières particules solides proviennent d'une terre végétale, tandis que les seconds sont issus du barrage Hammam Bouhrara (la vase). L'extraction est réalisée par raclage de la partie supérieure pour avoir les particules les plus fines.

A. Traitement des échantillons au laboratoire :

Les particules solides extraites ont subi un traitement au laboratoire. Elles sont séchées à l'étuve à une température de 101°C durant une nuit, en suite elles sont concassées dans un broyeur moyen et fin, puis tamisées pour obtenir la fraction fine (diamètre < 80 µm).



Figure III.3: La terre végétale.



Figure III.4 : La vase du barrage.

B. Détermination des caractéristiques des particules solides utilisées :

Nous avons effectué une caractérisation des échantillons à étudiés au laboratoire de Génie civil. Elle a consisté en l'étude de la structure, de la composition du matériau et de ses propriétés en solution :

- **Détermination de la matière organique MO :**

La méthode par calcination : elle consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température comprise entre 450 °C et 500 °C. La teneur en MO, est par définition le rapport de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon détruites par calcination sur la masse sèche des particules solides avant la calcination. La présence des matières organique influe sur les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau [37].

Afin de déterminer la teneur en MO des échantillons utilisés, on a mis 200 mg de chaque échantillon dans l'étuve à 500 °C durant une nuit.

Le tableau (III.1) montre les valeurs obtenues de la teneur en matière organique de deux sédiments étudiés.

Tableau III.1: La teneur en MO des deux particules solides.

| | Matière organique (mg) : | Matière minérale (mg) : | Teneur en MO (%) |
|----------------|-----------------------------|----------------------------|------------------|
| Terre végétale | 110 | 90 | 55 |
| La vase | 30 | 170 | 15 |

On constate que le pourcentage de MO de la terre végétale est plus important que celui de la vase.

- **Mesure de la densité des grains solides G_s :**

Cette mesure, utilise le principe du pycnomètre. Ce procédé consiste à peser un pycnomètre vide, puis rempli d'eau et d'une quantité mesurée de sol. On détermine la densité des grains formant les deux sols en utilisant l'équation suivante :

$$G_s = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2}$$

Avec : m_1 : masse du pycnomètre.

m_2 : masse du sol + masse du pycnomètre.

m_3 : masse du sol + masse du pycnomètre + eau distillée.

m_4 : masse du pycnomètre + eau distillée.

Tableau III.2 : La densité des particules solides étudiées.

| | | |
|------------|----------------|---------|
| | Terre végétale | La Vase |
| Densité Gs | 1.47 | 2.09 |

La densité de la vase est de l'ordre de 2.09 et celle de la terre végétale est égale à 1.47.

D. Détermination de la surface spécifique :

La surface spécifique d'un solide est définie comme étant sa surface par unité de masse, elle est exprimée en (m²/g) [35]. Elle est déterminée par la méthode de bleu de méthylène.

- **Méthode au bleu de méthylène :**

L'essai consiste à déterminer la surface spécifique d'échange d'un sol argileux en mesurant la quantité de colorant nécessaire pour recouvrir par une monocouche de bleu de méthylène la surface totale, externe et interne, de toutes les particules argileuses présentes dans la solution à étudier [38]. On peut calculer cette « valeur au bleu VB » par la formule :

$$VB = \frac{Vb}{Ms} \dots\dots\dots III.1$$

Avec : Vb : le volume total de bleu utilisé en ml

Ms : la masse sèche de fines de sol utilisé pour l'essai = 10g

La surface spécifique se calcule par la formule :

$$S_s = 24,5.VB \dots\dots III.2$$

Pour les interprétations des valeurs au bleu de méthylène, quand :

- $VB < 0,1$ Sol insensible à l'eau
- $VB = 0,2$ Apparition de la sensibilité à l'eau
- $VB = 1,5$ Seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux
- $VB = 2,5$ Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
- $VB = 6$ Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
- $VB = 8$ Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux [38].

Les résultats obtenus lors de nos essais sont résumés dans le Tableau suivant :

Tableau III.3: Résultats des essais au bleu de méthylène.

| Ms (g) | Vb (ml) | VB | Surface spécifique totale (m ² /g) |
|-------------------|---------|------|---|
| La terre végétale | 55 | 5.5 | 134.75 |
| La vase | 32.5 | 3.25 | 79.625 |

Par comparaison des valeurs des surfaces spécifiques de la vase et de la terre végétale, on remarque que la terre végétale développe une surface spécifique plus grande que celle de la vase.

C. Préparation des solutions mères :

Afin d'obtenir des échantillons homogènes et de faciliter la préparation des suspensions colloïdales, nous avons procédé à la préparation dans un premier temps de suspensions mères concentrées (50g/l). Cela nous permet de stocker de faibles volumes de suspensions, qui par la suite nous permettront de reconstituer des lots homogènes de suspension échantillons diluées pour les essais. A l'aide d'un agitateur, les suspensions de diamètre $< 80 \mu\text{m}$ et l'eau de robinet sont homogénéisés sous agitation rapide pendant 1heure avant chaque utilisation. Un volume de la suspension concentrée est prélevé et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées à savoir : 1g/l ,0.5g/l ,0.2g/l.

III.2. Description des bancs d'essais et mode opératoire des et appareils utilisés :

III.2.1: Pilote de coagulation-floculation-décantation TE600 :

Le pilote de coagulation floculation-décantation permet d'étudier deux types de traitements séparément ou bien simultanément.

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

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

Le floculant est également stocké dans un bac spécifique (4) puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une seconde pompe péristaltique.

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente par un agitateur à hélice (6) à vitesse variable. Le produit de la réaction est soutiré par sur verse (7) puis alimenté dans le décanteur statique (8) muni de lamelles orientables (9).

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

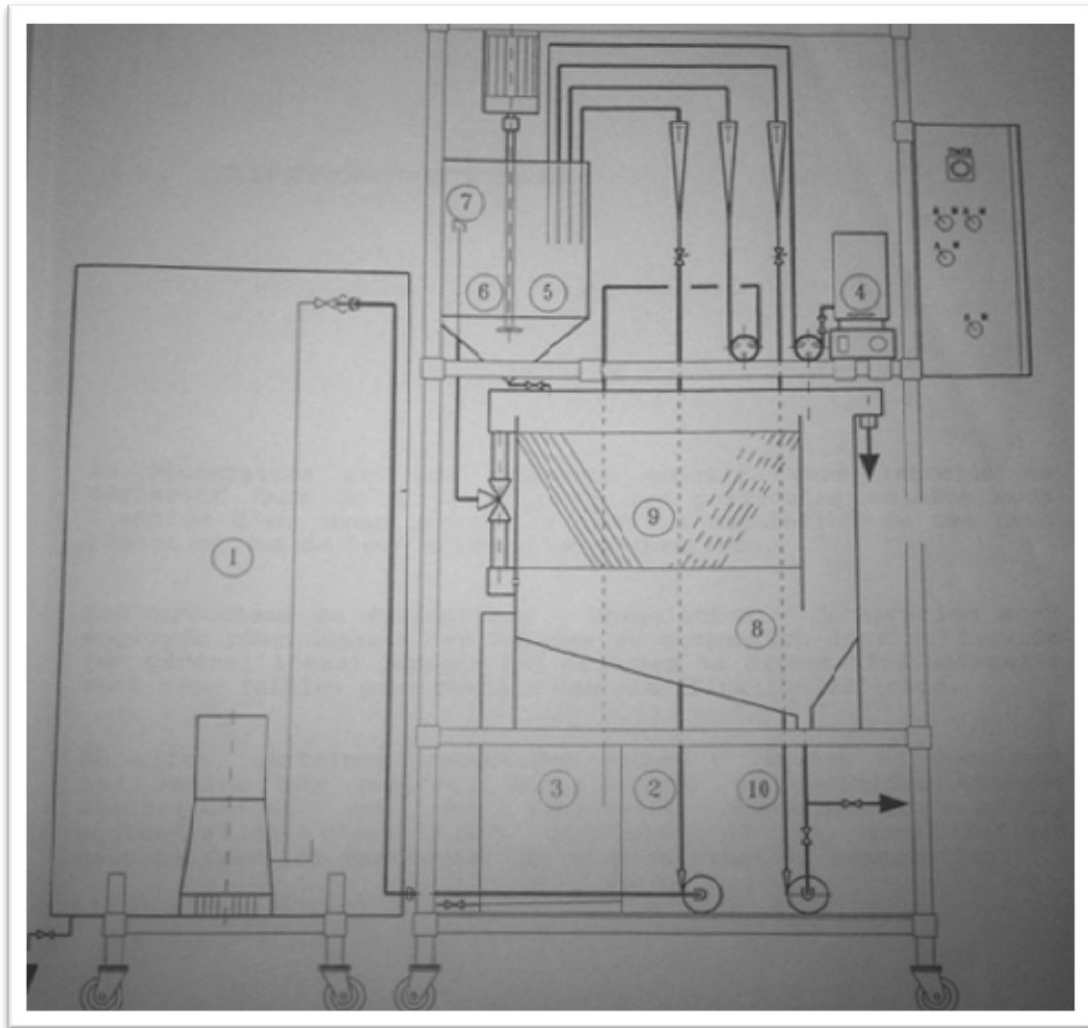


Figure III.5: Pilote de coagulation floculation décantation [39].

III. 2.1.1. Liste des vannes :

- VA1 : vanne manuelle bac d'alimentation
- VA2 : vanne manuelle recyclage boues

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

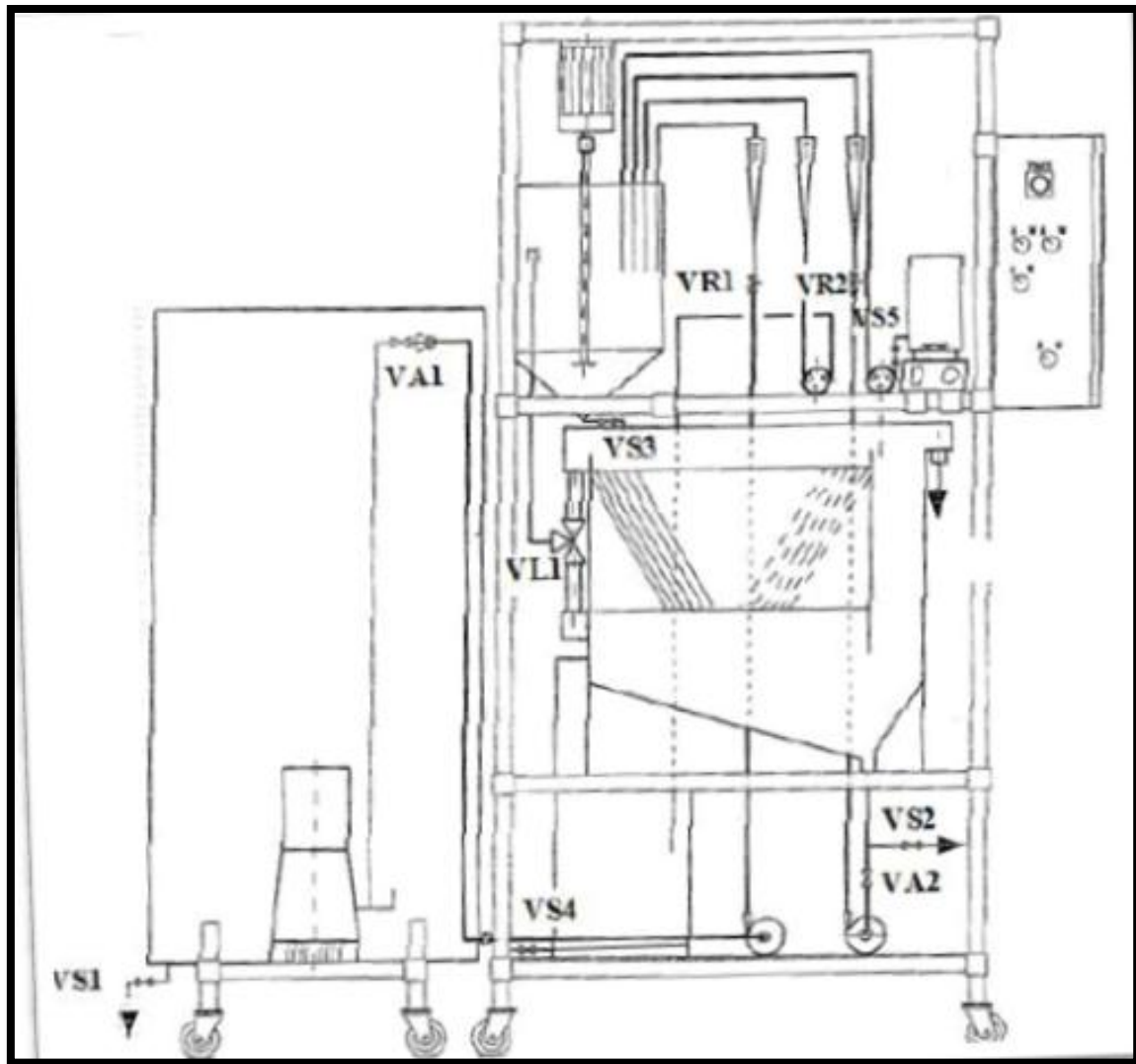


Figure III. 6: Listes des vannes [39].

III.2.2. Jar test :

L'utilisation de Jar test remonte à plusieurs décennies, Les avantages du Jar test sont importants; en voici quelques-uns :

- Déterminer les doses optimales de produits chimiques (coagulants et aides-coagulants), prédire la qualité de l'eau décantée.
- Déterminer le pH optimal de coagulation.
- Déterminer la solidité des floccs formés.
- Déterminer les intensités de mélange optimal [28].

Le Jar Test que nous avons utilisé, est de marque (Floculateur 11197). Cet appareil permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de béciers remplis chacun de 1 litre d'eau et leur vitesse de rotation peut varier de (0 à 200 tr/min).

Afin de se rapprocher au maximum des situations rencontrées en station, des suspensions de trois concentrations différentes (0.2g/l, 0.5g/l et 1g/l) ont été coagulées.



Figure III.7 : Jar test. Laboratoire d'Hydraulique. Université de Tlemcen.

III.2.3 : Appareils et méthode de mesure :

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

III.2.3.1. Mesure de la 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 [4].

Tableau III.4: Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau [40].

| Turbidité NTU | Qualité de l'eau |
|---------------|------------------------|
| NTU <5 | Eau incolore |
| 5 <NTU <30 | Eau légèrement trouble |
| NTU > 50 | Eau trouble |

La turbidité se mesure par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau. La valeur de la turbidité est obtenue par un test optique, qui détermine la capacité de réflexion de la lumière (l'unité de mesure est le « NTU » - unités néphéométriques) [41]. Nous avons mesuré la turbidité par deux appareils qui sont:

A. Spectrophotomètre :

Un spectrophotomètre est un appareil qui mesure l'absorbance A_λ d'une solution colorée, pour une longueur d'onde λ donnée. L'absorbance est une grandeur logarithmique :

$$A_\lambda = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \dots\dots IV.1$$

Avec :

I_0 : Intensité de Lumière incidente à λ fixée.

I : Intensité de Lumière transmise à λ fixée [42].

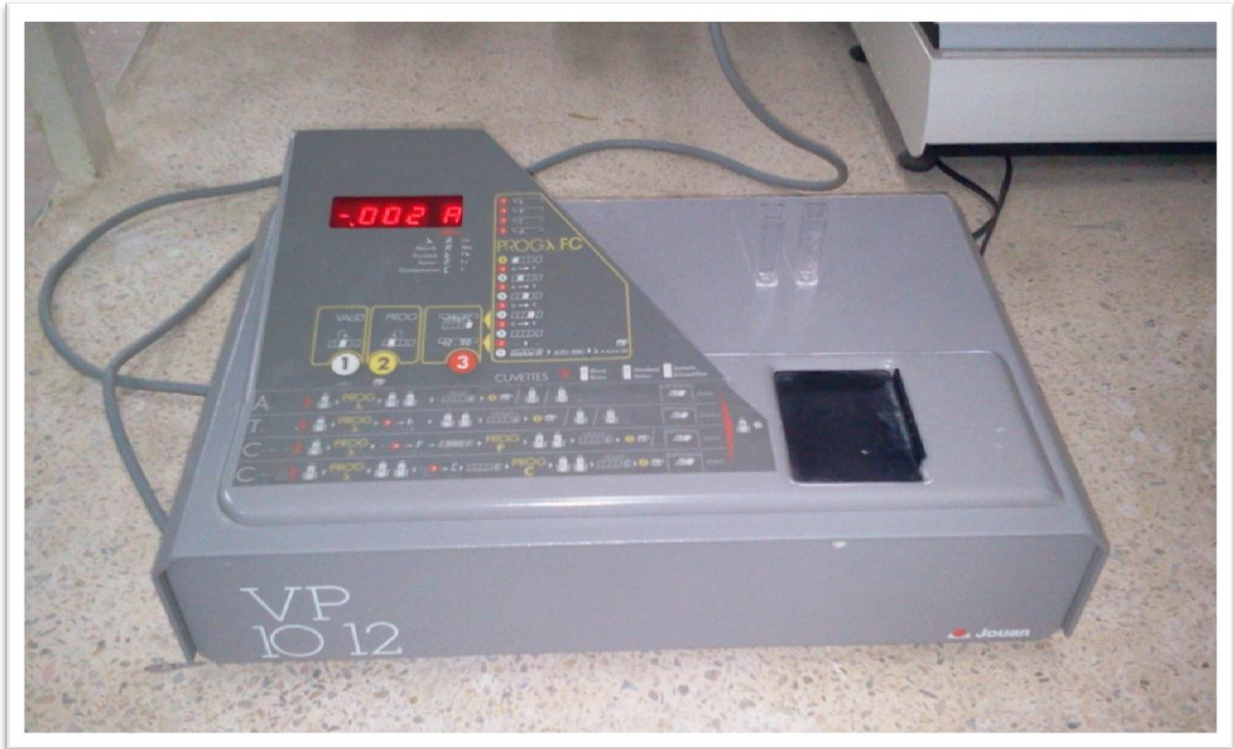


Figure III. 8: Le Spectrophotomètre. Laboratoire d'Hydraulique. Université de Tlemcen.

➤ **Détermination de la courbe d'étalonnage :**

Les courbes d'étalonnage exprimant la variation de la turbidité en fonction des concentrations en matières solide [35].

D'après [22], qui a mesuré l'absorbance, de plusieurs suspensions de concentrations en particules solides variables, pour une gamme de longueur d'ondes (λ) allant de 434 nm à 720 nm. Il a déduit que la longueur d'onde $\lambda=720$ nm est la plus adéquate pour la mesure de la turbidité.

Pour tracer la courbe d'étalonnage (Figure III.9), nous avons déterminé les valeurs de l'absorbance correspond aux différentes concentrations des solutions étalons. Ces mesures sont réalisées sur un spectrophotomètre (Figure III.8), avec une longueur d'onde de 720 nm, puis représentés graphiquement pour obtenir l'équation de la courbe d'étalonnage.

La figure suivante illustre la variation de La turbidité en fonction d'absorbance, ce graphe montre une bonne linéarité entre la turbidité et l'absorbance.

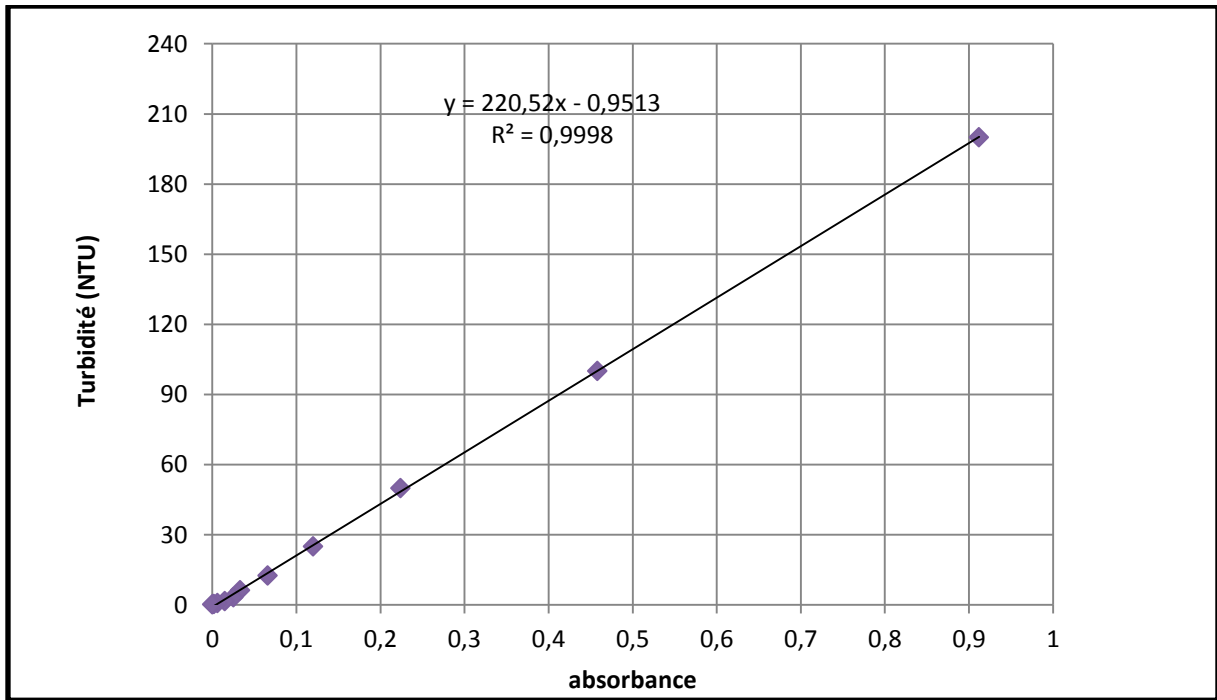


Figure III.9: Courbe d'étalonnage de la turbidité.

B. Turbidimètre :

Le turbidimètre permet de mesurer la quantité de lumière diffusée à angle droit par un faisceau lumineux traversant l'échantillon. Les résultats sont directement exprimés en NTU par affichage à cristaux liquides [15].



Figure III.10: Turbidimètre de Laboratoire d'Hydraulique. Université de Tlemcen.

III.2.3.2. Mesure de PH :

Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. La détermination du pH est donc la mesure que l'on doit effectuer le plus fréquemment. Pour mesurer le pH, on a utilisé un pH mètre (figure III.11) [4].

Tableau III.5: Classification des eaux d'après leur pH [32].

| | |
|---------------------------|---|
| pH < 5 | Acidité fort => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles |
| pH =7 | pH neutre |
| 7 < pH < 8 | Neutralité approchée => majorité des eaux de surface |
| 5.5 < pH < 8 | Majorité des eaux souterraines |
| pH=8 | Alcalinité forte, évaporation intense. |



Figure III.11: pH mètre de type HANNA.

III.2.4. Autres appareils :

Nous avons utilisé d'autres ustensiles pendant les manipulations, dont l'essentiel est représenté dans les figures suivantes :



Figure III.12 : La Pipette.



Figure III.13 : Les éprouvettes (50,250 ml)



Figure III.14: Les béchers(50,800 ml)



Figure III.15: Fiole jaugée (250 ml)



Figure III.16 : Balance électrique.

III.3: Protocole expérimental :

III.3.1. Mode opératoire en Jar-test :

Afin de poursuivre le phénomène de la coagulation-floculation et l'optimisation des paramètres qui l'influent (dose optimale de coagulant, la vitesse et le temps d'agitation, le pH de coagulation et la concentration en particules solide.), Nous avons effectué des séries d'essais sur Jar test en laboratoire : Tout d'abord avec les particules solides extraites de terre végétale, puis avec la vase de Barrage Hammam Boughrara en utilisant deux coagulants différents, le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique.

III.3.1.1. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation**rapide:**

- Remplir les béchers avec un mélange (eau + les particules solides) en prélevant un volume de la suspension concentrée et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées, ces béchers doivent contenir des volumes identiques de 1 litre.
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau (exactement au milieu de la solution), mettre en route le moteur et régler à la vitesse d'agitation maximale environ de 200 tr/min pour homogénéiser les solutions
- Mettre en route les agitateurs à une vitesse rapide égale à (120,150, 200 tr/min).
- A chaque vitesse on varie, d'une façon croissante, la durée d'agitation (1.2, 3 min) ;
- Ajouter les doses fixes de coagulant dans les quartes béchers.
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min.
- Après 10 minutes d'agitation lente, on voit apparaitre de petits floccs.
- On éteint l'appareil de jar-test et on relève lentement les hélices, et on laisse décanter pendant 25 minutes.
- Pour évaluer la performance du traitement, un échantillon de 50 ml de surnageant est prélevé avec une pipette dans chaque bécher, sans perturbation de liquide, pour l'analyse.

III .3.1.2. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation lente:

- Remplir les béchers avec un mélange (eau + les particules solides) en prélevant un volume de la suspension concentrée et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées, ces béchers doivent contenir des volumes identiques de 1 litre ;
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau (exactement au milieu de la solution), mettre en route le moteur et régler à la vitesse d'agitation maximale environ de 200 tr/min pour homogénéiser les solutions ;
- Le temps et la vitesse d'agitation rapide est fixé aux valeurs optimales obtenues lors des essais précédents ;

- Au temps 0 min, ajouter des doses fixes de coagulant le plus rapidement possible de façon identique dans chaque bécher ;
- Fixer l'agitateur mécanique à une vitesse correspondante de (10; 15 ; 30 et 45 tr/min);
- varier le temps d'agitation lente (5 ; 10 ; 15 et 20 min) pour chaque vitesse;
- On éteint l'appareil de Jar test et on relève lentement les hélices, et on laisse décanter pendant 30 minutes ;
- Pour évaluer la performance du traitement, un échantillon de 50 ml de surnageant est prélevé avec une pipette dans chaque bécher, sans perturbation de liquide, pour analyse.

III .3.1.3.Mode opératoire de l'influence de pH sur la coagulation floculation :

- Remplir les béchers avec un mélange (eau + les particules solides) en prélevant un volume de la suspension concentrée et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées, ces béchers doivent contenir des volumes identiques de 1 litre.
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau (exactement au milieu de la solution), mettre en route le moteur et régler à la vitesse d'agitation maximale environ de 200 tr/min pour homogénéiser les solutions.
- Avant le début d'un essai, s'assurer que les coagulants sont et placés dans des petits béchers;
- Mettre en route les agitateurs à une vitesse rapide égale à La vitesse optimale;
- Au temps 0 min, ajouter des doses fixes le plus rapidement possible de façon identique dans chaque bécher. .
- Ajustez le pH afin d'obtenir un pH de coagulation précis. Selon les besoins, nous avons utilisé de l'acide sulfurique HCl pour baisser le pH ou de l'hydroxyde de sodium (NaOH) pour l'augmenter.
- Fixer la vitesse et le temps d'agitation rapide et lente aux valeurs optimisées précédemment pour chaque coagulant.
- On éteint l'appareil de jar-test et on relève lentement les hélices, et on laisse décanter pendant 30 minutes.

- Ajoutez des doses de coagulant au niveau de chaque bécher le plus vite possible.
- Pour évaluer la performance du traitement, un échantillon de 50 ml de surnageant est prélevé avec une pipette dans chaque bécher, sans perturbation de liquide, pour l'analyse.

III.3.1.4. Mode opératoire de l'influence de la concentration de la solution du coagulant :

- Remplir les béchers avec un mélange (eau + les particules solides) en prélevant un volume de la suspension concentrée et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées, ces béchers doivent contenir des volumes identiques de 1 litre.
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau (exactement au milieu de la solution), mettre en route le moteur et régler à la vitesse d'agitation maximale environ de 200 tr/min pour homogénéiser les solutions.
- Avant le début d'un essai, s'assurer que les coagulants sont et placés dans des petits béchers;
- Ajuster le pH au pH optimal.
- Mettre en route les agitateurs à une vitesse rapide égale à La vitesse optimale;
- Au temps 0 min, ajouter des doses fixes de coagulant de différente concentration, le plus rapidement possible de façon identique dans chaque bécher.
- Fixer la vitesse et le temps d'agitation rapide et lente aux valeurs optimisées précédemment pour chaque coagulant.
- On éteint l'appareil de jar-test et on relève lentement les hélices, et on laisse décanter pendant 30 minutes.
- Ajoutez des doses de coagulant au niveau de chaque bécher le plus vite possible.
- Pour évaluer la performance du traitement, un échantillon de 50 ml de surnageant est prélevé avec une pipette dans chaque bécher, sans perturbation de liquide, pour l'analyse

III .3.1.5. Mode opératoire de l'influence de la dose de coagulant :

- Remplir les béchers avec notre échantillon (eau + les particules solides) en prélevant un volume de la suspension concentrée et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées, ces béchers doivent contenir des volumes identiques de 1 litre.
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau (exactement au milieu de la solution), mettre en route le moteur et régler à la vitesse d'agitation maximale environ de 200 tr/min pour homogénéiser les solutions.
- Avant le début d'essai, s'assurer que les coagulants sont placés dans des petits béchers;
- Mettre en route les agitateurs à la vitesse rapide optimale ;
- Au temps 0 min, ajouter le coagulant le plus rapidement possible de façon identique dans chaque bécher. Les doses soumissent de façon croissante.
- Puis après un temps optimal d'agitation rapide
- , réduire la vitesse de façon à obtenir une vitesse plus réduite (vitesse optimale d'agitation lente).
- On éteint l'appareil de jar-test et on relève lentement les hélices, et on laisse décanter pendant 30 minutes.
- Pour évaluer la performance du traitement, un échantillon de 50 ml de surnageant est prélevé avec une pipette dans chaque bécher, sans perturbation de liquide, pour l'analyse.

III .3.1.6. Mode opératoire de l'influence de concentration des particules solides sur la coagulation flocculation :

- Remplir les béchers avec notre échantillon (eau + les particules solides) en prélevant un volume de la suspension concentrée et dilué dans l'eau afin d'obtenir les concentrations désirées à savoir : 0.2 g/l, 0.5 g/l, 1 g/l, ces béchers doivent contenir des volumes identiques de 1 litre ;
- A l'aide d'essai en Jar-Test, trouver la dose optimale de chaque solution par la mesure de la turbidité.

III.3.2. Mode opératoire de coagulation floculation décantation sur le pilote TE600 :

Le mode opératoire de coagulation floculation et décantation à contre courant impose les étapes suivantes :

- Remplir le bac d'alimentation avec un volume d'eau propre.
- Mettre en marche la pompe de bac d'alimentation par son bouton ARRET/MARCHE sur la position MARCHE.
- Verser les particules solides dans le bac d'alimentation.
- Remplir le bac d'alimentation avec de l'eau de robinet jusqu'au volume désiré.
- Positionner la vanne de distribution du décanteur VL1 de manière à alimenter celui-ci par le bas.
- Positionner les plaques (lamelles) du décanteur de telle manière que leur tige support soit introduite dans les rainures de la partie supérieure du décanteur.
- Orienter les plaques du décanteur lamellaire avec leur tige support supérieur vers la droite du décanteur et leur base inférieure reposant sur les supports inférieurs latéraux du décanteur vers la gauche.
- Positionner la plaque de sortie contre-courant (horizontale) sur le décanteur de manière à empêcher le passage direct du fluide de l'entrée du décanteur vers la sortie de l'eau clarifiée sans passer par les plaques.
- Remplir le bac de coagulant par le coagulant.
- Noter (turbidité, température, pH) de départ.
- Mettre en route l'agitation du réacteur par lequel vas passer la suspension d'alimentation.
- Mettre en marche la pompe d'alimentation de la suspension et régler le débit d'alimentation de la suspension et la vitesse d'agitation du réacteur.
- Lorsque le réacteur est plein, la suspension déborde et alimente le décanteur, on déclenche le chronomètre à cet instant.
- Lorsque le décanteur est plein, le décanteur, le liquide clarifié déborde par la surverse latérale, prenez des échantillons tous les quart d'heure et les analyser.

III.3.2.1. Préparation de l'effluent à traiter :

Pour ce faire, nous avons choisi de travailler avec la décantation lamellaire à contre courant. Nous avons réglé le débit d'alimentation de la suspension à un débit fixe de 100 l/h ; puis 50 l/h.

❖ Calcul pour le bac d'alimentation :

- Calcul de masses de particules solides en grammes : les concentrations des particules solides dans la cuve d'un volume de 250 L doivent être les suivants : 0.2g/l et 1 g/l :
 - Pour une concentration de 0.2 g/l, il faut verser 50 g de particules solides.
 - Pour une concentration de 1 g/l, il faut verser 250 g de particules solides.

❖ Calcul pour le bac de coagulant :

Dans cette manipulation, on a utilisé deux types de particules solides (vase et terre végétale) et 2 coagulants (sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique). La concentration de sulfate d'aluminium est de 1 g/l et celle de chlorure ferrique est de 0.5 g/l

On applique la relation suivante pour le calcul de débit de dosage de coagulant ainsi que leur volume, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau (III.6) :

$$Q_a * C_{opt} = Q_c * C_c \dots\dots\dots III.2$$

Avec : Q_a : le débit d'eau à traiter (débit d'alimentation) =100 L

C_{opt} : la concentration optimale du coagulant= 0,025 g/l

Q_c : le débit de la pompe du coagulant = 2.5 l/h

C_c : la concentration du coagulant =1 g/l,

Q_c se calcule de la manière suivante :

$$Q_c = \frac{Q_a.C_{opt}}{C_c} \dots\dots\dots III.3$$

b. Calcul de la masse de coagulant :

La masse M_c (g) du sulfate d'aluminium nécessaire à verser dans le réacteur est :

$$M_c = V_e \cdot C_{opt} \dots \dots \dots \text{III. 4}$$

Avec : V_e = volume d'eau à traiter pour la manipulation (250 L)

Alors :

$$M_c = 250 \cdot 0,025$$

$$M_c = 6.25 \text{ g}$$

C. Calcul de volume de coagulant :

Le volume de solution à préparer (eau+ sulfate d'alumine) est calculé par l'équation suivante :

$$V_c = \frac{M_c}{C_c} \dots \dots \dots \text{III. 5}$$

Alors :

$$V_c = 6.25 \text{ g} / 1 \text{ g/L}$$

$$V_c = 6.25 \text{ L.}$$

Donc, le volume total de la solution de sulfate d'aluminium de 1 g/L de concentration nécessaire pour faire une manipulation est égal à 6.25 litres.

III.6. Les débits théoriques de dosage de sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique.

| Débit d'alimentation (l/h) | 100 | | | | 50 | | | |
|--|----------------|-----|------|---|----------------|-----|------|-----|
| Type de particules solides | Terre végétale | | Vase | | Terre végétale | | Vase | |
| Concentration (g/l) | 0.2 | 1 | 0.2 | 1 | 0.2 | 1 | 0.2 | 1 |
| Débit théorique de sulfate d'aluminium (l/h) | 2.5 | 4.8 | 1.4 | 3 | 1.25 | 2.4 | 1 | 1.5 |
| Débit théorique de chlorure ferrique (l/h) | 2 | 5.6 | 1.5 | 4 | 1 | 2.8 | 0.75 | 2 |

CHAPITRE IV :**RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS :**

L'objectif de cette partie expérimentale est de mettre en évidence l'influence de la nature et les propriétés des particules et les conditions opératoires sur l'efficacité de la coagulation -floculation. Comme il a été signalé dans le chapitre précédent les particules solides utilisées dans notre étude sont de deux origine ; une terre végétale de la région du Ghazaouet et une vase de barrage de Hammam Boughrara. Ce choix des deux origines a été motivé par le fait que :

- ✓ La terre végétale est la plus vulnérable à l'érosion et transport solide donc elle se retrouve facilement dans la retenue de barrage ou dans une prise d'eau et par la suite elle arrive à la station de traitement des eaux de surface.
- ✓ La vase du barrage est déjà dans la retenue elle rejoint la station de traitement en suspension dans l'eau.

Pour déterminer l'efficacité du processus de coagulation-floculation et décantation, plusieurs essais ont été effectués sur jar test et le pilote TE600 avec une décantation contre-courant, en utilisant deux coagulants : Le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique.

Afin de suivre le rendement de processus étudié, on a effectué des mesures de la turbidité pour chaque essai.

IV .1. Caractéristiques de solutions utilisées :

On a mesuré la turbidité initiale correspondante aux différentes concentrations de suspensions utilisées, en utilisant le spectrophotomètre (Figure IV.8) et la courbe d'étalonnage (Figure IV.9)

Les résultats obtenus sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 : variation de la turbidité des solutions en fonction de la concentration en particules solides.

| Concentration (g/l) | La vase (NTU) | Terre végétale (NTU) |
|---------------------|---------------|----------------------|
| 0.2 | 32,78 | 51,53 |
| 0.5 | 60,35 | 112,61 |
| 1 | 117,47 | 155,17 |

IV.2. Résultats expérimentaux d'application de la coagulation floculation-décantation sur Jar-test :

IV .2.1. L'influence la vitesse et de temps d'agitation :

La coagulation demande une vitesse d'agitation rapide afin que le coagulant et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent, alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes sans détruire les floes déjà formés.

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

a. La vitesse d'agitation rapide :

Nous avons suivi l'évolution d'élimination de la turbidité en fonction du la variation de vitesse d'agitation rapide pendant une durée de 2 minutes.

Les tableaux (IV.2 ; IV.3) et les graphes (IV.1 ; IV.2) ci-dessous montrent les résultats obtenues.

Tableau IV.2: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.

| Bécher (1L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | Dose de SA (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 120 | 2 | 30 | 10 | 16 | 7,42 | 12,05 |
| 2 | 150 | | | | 16 | 6,32 | 7,2 |
| 3 | 200 | | | | 16 | 1,69 | 3,47 |

Tableau IV.3: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique.

| Bécher (1L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | Dose de CF (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 120 | 2 | 30 | 10 | 15 | 15,49 | 8,22 |
| 2 | 150 | | | | 15 | 8,77 | 6,16 |
| 3 | 200 | | | | 15 | 5,3 | 3,36 |

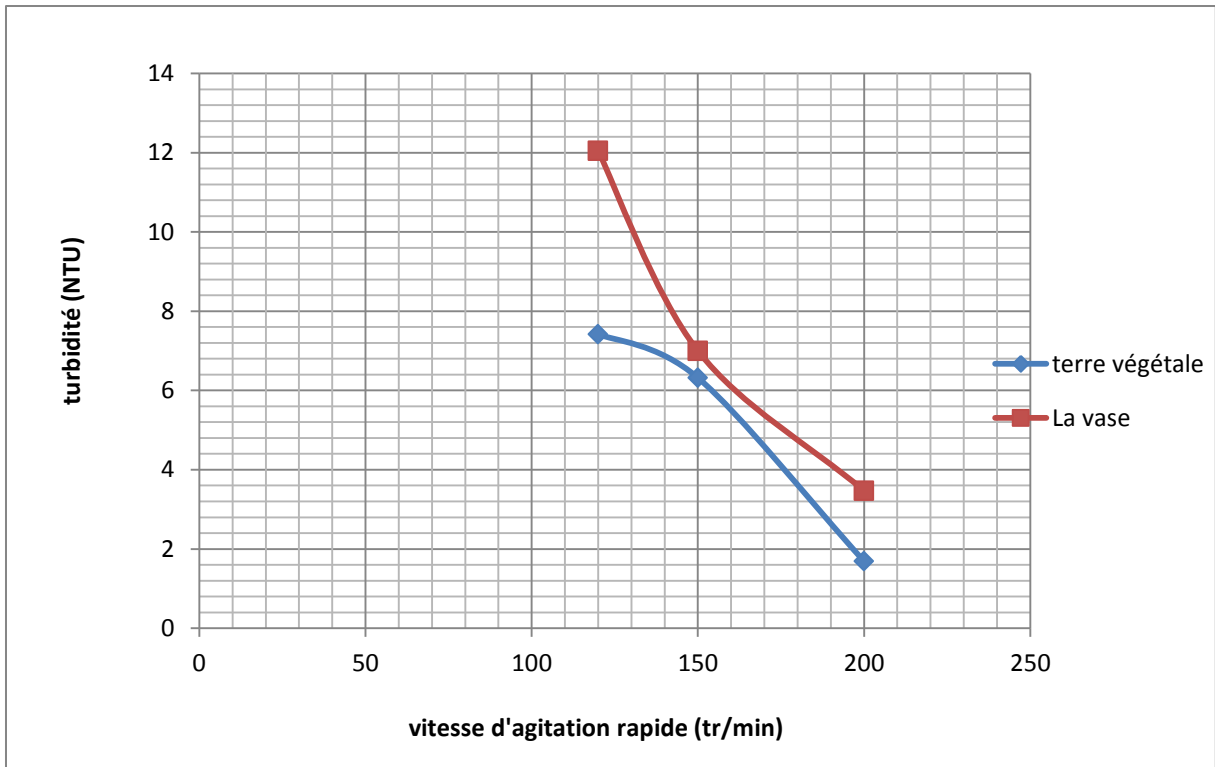


Figure IV.1: Influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium.

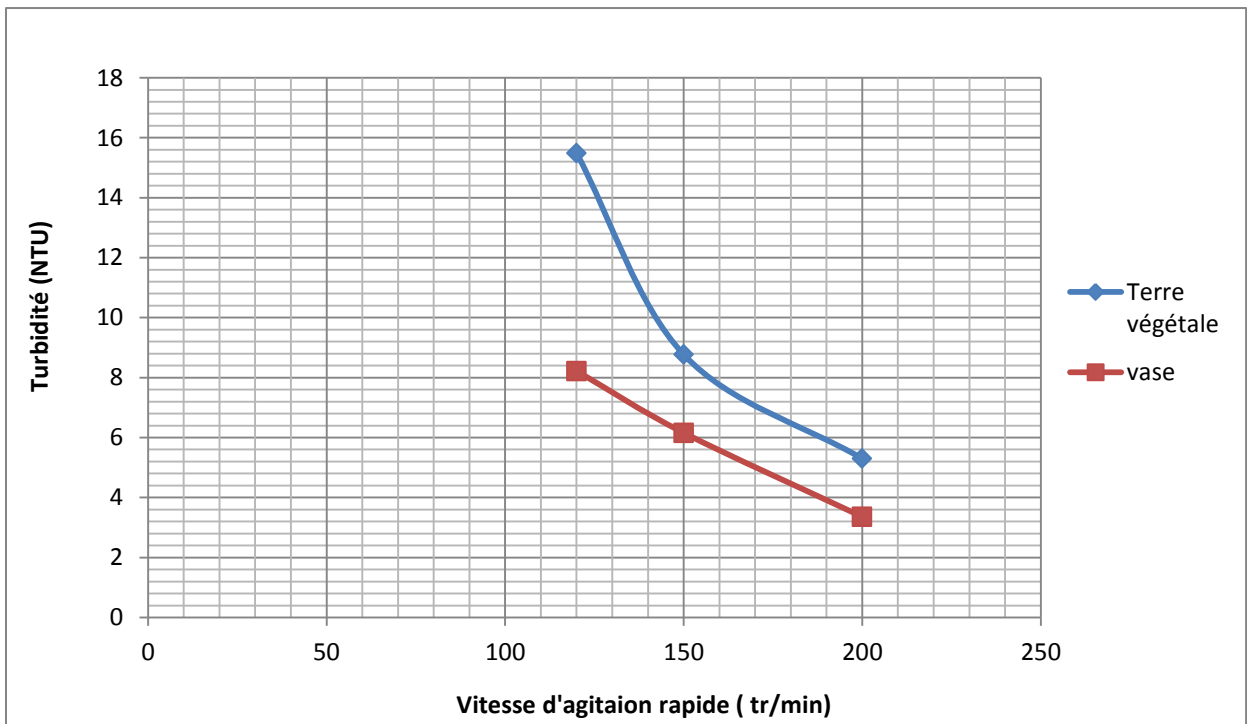


Figure IV.2: Influence de la vitesse d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique

b. Temps d'agitation rapide (de coagulation):

Une agitation rapide au cours de laquelle le réactif coagulant est introduit et dispersé. La vitesse de coagulation est de 200 tr/min. Les temps indiqués varient toutefois de 1,2 à 3 minutes. Les résultats obtenus sont mentionnés dans les tableaux IV.4 et IV.5 et les graphes IV.3 et IV.4.

Tableau IV.4: Résultat d'influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium.

| Bécher (1L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | Dose de SA (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 200 | 1 | 30 | 10 | 16 | 5.88 | 4.12 |
| 2 | | 2 | | | 16 | 1.47 | 1.25 |
| 3 | | 3 | | | 16 | 8.31 | 7.2 |

Tableau IV.5: Résultat d'influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique.

| Bécher (1L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | Dose de CF (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 200 | 1 | 30 | 10 | 15 | 5,06 | 4,3 |
| 2 | | 2 | | | 15 | 6,81 | 6,71 |
| 3 | | 3 | | | 15 | 8,26 | 7,09 |

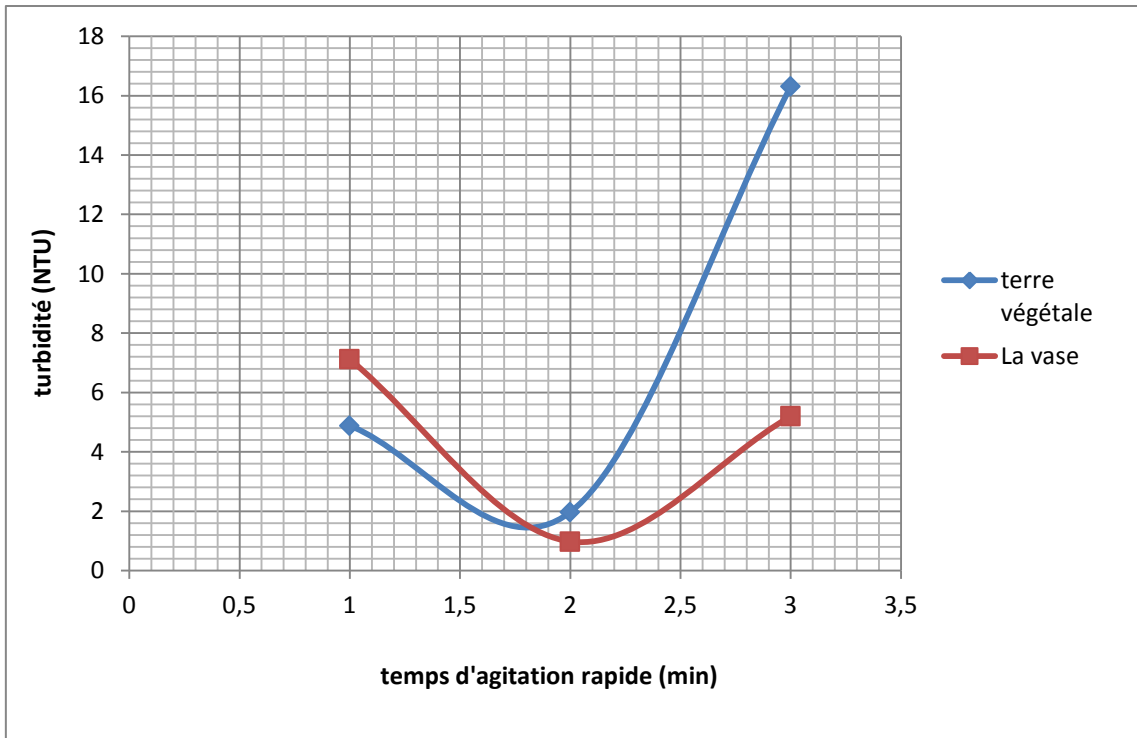


Figure IV.3: Influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium

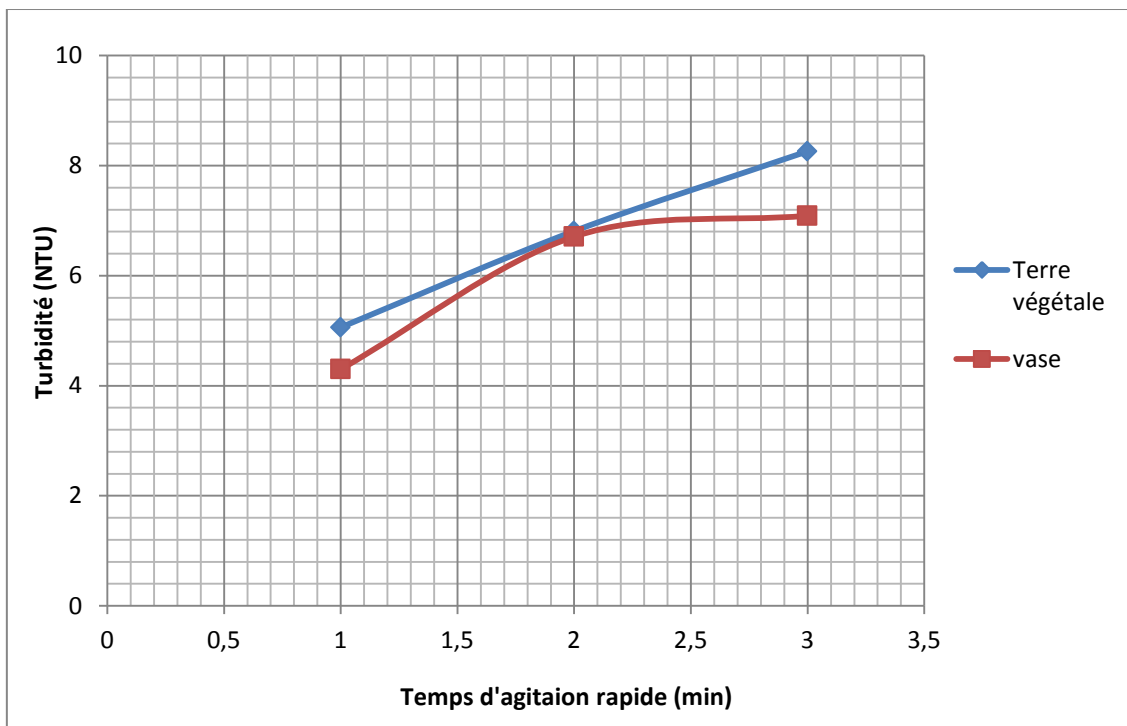


Figure IV.4: Influence de temps d'agitation rapide sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique.

✚ Interprétation des résultats :

La coagulation nécessite un mélange rapide et un temps très court, pour bien disperser les additifs dans la totalité de volume d'eau à traiter et déstabiliser les colloïdes.

- Pour le sulfate d'aluminium et pour les deux types des particules solides (terre végétale et la vase), on a remarqué qu'il nécessite une vitesse d'agitation rapide de 200 tr/min pendant 2 minutes.
- Pour le chlorure ferrique et pour les deux types des particules solides, on a constaté qu'il lui faut une vitesse d'agitation rapide de 200 tr/min pendant 1 minute.

c. Vitesse d'agitation lente :

Une fois les conditions optimales de la phase rapide sont fixées, on a effectué les mêmes opérations avec la phase lente pour optimiser la vitesse. Nous avons variés celle-ci en maintenant le temps d'agitation de 10 min. Les résultats obtenues sont résumés aux tableaux IV.6 et IV.7 et représentés dans les figures IV.5 et IV.6.

Tableau IV.6: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation lente sur la coagulation-floculation de par le Sulfate d'aluminium.

| Bécher (1 L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | dose de coagulant (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-----------------|--|---|---|--|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 200 | 2 | 10 | 10 | 16 | 14.18 | 5.93 |
| 2 | | | 15 | | 16 | 11.55 | 5.74 |
| 3 | | | 30 | | 16 | 6.49 | 4.32 |
| 4 | | | 45 | | 16 | 4.84 | 2.09 |

Tableau IV.7: Résultat d'influence de la vitesse d'agitation lente sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique.

| Bécher (1 L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation Lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | dose de coagulant (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|--------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 200 | 1 | 10 | 10 | 15 | 9,23 | 6,83 |
| 2 | | | 15 | | | 2,06 | 2,64 |
| 3 | | | 30 | | | 8,69 | 4,12 |
| 4 | | | 45 | | | 7,03 | 5,79 |

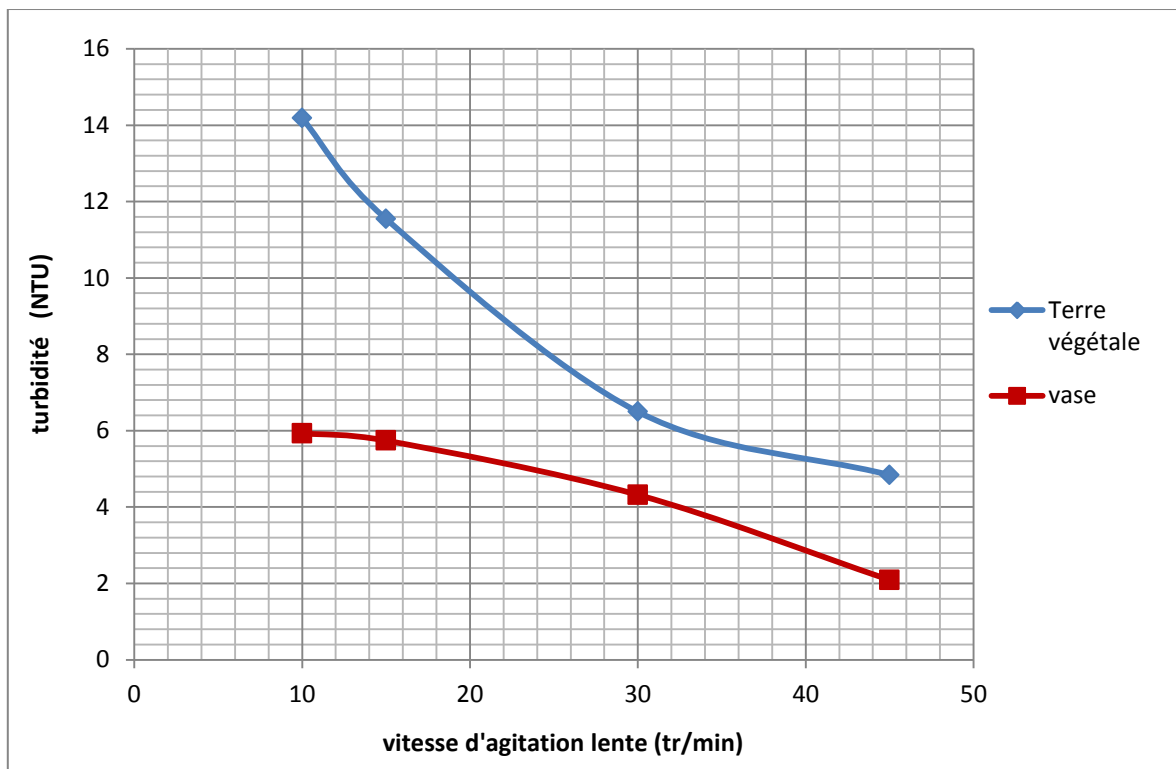


Figure IV.5: Influence de vitesse d'agitation lente sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.

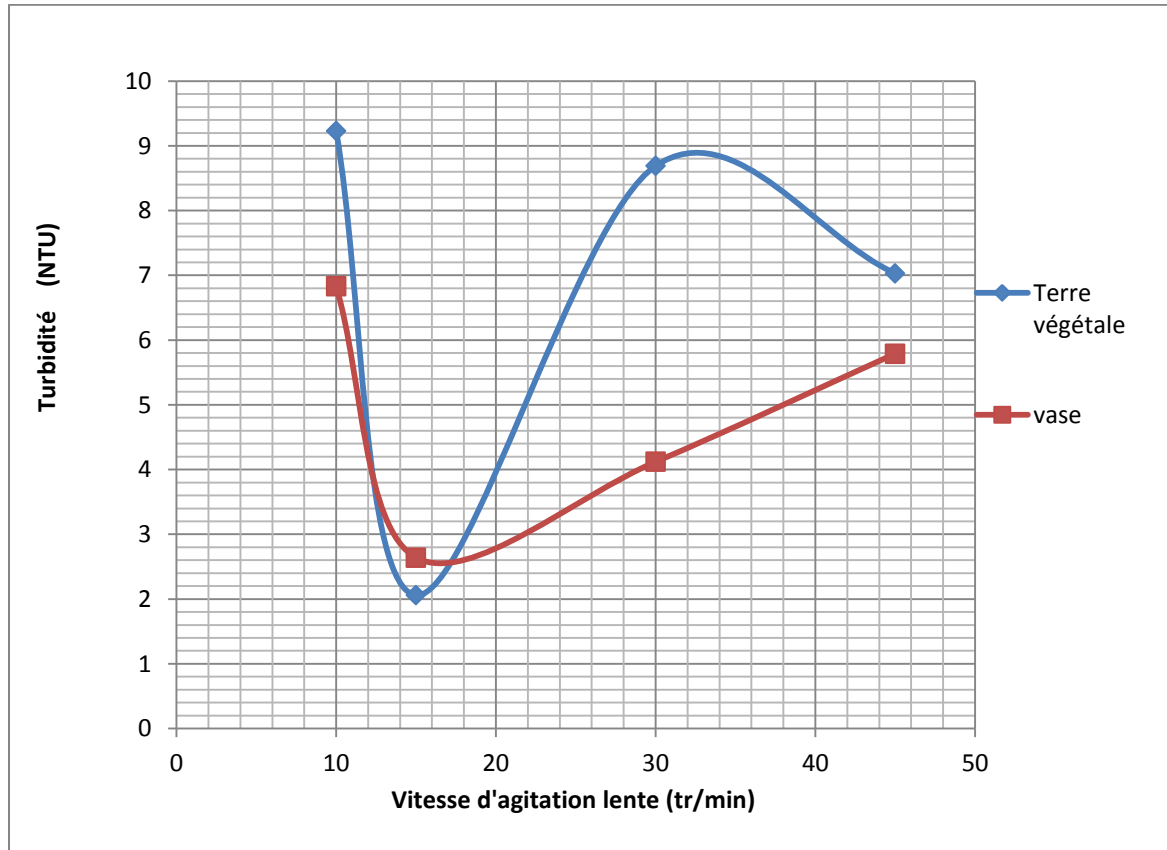


Figure IV.6: Influence de vitesse d'agitation lente sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique.

d. Temps d'agitation lente :

La vitesse de floculation est maintenue à 45 tr/min pour le sulfate d'aluminium et 15 tr/min pour le chlorure ferrique. Les temps d'agitation lente varient toutefois de 5, 10, 15 et 20 minutes. Les tableaux IV.8 et IV.9 regroupent les résultats de ces essais ainsi que les graphes : IV.7 ; IV.8.

Tableau IV.8: Résultat d'influence de temps d'agitation lente sur la coagulation-floculation par le Sulfate d'aluminium.

| Bécher (1L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation Lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | dose de coagulant (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 200 | 2 | 45 | 5 | 16 | 7.33 | 7.01 |
| 2 | | | | 10 | 16 | 4.5 | 4.02 |
| 3 | | | | 15 | 16 | 3.6 | 2.63 |
| 4 | | | | 20 | 16 | 4.2 | 6.01 |

Tableau IV.9: Résultat d'influence de temps d'agitation lente sur la coagulation de sédiment par le Chlorure ferrique.

| Bécher (1L) | Vitesse d'agitation rapide (tr/min) | Temps d'agitation rapide (min) | Vitesse d'agitation Lente (tr/min) | Temps d'agitation lente (min) | Dose de coagulant (mg/l) | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 200 | 1 | 15 | 5 | 15 | 12,28 | 8,08 |
| 2 | | | | 10 | 15 | 7,64 | 6,3 |
| 3 | | | | 15 | 15 | 4,62 | 3,1 |
| 4 | | | | 20 | 15 | 2,11 | 1,32 |

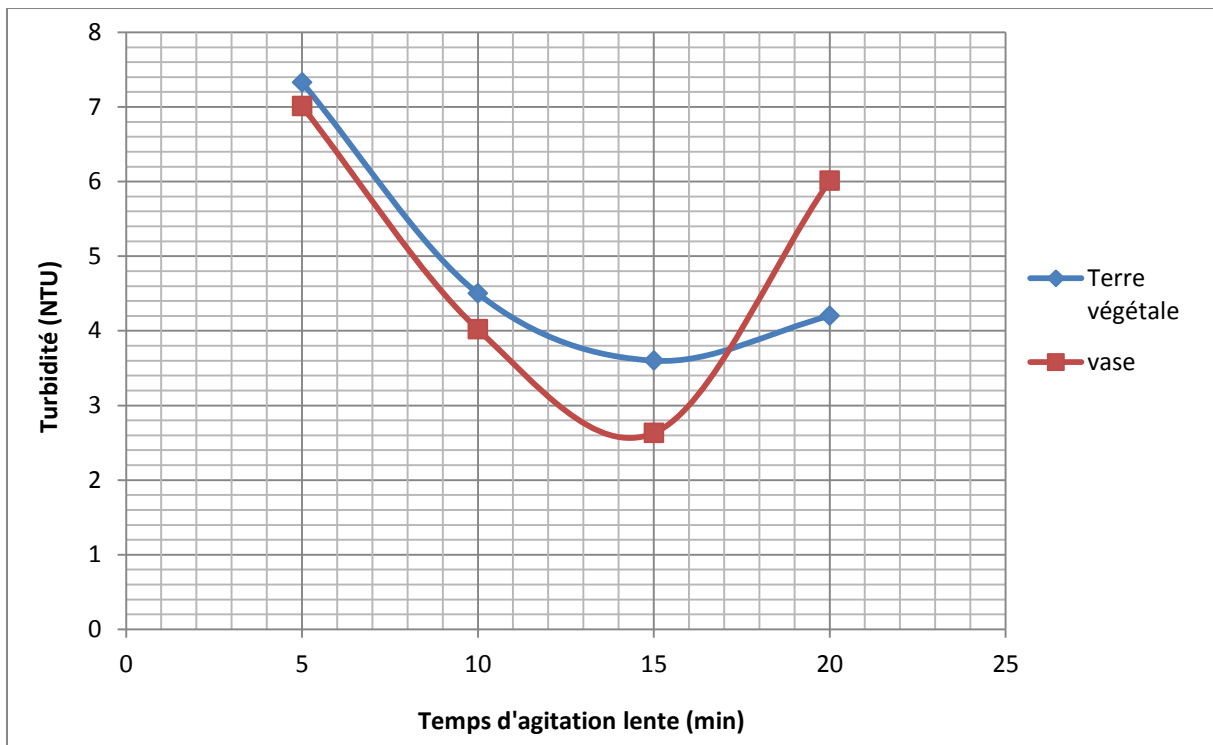


Figure IV.7: Influence de temps d'agitation lente sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.

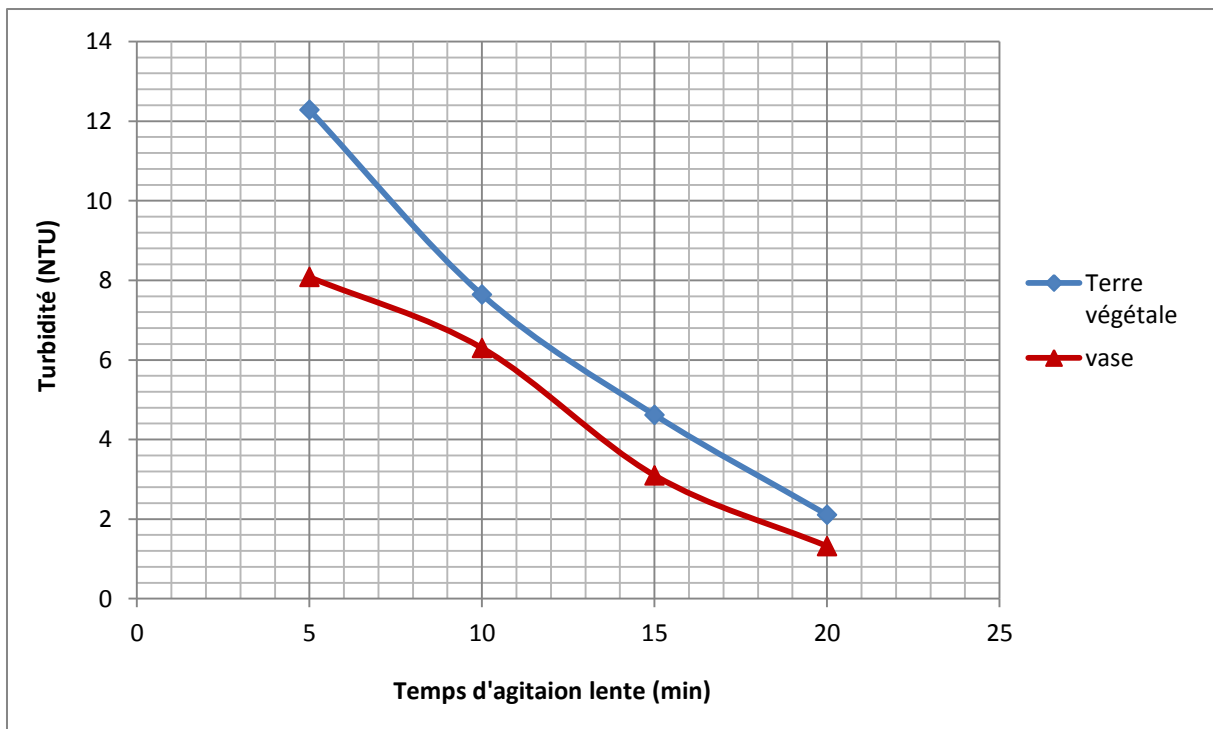


Figure IV.8: Influence de temps d'agitation lente sur la coagulation par le Chlorure ferrique.

✚ Interprétation de résultats :

La phase de floculation favorise les contacts entre les particules de floc sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différences de vitesse.

D'après la figure IV.7 on remarque que la turbidité minimale est dans les béchers n°3 pour une agitation lente de 45 tr/min durant un temps de 15 minutes, par contre dans la figure IV.8 on constate qu'avec une vitesse lente de 15 tr/min et un temps de 20 minutes on a eu une meilleure réduction de la turbidité.

IV.2.2. L'influence du pH sur la coagulation :

Cette phase de l'étude a pour but d'apprécier l'influence du pH sur coagulation floculation, Nous avons ajusté le pH des solutions grâce à des solutions de HCl et de NaOH.

Les mélanges d'eau coagulés par le sulfate d'aluminium soumissent à une agitation rapide de 200 tr/min pendant 2 min et une agitation lente de 45 tr/min pendant 15 minutes, et celles coagulés par le chlorure ferrique sont agités à une vitesse rapide de 200 tr/min pendant 1 minute et une vitesse lente de 15 tr/min pendant 20 minutes.

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux IV.10 et IV.11 et représentés dans les figures : IV.9 et IV.10.

Tableau IV.10: Résultat d'influence de pH sur la coagulation des particules solides par le Sulfate d'aluminium.

| Bécher (1L) | Dose de coagulant (mg/l) | pH | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|--------------------------|------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 15 | 5,5 | 4,45 | 5,89 |
| 2 | 15 | 6,5 | 2,29 | 1,72 |
| 3 | 15 | 7,5 | 2,73 | 2,79 |
| 4 | 15 | 8 | 3,53 | 4,70 |

Tableau IV.11: Résultat d'influence de pH sur la coagulation-floculation des particules solides par le Chlorure ferrique.

| Bécher (1L) | Dose de coagulant (mg/l) | pH | Turbidité de la terre (NTU) | Turbidité de la vase (NTU) |
|-------------|--------------------------|-----|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 15 | 5 | 2,55 | 1,50 |
| 2 | 15 | 5,5 | 4,52 | 2,90 |
| 3 | 15 | 6 | 4,80 | 4,89 |
| 4 | 15 | 7 | 10,36 | 7,98 |

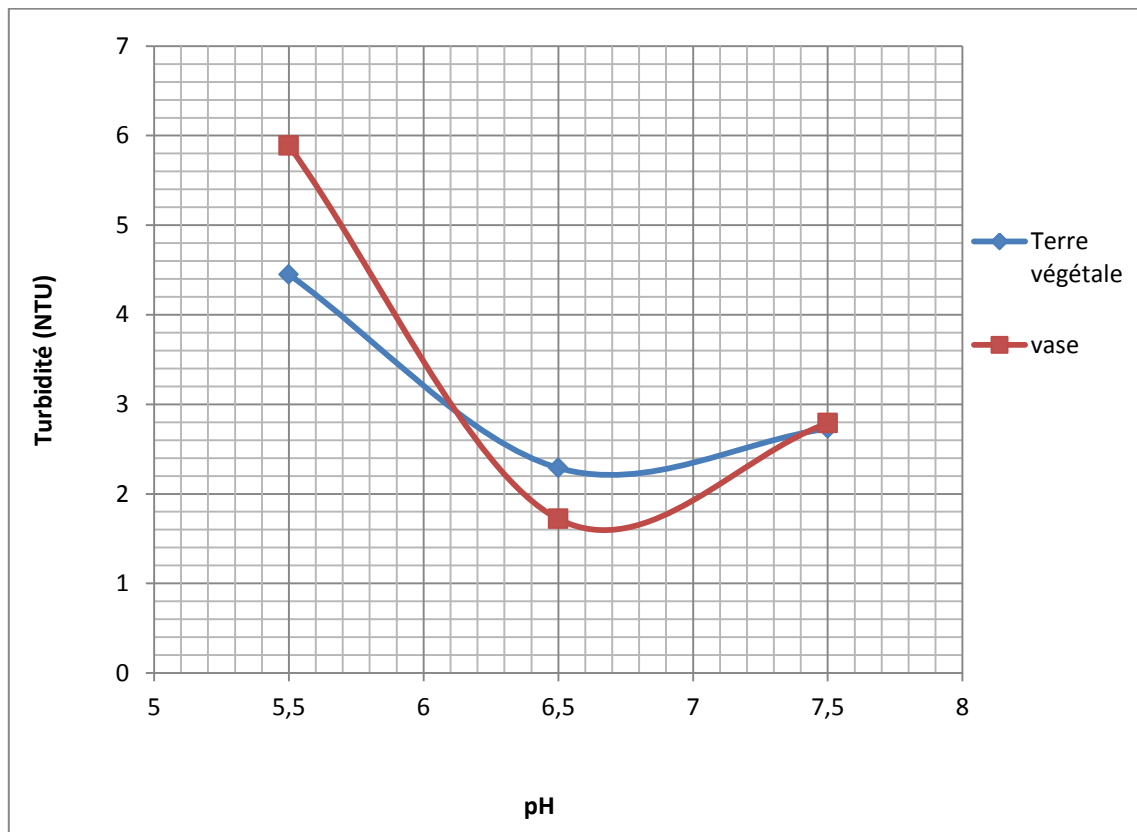


Figure IV.9: Influence de pH sur la coagulation par le Sulfate d'aluminium.

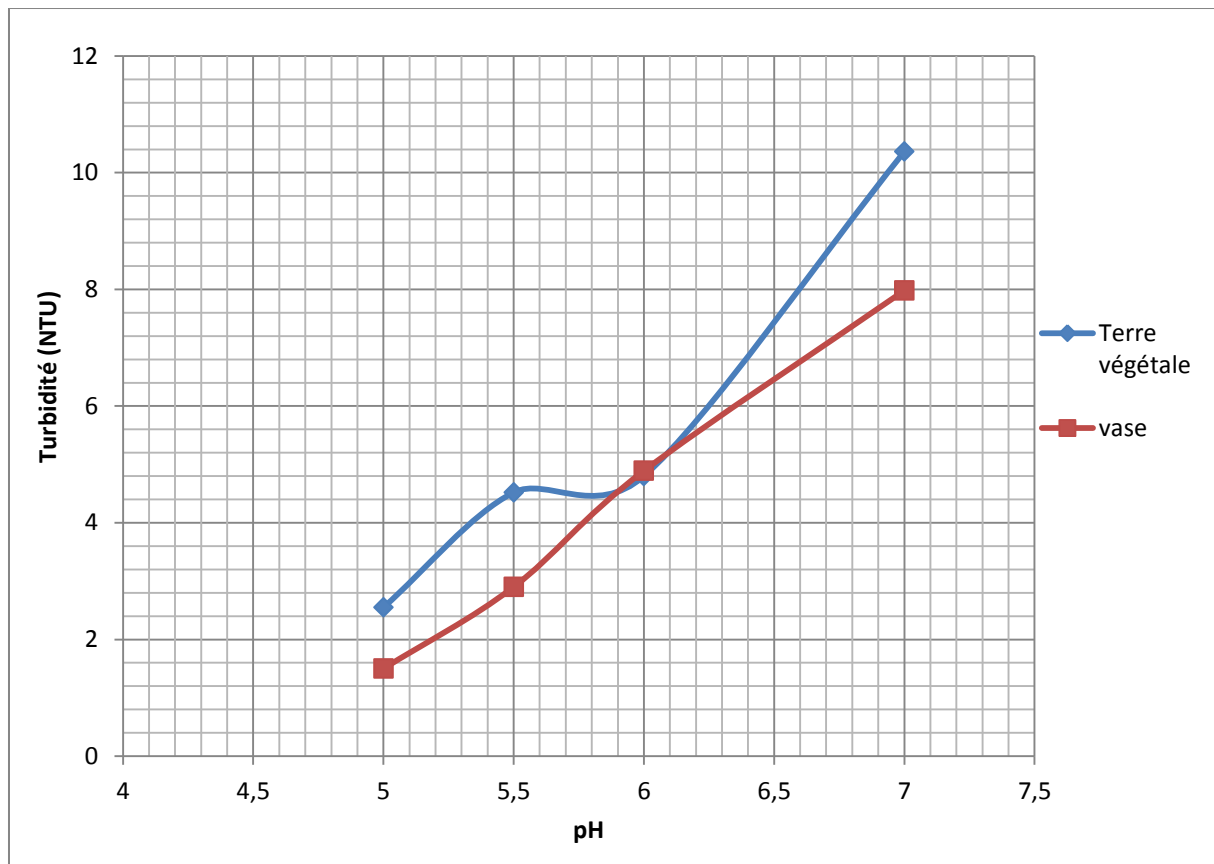


Figure IV.10: Influence de pH sur la coagulation par le Chlorure ferrique.

🚧 Interprétation des résultats :

Les figures IV.9 et IV.10 indiquent que Le pH optimal pour l'élimination de la turbidité avec le sulfate d'aluminium est de 6.5, et celui de chlorure ferrique est de 5.

IV.2.3. Influence de concentration de la solution du coagulant :

Pour une concentration fixée à 0.2 g/l de terre végétale et 0.2 g/l de la vase, on a fait des essais sur jar test avec des concentrations différentes de coagulants qui varie de 0.1 g/l à 1 g/l, les vitesses d'agitation et le pH sont fixés aux valeurs optimales obtenues dans les essais précédents . Le but c'est de déterminer la concentration optimale de sulfate d'aluminium ainsi le chlorure ferrique

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux : IV.12 et IV.13.

Tableau IV.12 : Résultat d'influence de la concentration de Sulfate d'aluminium sur la coagulation-floculation.

| | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------------|
| Concentration de coagulant (g/l) | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1 |
| Dose de coagulant (mg/l) | 1.4 | 4,2 | 7 | 9,8 | 12,6 | 14 |
| Turbidité de la terre (NTU) | 8.98 | 8.01 | 7.23 | 6.96 | 4.98 | 3.93 |
| Concentration de coagulant (g/l) | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1 |
| Dose de coagulant (mg/l) | 1.2 | 3,6 | 6 | 8,4 | 10,8 | 12 |
| Turbidité de la vase (NTU) | 8.44 | 5.63 | 4.66 | 4.2 | 3.09 | 2.06 |

Tableau IV.13 : Résultat d'influence de la concentration de chlorure ferrique sur la coagulation-floculation.

| | | | | | | |
|----------------------------------|-----|------|-------------|------|------|------|
| Concentration de coagulant (g/l) | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1 |
| Dose de coagulant (mg/l) | 1.1 | 3,3 | 5,5 | 7,7 | 9,9 | 11 |
| Turbidité de la terre (NTU) | 6.3 | 4.22 | 2.22 | 3.45 | 4.11 | 5.66 |
| Concentration de coagulant (g/l) | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1 |
| Dose de coagulant (mg/l) | 0.9 | 2,7 | 4,5 | 6,3 | 8,1 | 9 |
| Turbidité de la vase (NTU) | 5.7 | 4.23 | 1.82 | 3.93 | 4.21 | 6 |

✚ Interprétation des résultats :

D'après les tableaux (IV.12 et IV.13) on remarque que :

- ❖ Pour une concentration de 1g/l de sulfate d'aluminium on a obtenu un minimum de turbidité pour les deux suspensions.
- ❖ Pour une concentration de 0.5 g/l de chlorure ferrique la turbidité a atteint son minimum de turbidité pour la terre végétale et la vase.

IV.2.4. Influence de la dose de coagulant :

Une série d'essais est effectuée sur un mélange (eau de robinet + 200 mg des particules solides) avec des doses croissantes de Sulfate d'aluminium et du Chlorure ferrique, pour approcher la dose optimale du coagulant.

La dose optimale de coagulant est celle grâce à laquelle le surnageant est le plus limpide. Les résultats obtenus sont regroupés dans les deux tableaux suivants : (IV.14 ; IV.15).

Tableau IV.14: Résultat d'influence de la dose de Sulfate d'aluminium sur la coagulation-floculation.

| | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------|------|------|-------------|------|-------------|------|------|
| La terre végétale 0.2 g/l | Dose de coagulant (mg/l) | 8 | 10 | 15 | 25 | 30 | 35 | 38 | 40 |
| | Turbidité (NTU) | 15,19 | 9,77 | 5,24 | 2,87 | 2,98 | 4,69 | 5,78 | 8,5 |
| La vase 0.2 g/l | Dose de coagulant (mg/l) | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 18 | 24 |
| | Turbidité (NTU) | 14,36 | 8,99 | 7,34 | 5,12 | 3,78 | 1,49 | 2,93 | 7,93 |

Tableau IV.15: Résultat d'influence de la dose de Chlorure ferrique sur la coagulation-floculation

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|
| La terre végétale 0.2 g/l | Dose de coagulant (mg/l) | 2.5 | 5 | 7,5 | 10 | 15 | 17,5 | 20 | 25 |
| | Turbidité (NTU) | 8,53 | 5,56 | 4,12 | 3,9 | 4,78 | 6,11 | 6,78 | 6,01 |
| La vase 0.2 g/l | Dose de coagulant (mg/l) | 5 | 3,5 | 5 | 7,5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| | Turbidité (NTU) | 7,29 | 5,55 | 3,36 | 0,93 | 3,64 | 5 | 5,09 | 5,78 |

Remarque : Le temps et l'intensité d'agitation (rapide et lente) et pH sont maintenus constants pour cet essai.

On remarque bien que l'addition de :

- 25 mg/l du sulfate d'aluminium, a provoqué la diminution de la valeur de la turbidité à 2.87 NTU pour la terre végétale.
- 14 mg/l du sulfate d'aluminium, a causé la diminution de la valeur de la turbidité jusqu'à 1.49 NTU pour la vase.
- 10 mg/l de chlorure ferrique, a diminué la turbidité jusqu'à 3.9 NTU.
- 7.5 mg/l de chlorure ferrique, a abaissé la turbidité à 0.93 NTU.

On peut aussi voir ces résultats en traçant les courbes de turbidité en fonction de la dose du coagulants, comme le montre les Figures IV.11 et IV.12.

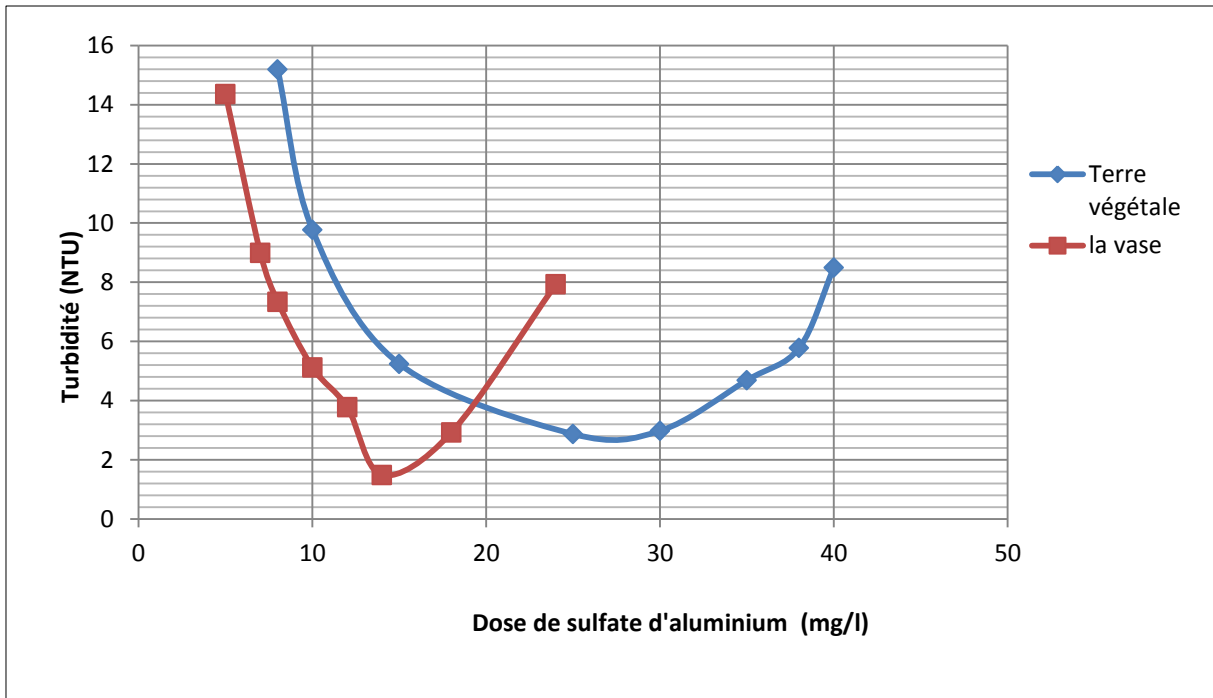


Figure IV.11: Influence de la dose de Sulfate d'aluminium sur la coagulation-floculation.

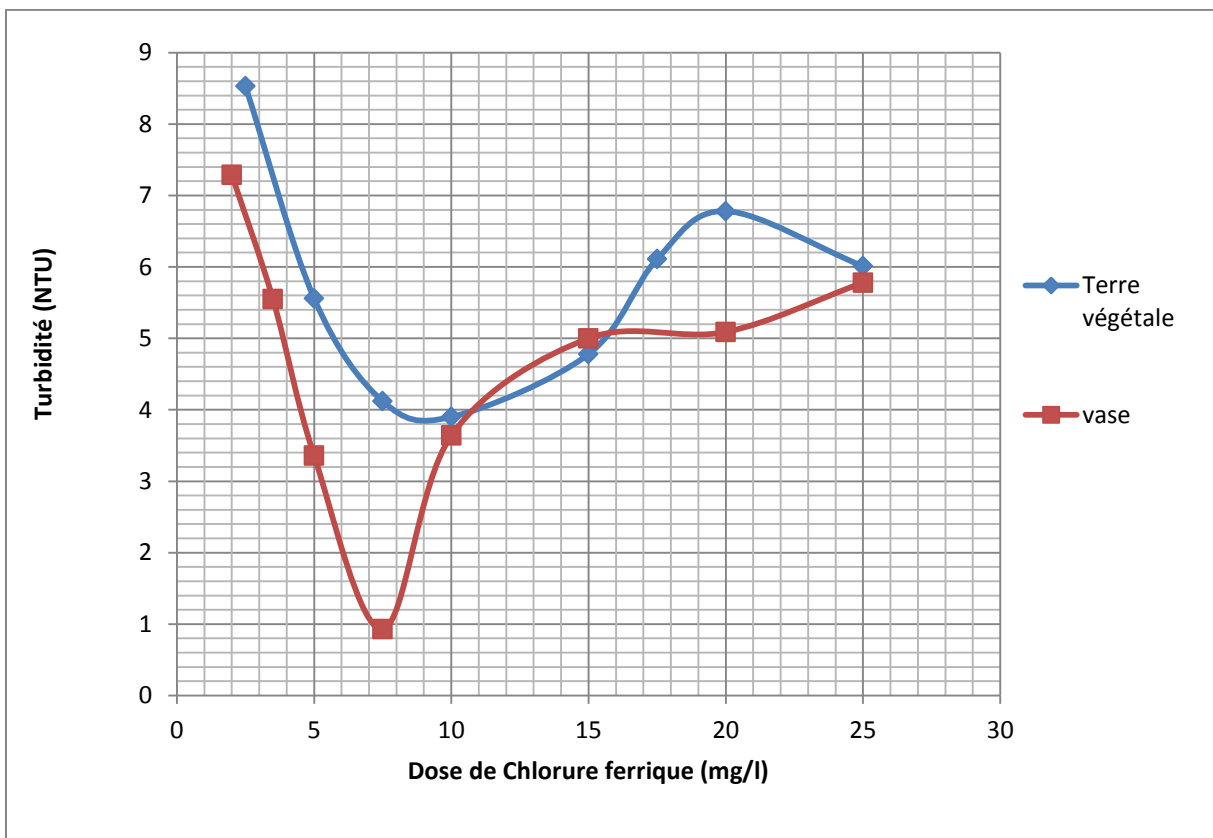


Figure IV.12: Influence de la dose de Chlorure ferrique sur la coagulation-floculation.

IV.3. Influence de concentration des particules solides sur la coagulation floculation :

Dans les tableaux suivants, pour chaque concentration de suspensions, on a représenté le taux d'abattement de la turbidité après 25 minutes de décantation en fonction de la dose de deux coagulants utilisés (Sulfate d'aluminium et le Chlorure ferrique). L'efficacité du rendement de réduction de la turbidité est définie sous la forme suivante [35]

$$R(\%) = \left(\frac{T_i - T_f}{T_i} \right) * 100 \quad \dots \text{IV.1}$$

Avec : R : rendement d'élimination de la turbidité en %.

T_i : Turbidité initiale (avant traitement) en (NTU).

T_f : Turbidité finale (après traitement) en (NTU)

Les conditions opératoires (vitesse d'agitation, pH, doses de coagulants) sont optimisées dans ces essais.

❖ **Concentration de 0.2 g/l** : Les résultats obtenus pour cette concentration et pour les deux coagulants utilisés, sont résumés sur les tableaux : IV.16 et IV.17

Tableau IV.16: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.2 g/l) sur la coagulation- floculation par le Sulfate d'aluminium.

| Terre végétale | | Vase | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Dose de coagulant (mg/l) | R % | Dose de coagulant (mg/l) | R % |
| 8 | 70,52 | 5 | 56,19 |
| 10 | 81,04 | 7 | 72,57 |
| 15 | 89,83 | 8 | 77,61 |
| 25 | 94,43 | 10 | 84,38 |
| 30 | 94,22 | 12 | 88,47 |
| 35 | 90,90 | 14 | 95,45 |
| 38 | 88,78 | 18 | 91,06 |
| 40 | 83,50 | 24 | 75,81 |

Tableau IV.17: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.2 g/l) sur la coagulation-floculation par le Chlorure ferrique.

| Terre végétale | | Vase | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Dose de coagulant (mg/l) | R % | Dose de coagulant (mg/l) | R % |
| 2,5 | 73,98 | 2 | 85,85 |
| 5 | 83,04 | 3,5 | 89,23 |
| 7,5 | 87,43 | 5 | 93,48 |
| 10 | 88,10 | 7,5 | 98,20 |
| 15 | 85,42 | 10 | 92,94 |
| 17,5 | 81,36 | 15 | 90,30 |
| 20 | 79,32 | 20 | 90,12 |
| 25 | 81,67 | 25 | 88,78 |

❖ **Concentration de 0.5 g/l** : Les résultats obtenus pour cette concentration sont :

Tableau IV.18: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.5 g/l) sur la coagulation -floculation par le Sulfate d'aluminium.

| Terre végétale | | Vase | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Dose de coagulant (mg/l) | R % | Dose de coagulant (mg/l) | R % |
| 14 | 93,56 | 11 | 87,90 |
| 24 | 94,38 | 15 | 87,99 |
| 30 | 96,22 | 18 | 89,46 |
| 38 | 97,50 | 20 | 93,14 |
| 40 | 96,23 | 26 | 98,23 |
| 45 | 94,67 | 30 | 89,68 |
| 50 | 92,90 | 35 | 88,02 |
| 55 | 85,79 | 40 | 85,65 |

Tableau IV.19: Résultat d'influence de concentration des particules solides (0.5 g/l) sur la coagulation floculation par le Chlorure ferrique

| Terre végétale | | Vase | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Dose de coagulant (mg/l) | R % | Dose de coagulant (mg/l) | R % |
| 8 | 83,68 | 5 | 93,56 |
| 9 | 85,42 | 8 | 94,38 |
| 12 | 90,62 | 9 | 96,22 |
| 15 | 95,72 | 10 | 98,69 |
| 20 | 91,71 | 15 | 95,34 |
| 22,5 | 90,99 | 19 | 94,67 |
| 25 | 89,88 | 23 | 92,90 |
| 27,5 | 94,27 | 28 | 85,79 |

❖ **Concentration de 1g/l :** Les résultats obtenus pour cette concentration sont les suivantes :

Tableau IV.20: Résultat d'influence de concentration des particules solides (1 g/l) sur la coagulation floculation par le Sulfate d'aluminium

| Terre végétale | | Vase | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Dose du coagulant (mg/l) | R % | Dose du coagulant (mg/l) | R% |
| 14 | 93,77 | 15 | 92,13 |
| 19 | 96,58 | 20 | 93,17 |
| 26 | 97,29 | 24 | 94,08 |
| 35 | 96,42 | 30 | 98,91 |
| 48 | 98,06 | 34 | 95,84 |
| 50 | 97,42 | 40 | 95,26 |
| 55 | 93,41 | 45 | 91,48 |
| 60 | 90,33 | 50 | 87,50 |

Tableau IV.21: Résultat d'influence de concentration des particules solides (1 g/l) sur la coagulation floculation par le Chlorure ferrique.

| Terre végétale | | Vase | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Dose du coagulant (mg/l) | R % | Dose du coagulant (mg/l) | R % |
| 12 | 92,13 | 10 | 93,97 |
| 15 | 93,17 | 15 | 97,19 |
| 20 | 94,08 | 18 | 97,36 |
| 24 | 98,91 | 19 | 97,27 |
| 28 | 98,93 | 20 | 98,97 |
| 30 | 97,26 | 24 | 97,94 |
| 35 | 96,08 | 28 | 97,08 |
| 40 | 97,48 | 30 | 97,02 |

Les histogrammes des figures IV.13 et IV.14 représentent la variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la concentration de particules solides qui ont été tracés à partir du tableau ci-après :

Tableau IV.22 : Variation de la dose optimale en fonction de concentration des particules solides.

| Concentration des particules solides (g/l) | Dose de sulfate d'aluminium (mg/l) | | Dose de chlorure ferrique (mg/l) | |
|--|------------------------------------|------|----------------------------------|------|
| | Terre végétale | Vase | Terre végétale | Vase |
| 0,2 | 25 | 14 | 10 | 7,5 |
| 0,5 | 38 | 26 | 15 | 10 |
| 1 | 48 | 30 | 28 | 20 |

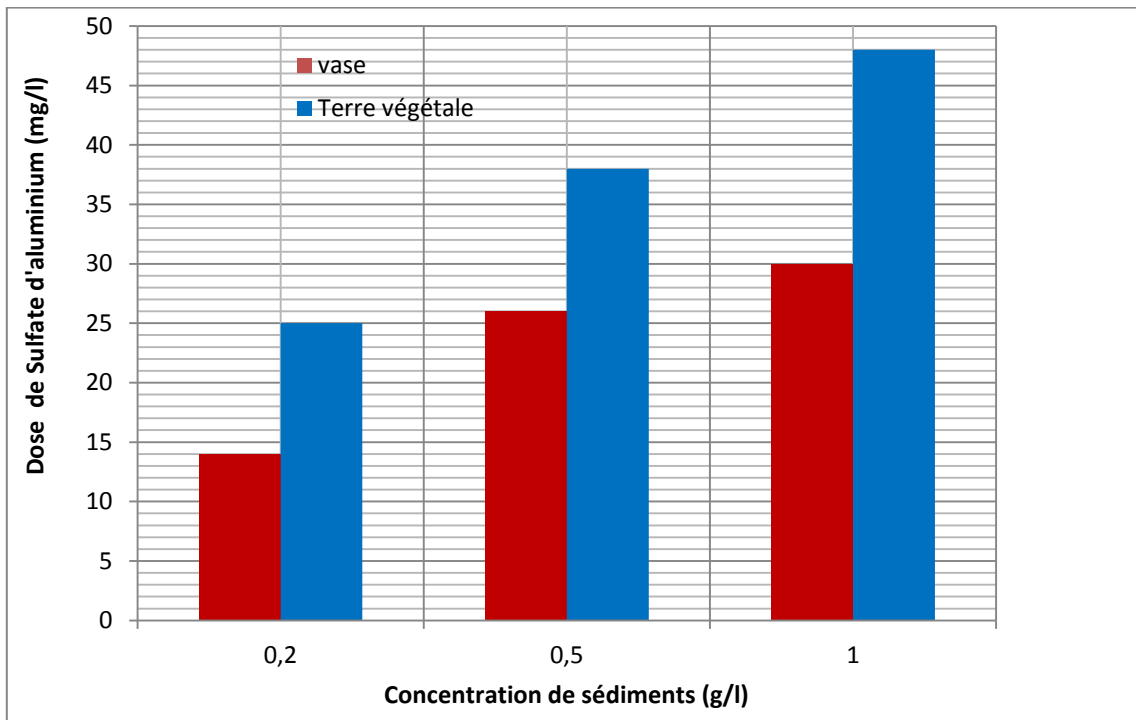


Figure IV.13: Variation de la dose de Sulfate d'aluminium en fonction de la concentration de particules solides.

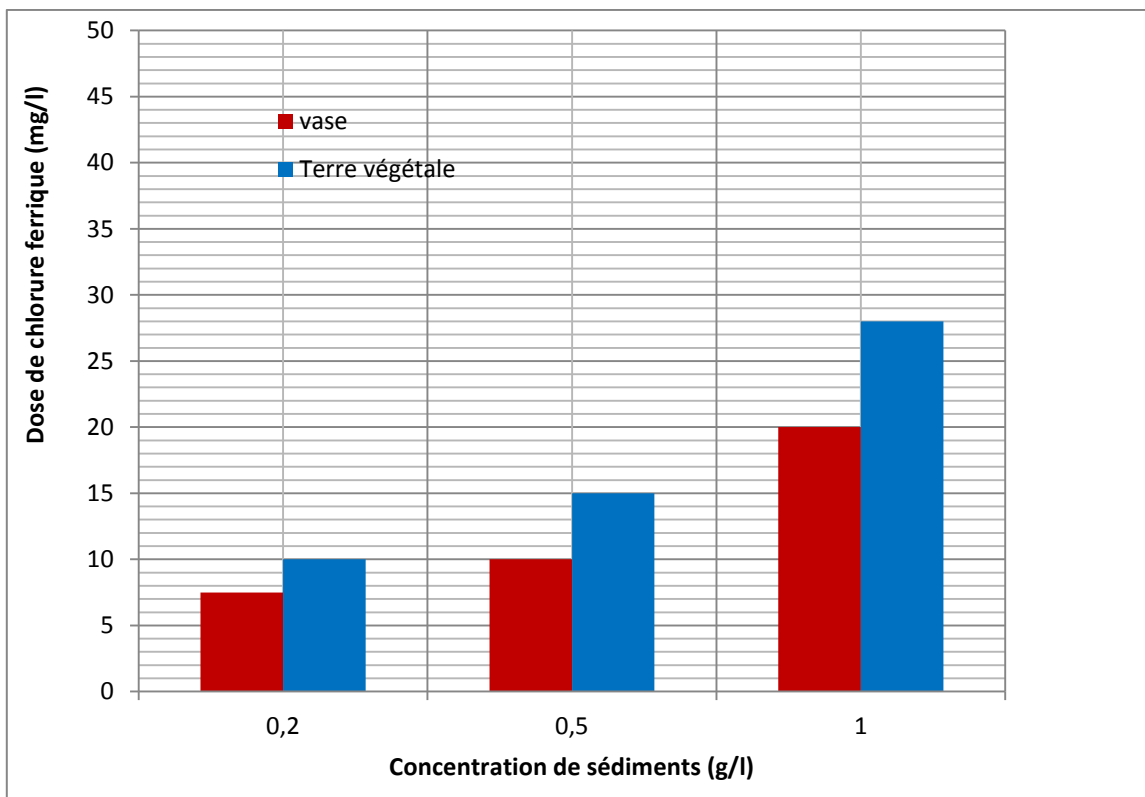


Figure IV.14: Variation de la dose de Chlorure ferrique en fonction de la concentration de particules solides.

Interprétation des résultats :

Les figures (IV.13 ; IV.14) montrent bien que la dose optimale des coagulants varie selon la qualité de l'eau : la dose augmente avec l'augmentation de la turbidité, pour les concentrations testées.

Nous pouvons dire aussi que quelque soit la concentration des suspensions qui se trouvent dans l'eau à traiter, il y a toujours une valeur optimale.

La coagulation de la terre végétale nécessite des doses plus grandes de coagulants que la vase, pour diminuer la turbidité. Ainsi que le rendement d'abattement de la turbidité est plus important pour la vase que pour la terre végétale, qui peut être expliqué par la différence des caractéristiques des particules solides en suspension, en particulier la concentration des matières organiques contenue plus légère, donc difficile à éliminer, ainsi que l'importance de la surface spécifique qui est étroitement liée à l'adsorption.

Nous remarquons aussi que la coagulation-floculation avec le chlorure ferrique conduit à une meilleure élimination de la turbidité, par rapport au sulfate d'aluminium, elle atteint 98,97% pour la vase du barrage et 98,93% pour la terre végétale ; d'une façon générale tous ces rendements sont satisfaisants.

En résumé, on peut dire que la nature et la concentration des particules solides présentent dans l'eau, influent sur le processus de coagulation floculation.

IV.4. Résultats expérimentaux d'application de la coagulation floculation décantation sur le pilote TE600 :

Nous avons complété l'étude de la coagulation floculation en effectuant quelques essais complémentaires sur pilote TE600 dans le but de mettre en pratique sur pilote d'essai les résultats obtenus sur Jar-test. Ainsi de mieux cerner l'influence des particules solides (argileuses) sur la coagulation floculation dans un processus de traitement à débit continu. Ces essais ont permis de mettre en évidence: l'effet de la dose des coagulants et la concentration des particules solides et le débit d'alimentation de l'eau à traiter sur la coagulation floculation décantation.

Avant d'entamer nos expériences le pilote a été réglé selon les résultats obtenus par Jar-test.

Lors de ces essais, nous avons fait varier le débit d'alimentation en suspension et le débit de dosage en coagulants comme suis :

- Le débit d'alimentation de la suspension à 50 l/h et 100 l/h.
- Le débit d'alimentation du coagulant à 0.5 l/h à 7 l/h selon la concentration de l'effluent à traiter.

Après la décantation à contre-courant, nous avons pris des échantillons de l'eau clarifiée et nous avons mesuré leurs turbidité. Les valeurs obtenues sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau IV.23: l'influence de débits d'alimentation en suspensions et les débits de dosage de sulfate d'aluminium sur la décantation des particules solides de terre végétale.

| Terre | Qa=100 l/h | | | | Qa=50 l/h | | | |
|---------|---------------|-------------------|------------|-------|---------------|-------------------|------------|-------|
| | Q du SA (l/h) | Dose du SA (mg/l) | Turb (NTU) | R % | Q du SA (l/h) | Dose du SA (mg/l) | Turb (NTU) | R % |
| 0,2 g/l | 2 | 20 | 9,89 | 69,83 | 1 | 20 | 8,72 | 72,88 |
| | 2,5 | *25 | 9,11 | 72,21 | 1,25 | 25 | 8,22 | 74,92 |
| | 5 | 50 | 6,53 | 80,08 | 3 | 60 | 6,09 | 81,42 |
| 1 g/l | 2,5 | 25 | 8,53 | 92,74 | 2 | 40 | 6,55 | 94,42 |
| | 4,8 | 48 | 6,9 | 94,13 | 2,4 | 48 | 5,93 | 94,95 |
| | 6 | 60 | 5,46 | 95,35 | 4 | 80 | 4,41 | 96,25 |

* : dose optimale obtenue sur Jar test.

Tableau IV.24: l'influence de débits d'alimentation en suspension et les débits de dosage de sulfate d'aluminium sur la décantation des particules solides de la vase.

| Vase | Qa=100 l/h | | | | Qa=50 l/h | | | |
|---------|---------------|-------------------|------------|-------|---------------|-------------------|------------|-------|
| | Q du SA (l/h) | Dose du SA (mg/l) | Turb (NTU) | R % | Q du SA (l/h) | Dose du SA (mg/l) | Turb (NTU) | R % |
| 0,2 g/l | 1 | 10 | 7,11 | 86,2 | 0,5 | 10 | 5,9 | 88,55 |
| | 1,4 | 14 | 6,48 | 87,43 | 1 | 14 | 4,92 | 90,45 |
| | 4 | 40 | 4,87 | 90,72 | 2 | 40 | 4,62 | 91,03 |
| 1 g/l | 2,5 | 25 | 8,12 | 94,78 | 1 | 20 | 6,45 | 95,84 |
| | 3 | 30 | 6,56 | 95,77 | 1,5 | 30 | 5,93 | 96,18 |
| | 5 | 50 | 5,1 | 96,71 | 3 | 60 | 4,14 | 97,33 |

Tableau IV.25: l'influence de débits d'alimentation en suspension et les débits de dosage de chlorure ferrique sur la décantation des particules solides de la terre végétale.

| Terre | Qa=100 l/h | | | | 50 l/h | | | |
|---------|---------------|-------------------|------------|-------|---------------|-------------------|------------|-------|
| | Q du CF (l/h) | Dose du CF (mg/l) | Turb (NTU) | R % | Q du CF (l/h) | Dose du CF (mg/l) | Turb (NTU) | R % |
| 0,2 g/l | 1 | 5 | 8,19 | 75,02 | 0,5 | 5 | 7,9 | 75,90 |
| | 2 | 10 | 7,69 | 76,54 | 1 | 10 | 7,82 | 79,19 |
| | 5 | 25 | 5,01 | 84,72 | 3 | 30 | 4,22 | 87,13 |
| 1 g/l | 4 | 20 | 8,3 | 92,93 | 2 | 20 | 6,97 | 94,07 |
| | 5,6 | 28 | 5,9 | 94,98 | 2,8 | 28 | 5,09 | 95,67 |
| | 7 | 35 | 4,87 | 95,85 | 4 | 40 | 4,34 | 96,48 |

Tableau IV.26: l'influence débits d'alimentation en suspension et les débits de dosage de chlorure ferrique sur la décantation des particules solides de la vase.

| | Qa=100 l/h, | | | | Qa=50 l/h | | | |
|---------|---------------|-------------------|------------|-------|---------------|-------------------|------------|-------|
| Vase | Q de CF (l/h) | Dose du CF (mg/l) | Turb (NTU) | R % | Q de CF (l/h) | Dose du CF (mg/l) | Turb (NTU) | R % |
| 0,2 g/l | 1 | 5 | 7,93 | 84,61 | 0,5 | 5 | 7,56 | 85,33 |
| | 1,5 | 7.5 | 7,17 | 86,09 | 0,75 | 7.5 | 6,29 | 89,73 |
| | 3 | 15 | 5,93 | 81,51 | 2 | 20 | 4,22 | 91,81 |
| 1 g/l | 2 | 10 | 8,02 | 95,48 | 1 | 10 | 5,55 | 96,42 |
| | 4 | 20 | 6,56 | 96,42 | 2 | 20 | 4,74 | 96,95 |
| | 7 | 35 | 3,95 | 97,07 | 4 | 40 | 3,59 | 97,36 |

✚ Interprétation des résultats :

Nous constatons d'après les résultats obtenus dans les tableaux : (IV.23 ; IV.24 ; IV.25 ; IV.26) les remarques suivantes :

- les valeurs de la turbidité obtenues après coagulation floculation dans le TE600 sont plus grandes que celles obtenues en Jar-test, malgré l'application des conditions optimales obtenues par Jar test (vitesse d'agitation, dose de coagulant...), Ce qui montre que les résultats obtenus sur Jar-test (dose optimale du coagulant en particulier) différents de ceux exigées par une eau dans un processus de traitement. Ce problème peut être expliqué par: un défaut dans la circulation de l'eau, perturbation de débit d'alimentation des suspensions, vitesse d'agitation, précipitation de coagulant, temps de décantation (séjour).
- Le débit d'alimentation influe sur le pourcentage de rendement de la décantation, de la manière suivante : l'augmentation de débit cause la diminution du temps de séjour des particules floculées et par la suite la diminution du rendement, en conséquent le débit d'alimentation 50l/h a donné des rendements plus importants, ce qui illustré sur les figures IV.15 à IV.18.

- Les faibles concentrations des particules solides (0.2 g/l) donnent des rendements moins importants que celles de (1g/l), ceci s'explique par le fait pour une eau contenant une quantité relativement réduite de particule solide la formation de floc est amoindrie, car la probabilité de contact des particules solides est relativement faible.
- Le débit théorique de dosage de coagulant calculé est moins rentable que le débit pratique.
- Le chlorure ferrique est plus efficace que le sulfate d'aluminium.
- Le rendement de la vase est plus grand que celui de la terre végétale, qui est du à la densité élevée de la vase, qui a facilité sa décantation.
- A travers cette petite étude expérimentale nous affirment l'importance de l'expérimentation dans le domaine de traitement des eaux.



Figure IV.15:Décantation de la vase coagulée 50 l/h (avant).

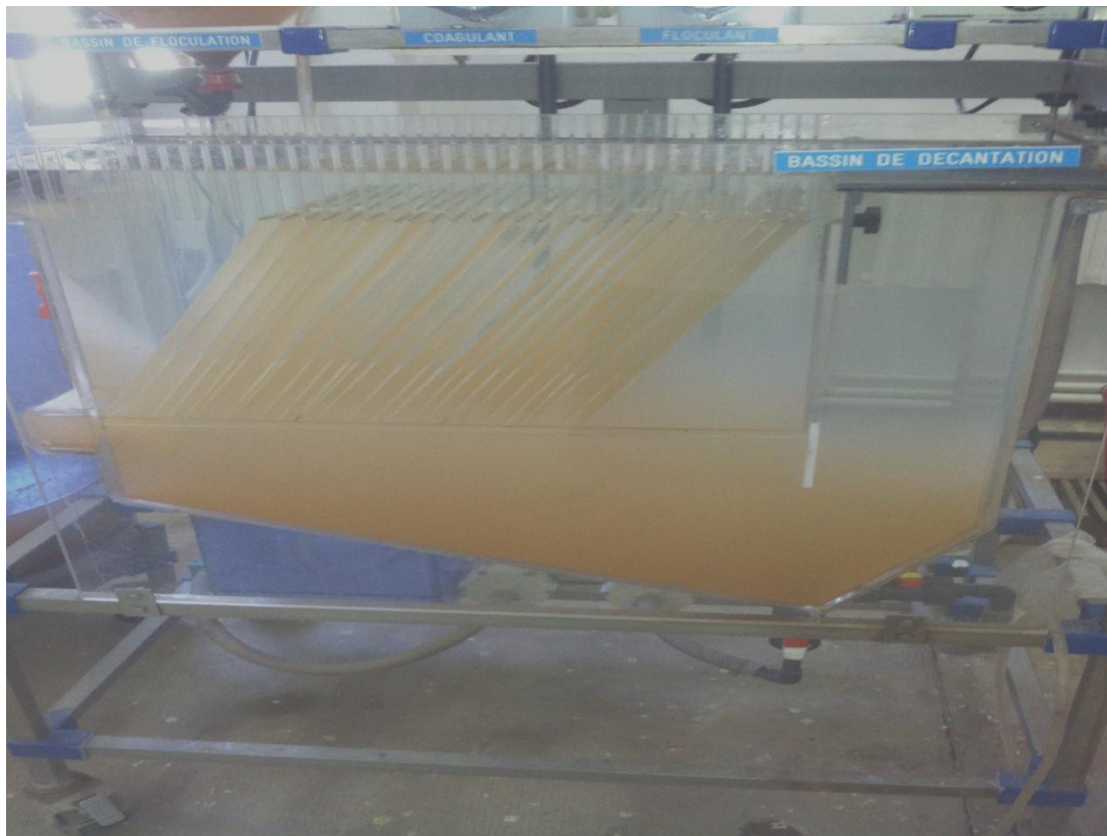


Figure IV.16 :Décantation de la vase coagulée 50l/h (après)

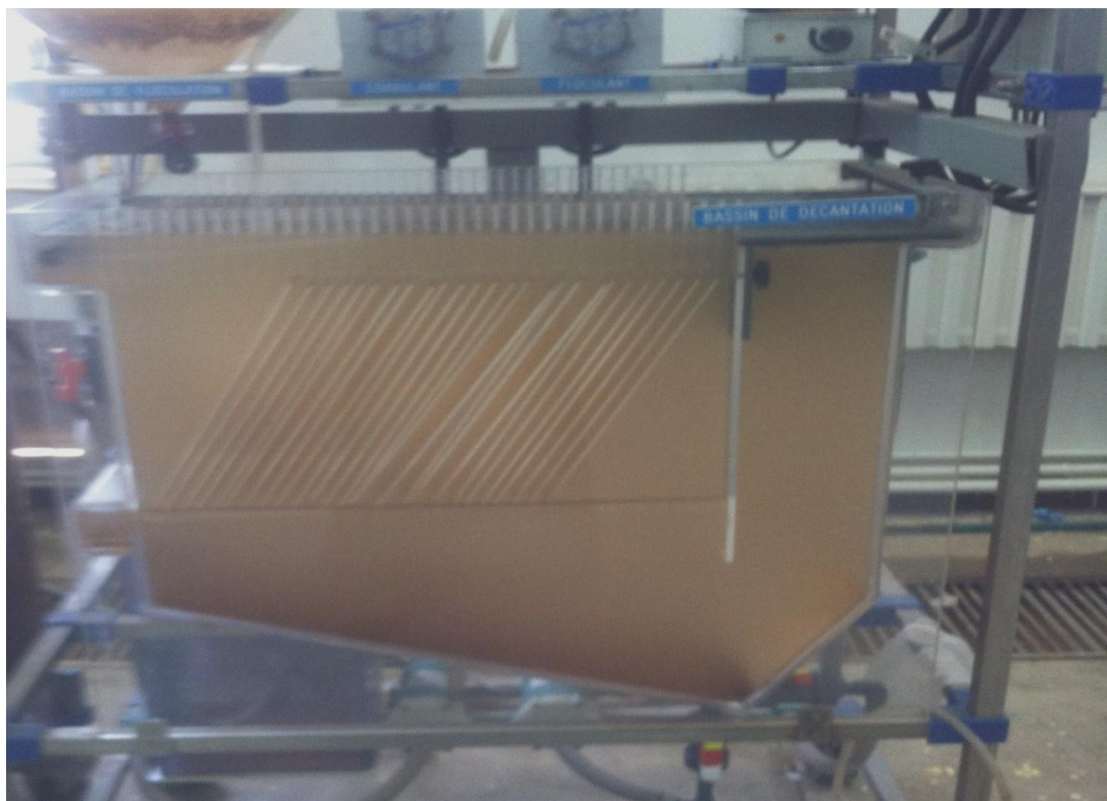


Figure IV.17: Décantation de la terre végétale 50 l/h (avant)

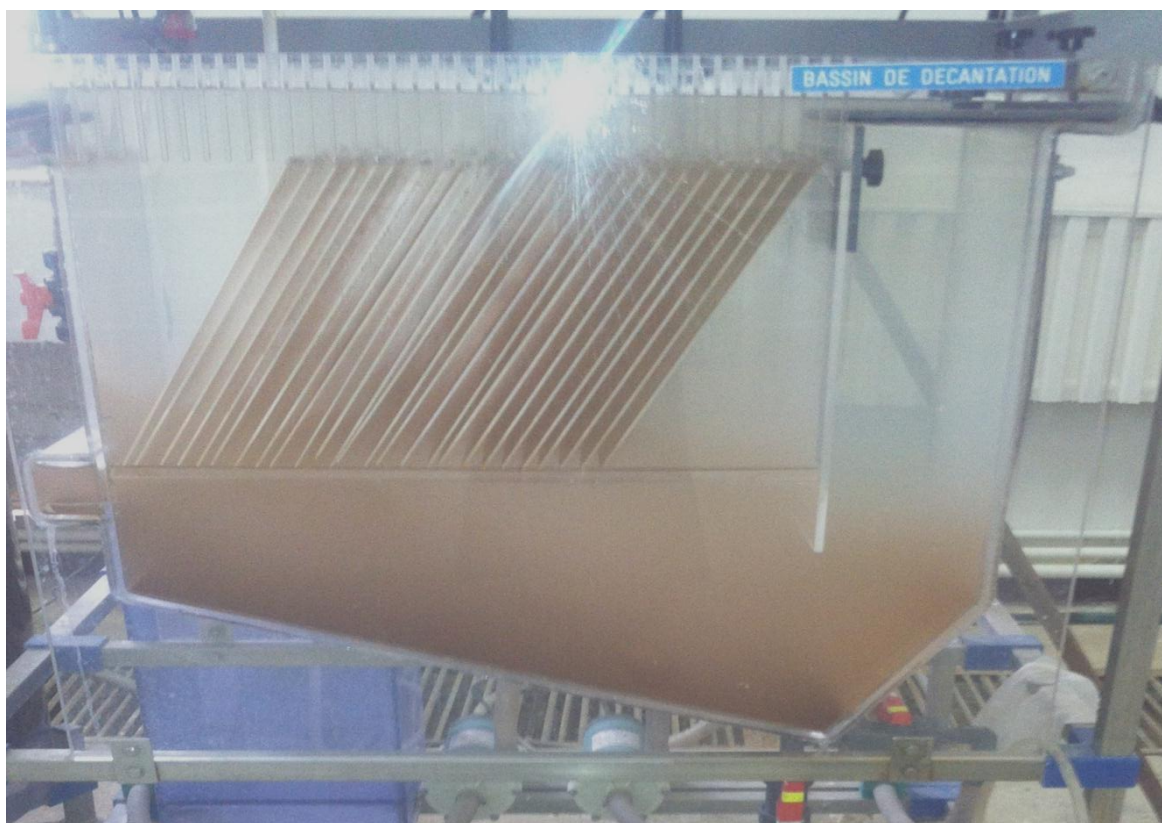


Figure IV.18 : Décantation de la terre végétale 50 l/h (après)



CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre travail est de mettre en évidence, l'influence des paramètres opératoires sur le processus de coagulation floculation et l'effet des caractéristiques des particules solides sur l'efficacité de ce procédé.

Pour ce faire, une caractérisation de deux types de particules solides a été faite, cela en déterminant :

- La teneur en MO
- La densité des grains solides
- La surface spécifique

Les résultats de la caractérisation des particules solides utilisées montrent que celle-ci présentent des caractéristiques différentes à savoir :

La terre végétale, est marquée par une teneur en MO qui atteint 55%, une densité de 1.47 et une surface spécifique de 134.75 m²/g.

En revanche, La vase est distinguée par un pourcentage en MO qui vaut de 15 %, une densité de l'ordre de 2.09 et une surface spécifique de 79.625 m²/g.

En conséquent le mélange ces particules solides avec l'eau conduit à des dispersions de natures différentes.

Les résultats des essais de coagulation –floculation de deux types de particules solides, et avec les deux coagulants utilisée (chlorure ferrique et sulfate d'aluminium), selon le protocole de Jar-test font ressortir les conclusions suivantes :

- ❖ Indépendamment de la nature des particules :
 - La vitesse d'agitation pour la coagulation doit être rapide en un temps de mélange très court (200 tr/ min pendant 2 minutes pour le sulfate d'aluminium et 200 tr/min pendant une minute pour le chlorure ferrique).
 - La vitesse d'agitation de floculation doit être lente en un temps long (45 tr/min durant 15 minutes pour le sulfate d'aluminium et 15 tr/min durant 20 minutes pour le chlorure ferrique).

- Le pH optimal pour l'élimination de la turbidité avec le sulfate d'aluminium est de 6.5, et celui de chlorure ferrique est de 5.
- La coagulation-floculation avec une dose optimale du chlorure ferrique comme coagulant conduit à une élimination de la turbidité meilleure, que celle obtenue par le sulfate d'aluminium.
- La dose optimale de coagulant varie selon la qualité de l'eau brute et la dose augmente avec l'augmentation de la turbidité.
- L'augmentation de la concentration en particules solides de 0.2 à 1 g/l, ce traduit par une augmentation de rendement d'élimination de la turbidité.
- ❖ L'effet de la nature de particule solide :
 - La coagulation de la terre végétale nécessite des doses plus grandes de coagulants que la vase, pour diminuer la turbidité.
 - le rendement d'abattement de la turbidité est plus important pour la vase que pour la terre végétale, qui peut être expliqué par la différence des caractéristiques des particules solides en suspension, en particulier la concentration des matières organiques contenue plus légère, donc difficile à éliminer, ainsi que l'importance de la surface spécifique qui est étroitement liée à l'adsorption.
 - Les meilleurs rendements sont observés pour une concentration de particules solides de 1g/l et avec le chlorure ferrique, qui atteintes 98,97 % pour la vase et 98.93% pour la terre végétale.

Dans un second temps, nous avons effectué des essais sur Le pilote TE600, dans le but de mettre en pratique sur ce pilote d'essai les résultats obtenus sur Jar test. Ainsi de mieux suivre l'influence des particules solides (argileuses) sur la coagulation floculation dans un processus de traitement à débit continu, Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Une installation pilote présente l'avantage de tester le procédé de coagulation floculation décantation en situation réelle (eau brute, durée de séjour, dosage de coagulant...), mais elle donne des rendements relativement inférieurs que les rendements de jar test, ce qui incite à la vérification des résultats du jar test sur un dispositif expérimentale à débit continu.
- Les rendements obtenus en utilisant le chlorure ferrique sont nettement supérieurs à ceux obtenus par le sulfate d'aluminium.

L'étude des paramètres opératoires ainsi que les propriétés caractérisant les particules solides en suspension dans l'eau, montre qu'il y a une influence nette de ces derniers, sur le processus coagulation floculation.

Cette modeste étude expérimentale ne prétend pas couvrir tous les problèmes liés au traitement des eaux de surface en particulier la coagulation-floculation, d'autres études doivent être envisagées afin de mieux cerner l'influence des particules en suspension en traitement des eaux, en testant d'autres types de particules de nature et d'origine différente, susceptible de se trouvées dans une eau de surface.

Annexe

Procédure générale de mise en route de pilote TE600 :

Pour la mise en marche de pilote, il faut suivre les étapes suivantes

- Relier les tubulures de sortie du pilote à un égout pour :
 - Vidange de la cuve d'alimentation.
 - Vidange du décanteur.
 - Sortie de la sur verse du décanteur.
- Relier un tuyau souple entre une alimentation réseau d'eau propre et la cuve d'alimentation de suspension et le pilote.
- Relier le tuyau souple prévu à cet effet entre la cuve d'alimentation en suspension et le pilote.
- Brancher le câble d'alimentation électrique du pilote.
- Brancher le câble d'alimentation électrique de la pompe de mise en suspension de la cuve d'alimentation sur la prise de l'armoire de contrôle et de commande du pilote.
- Vidanger si nécessaire la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne VS1
- Laver si nécessaire cette cuve avec de l'eau propre s'il reste des produits insolubles.
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation de la suspension VS1,
- Fermer la vanne de réglage d'alimentation de la suspension VR1,
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "ARRET",
- Fermer la vanne de réglage du recyclage si nécessaire VR2,
- Arrêter la pompe de recyclage si nécessaire par son bouton " ARRET/MARCHE" sur la position "ARRET ",
- Fermer la vanne d'arrêt d'alimentation de la suspension VA1,
- Vidanger la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne VS1,

- Arrêter la pompe d'alimentation du flocculant si nécessaire par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "ARRET",
- Arrêter la pompe d'alimentation du coagulant si nécessaire par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "ARRET",
- Fermer la vanne de recyclage des boues du décanteur VA2,
- Ouvrir la vanne de soutirage du décanteur VS2,
- Pendant que le décanteur se vide, il convient d'enlever toutes les plaques inclinées de celui-ci si nécessaire,
- Laver ces plaques très soigneusement,
- Ouvrir la vanne de vidange du réacteur VS3 dans le décanteur,
- lorsque la cuve d'alimentation de la suspension est vide, il convient de la laver soigneusement,
- Ouvrir la vanne d'alimentation générale d'eau la cuve d'alimentation,
- Laver la cuve avec le jet d'eau du tuyau souple d'alimentation l'eau,
- Vidanger la cuve d'alimentation de la suspension de matière à éliminer la plus grosse partie des produits insolubles encore présents dans cette cuve,
- Continuer à remplir la cuve d'alimentation de la suspension avec de l'eau propre,
- Mettre en marche la pompe de mise en suspension de l'alimentation par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "MARCHE" lorsque le niveau d'eau propre est suffisant, pendant quelques minutes, de manière à nettoyer les circuits internes de la pompe ainsi que la cuve par brassage,
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "ARRET",
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau dans la cuve d'alimentation,
- Vidanger à nouveau la cuve d'alimentation de la suspension de manière à éliminer les produits insolubles encore présents dans cette cuve,
- Recommencer l'opération jusqu'à ce que la cuve soit parfaitement propre,

- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation de la suspension VS1,
- Remplir alors la cuve d'alimentation de la suspension d'eau propre à moitié de volume,
- Lorsque le réacteur et le décanteur sont vides, il convient de laver soigneusement les canalisations d'alimentation de la suspension et de recyclage,
- Mettre en marche la pompe de la mise en suspension de l'alimentation par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "MARCHE",
- Mettre en marche la pompe d'alimentation de suspension par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "MARCHE",
- Ouvrir la vanne d'arrêt d'alimentation de la suspension VA1,
- Ouvrir la vanne de réglage d'alimentation de la suspension VR1 de manière à avoir un grand débit d'eau de lavage,
- Lorsque l'eau propre s'écoule de la tubulure d'alimentation de la suspension dans le réacteur, il convient de fermer la vanne de réglage d'alimentation de la suspension VR1,
- Fermer la vanne d'arrêt de la cuve d'alimentation e la suspension VA1,
- Vidanger si nécessaire le réacteur avec la vanne VS4,
- Laver si nécessaire cet appareil avec de l'eau propre s'il reste des produits insolubles.
- Fermer la vanne de vidange du réacteur VS4,
- Vidanger si nécessaire le décanteur avec la vanne VS2,
- Laver si nécessaire cet appareil avec l'eau propre s'il reste des produits insolubles,
- Fermer la vanne de vidange de réacteur VS4,
- Fermer la vanne de sortie des boues vers les égouts VS2,

- Fermer la vanne de recyclage des boues vers le réacteur VA2,

- Fermer les vannes de réglage de débit d'alimentation de suspension VR1 et de recyclage des boues VR2,
- Vidange si nécessaire le bac de flocculant avec la vanne VS6,
- Laver si nécessaire ce bac,
- Fermer la vanne de vidange du bac de flocculant VS6,
- Vidanger si nécessaire le bac de coagulant avec la vanne VS5
- Laver si nécessaire ce bac,
- Vidanger si nécessaire le décanteur avec la vanne VS2,
- Fermer la vanne de vidange du bac de coagulant VS5,
- Fermer la vanne de recyclage de débit d'alimentation de suspension VR1 et de recyclage des boues VR2,

- Positionner les lamelles dans le décanteur si nécessaire avec l'inclinaison et le nombre préalablement déterminé pour la manipulation :
- Fonctionnement co-courant ou courants parallèles : le liquide d'alimentation et les boues vont dans le même sens (du haut vers le bas) : les plaques doivent être alors inclinées de la gauche vers la droite),
- Fonctionnement contre-courant ou courant croisés : le liquide d'alimentation et Les bous vont en sens inverse (liquide du bas vers le haut et solide du haut vers le bas) : les plaques doivent être alors inclinées de la droite vers la gauche),
- Positionner la plaque de fermeture de circuit hydraulique dans le décanteur pour le type de fonctionnement préalablement déterminé pour la manipulation :
- Fonctionnement co-courant ou courant parallèles : le liquide d'alimentation doit passer du haut vers le bas de décanteur : la plaque verticale positionnée doit éviter que le liquide d'alimentation ne sorte directement du décanteur vers la surverse du liquide clarifié,
- Fonctionnement contre-courant ou courant croisés : le liquide d'alimentation doit passer du bas vers le haut du décanteur : la plaque horizontale positionnée doit éviter que le liquide d'alimentation ne sorte directement du décanteur vers la surverse de liquide clarifié sans passer par les lamelles,
- Mettre en route l'armoire électrique générale par sont bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "MARCHE": le pilote est prêt pour une manipulation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Le Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau., 2011 :** « Qualité de l'eau 101 : Introduction aux microsystèmes d'approvisionnement en eau potable », Catalogue : A22-542/2011-PDF, Canada.
- [2] **SAADI.H ET HAMIDI.A., 2011 :**« Etude bibliographique sur les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux potables ». Mémoire de Licence en Technologie et Traitement des Eaux, Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- [3] <http://www.cima.ualg.pt> (consulté le 01/05/2015)
- [4] **LOUNNAS.A., 2009 :** « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de Skikda ». Mémoire de Magister, département des sciences fondamentales, faculté des sciences, Université Skikda.
- [5] <http://www-energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20de%20chaleur/3.1.html> (consulté le 23/2/2015)
- [6] **DEGREMENT., 2005 :** Mémento technique de l'eau, Tome1, édition Lavoisier, Paris.
- [7] **DEGREMONT., 1989 :** Mémento technique de l'eau, Tome 1, édition Technique et documentation & Lavoisier, Paris
- [8] **CARDOT.C., 2005 :** « Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologiques ».Ellipses, Paris
- [9] <http://photosmaghreb.canalblog.com/archives/2008/12/17/1120830.html> (consulté le 30/04/2015)
- [10] **AISSAOULA., 2013 :** «évaluation de niveau de contamination des eaux de barrage Hammam Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles ».Mémoire de Magister, Département de Biologie végétale et animale, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
- [11] http://www.routard.com/photos/tunisie/1401385-barrage_de_mellegue.html (consulté le 30/04/2015)
- [12] **DESJARDINS.R., 1997 :** « Le traitement des eaux » 2ème édition, édition l'école polytechnique de Montréal.
- [13] **RODIER.J., 1999 :** Analyse de l'eau, Dunod, Paris.
- [14] **SANTE CANADA., 2012 :** « Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique - La turbidité. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction

générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, catalogue H1449/2013F- PDF), Ottawa

[15] **CHERIF.L., 2012** : « Influence de la coagulation floculation et la décantation sur le traitement des eaux saumâtres ». Mémoire de Master en Hydraulique. Option : Eau, sol et aménagement, Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[16] **DUPONT.A., 1986** : « Hydraulique urbaine : Hydrologie - captage et traitement des eaux », Tome1 EYROLLES, Paris

[17] **SEFRAOUI.M., 2013** :« Etude comparative sur le prétraitement des eaux de mer par ultrafiltration et coagulation floculation ».Mémoire de Master en Hydraulique, Option : Technologies de Traitement des eaux, Faculté de Technologie, Université de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[18] **KETTAB. A., 1992** : « Traitement des eaux, Office des publications universitaires », Alger.

[19] **GRAINI.L., 2011** : « Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique ». Mémoire de MAGISTER, Option : Optique appliquée, Université Ferhat Abbas, Sétif

[20] **AMMOUR. F., 2014** : « Cours de Traitement des eaux » spécialité : Hydraulique urbaine, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), Blida

[21] **BESSEDIK.M., 2014** : « support du cours : Traitement de l'eau ». Option : Licence Technologies de Traitement des eaux, Université de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. (http://fsi.univ-tlemcen.dz/dept_hyd.html)

[22] **SELKA.K., 2013** : « Etude de l'influence des particules argileuses sur le traitement de coagulation floculation ».Mémoire de Master en Hydraulique, Option : Technologies de Traitement des eaux, Faculté de Technologie, Université de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen

[23] **DELEON.H., 2006** : « Supervision et diagnostic des procédés de protection d'eau potable ». Thèse de Doctorat Université de Toulouse III.

[24] **JUSTIN.E., 2011** : Module « production et utilisation de l'eau », Institut Universitaire Professionnel « agro-alimentaire » de Caen.

[25] **VALENTIN.N., 2000** : « Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable ». Thèse de Doctorat, UTC, Lyonnaise des Eaux ,CNRS.

[26] **VILAGINES.R., 2003** : « Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie », 2ème édition, Lavoisier, Paris.

- [27] **DIHANG.M.D., 2007** : « Mécanismes de coagulation et de floculation de suspensions d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux ». Thèse de Doctorat en Génie des Procédés et de l'environnement, Université Paul Sabatier, Toulouse III.
- [28] **DESJARDINS.C., 1999**: « Simulation et étude au laboratoire de la floculation testée (ACTFILO) à l'aide d'une procédure modifiée de Jar test ». Mémoire pour l'obtention de diplôme de maîtrise des sciences appliquées, Département des Génies Civil, Géologiques et des Mines, Université de Montréal.
- [29] <http://www.ac-grenoble.fr>
- [30] **ZONGO.I., 2009** : « Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application de traitement de deux effluents textiles et un effluent simulé de tannerie ». Thèse de Doctorat en Génie Des Procédés et De Produits, Institut national polytechnique, Lorraine.
- [31] **ASSAAD.E., 2006**: « Étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition » . Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en chimie ,Université du Québec, Montréal.
- [32] **LAKHDARI.B., 2011** : « Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz ». Mémoire de Magister, Spécialité : Chimie, Option : Chimie inorganique et environnement. Faculté des Sciences, Département de chimie, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen
- [33] **BACHA.N., 2010** : « Influence de paramètres réactionnels sur la stœchiométrie sulfate d'aluminium /substances aromatiques acides dans des eaux a minéralisation variable. ». Mémoire de Magister en Hydraulique, Option : Hydraulique Urbaine et Ouvrages, Faculté des Sciences et de la technologie. Université Mohamed Khider, Biskra
- [34] **HARRAT.N., 2013**: « Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface ». Thèse de Doctorat en sciences, Spécialité : Hydraulique, Département : Génie Civil et Hydraulique, Faculté des Sciences et de la technologie, Université Mohamed Khider – Biskra
- [35] **BELARBI.F., 2000** : « Etude comparative de l'effet des caractéristiques physicochimiques des particules solides sur la coagulation-floculation » Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Génie rural Université de Blida
- [36] **GAYE.S ET OUALIA., 2014** : « Influence de concentration de la Bentonite industrielle sur la coagulation floculation décantation des eaux faiblement saumâtres ». Mémoire de Master en Hydraulique, Option : Technologies de Traitement des eaux, Faculté de Technologie, Université de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

- [37] **SERBAH.B., 2012** :« Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda Tiaret », Mémoire de Magister en Génie civile, Faculté de Technologie, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen
- [38] **REBOZA.A., 2011** : « Indicateurs texturaux pertinents pour l'infiltration des eaux traitées en assainissement non collectif ». Rapport de stage De Master recherche. École Nationale des Ponts et Chaussées.
- [39] **BULLETIN TECHNIQUE** : Pilote de coagulation floculation décantation TE600.
- [40] **BENDADA.K et BOULAKRADECHE.M., 2011** : « des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET): Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds ». Mémoire de Master, Faculté de chimie, USTHB.
- [41] **CREPA., 2007**: « Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées Protocole de détermination des paramètres Physico-chimiques et bactériologiques ». Centre régional pour l'eau potable et L'assainissement à faible coût.
- [42] **DAINI .E**, Lycée Paul Cézanne, Aix en Provence, <http://labotp.org>
- [43] **BENYOUB.A et EL-MAGROUD.F.Z., 2014** : « Traitements des eaux usées urbaines par coagulation-floculation et décantation ». Mémoire de Master, Faculté de chimie. Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohammed Boudiaf.