

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس  
Université M'hamed Bougara de Boumerdès



**Faculté des Sciences - Département de Chimie**

**Domaine :** Science de la matière

**Filière :** Chimie

**Spécialité :** Chimie de l'environnement

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Présentée et soutenue par

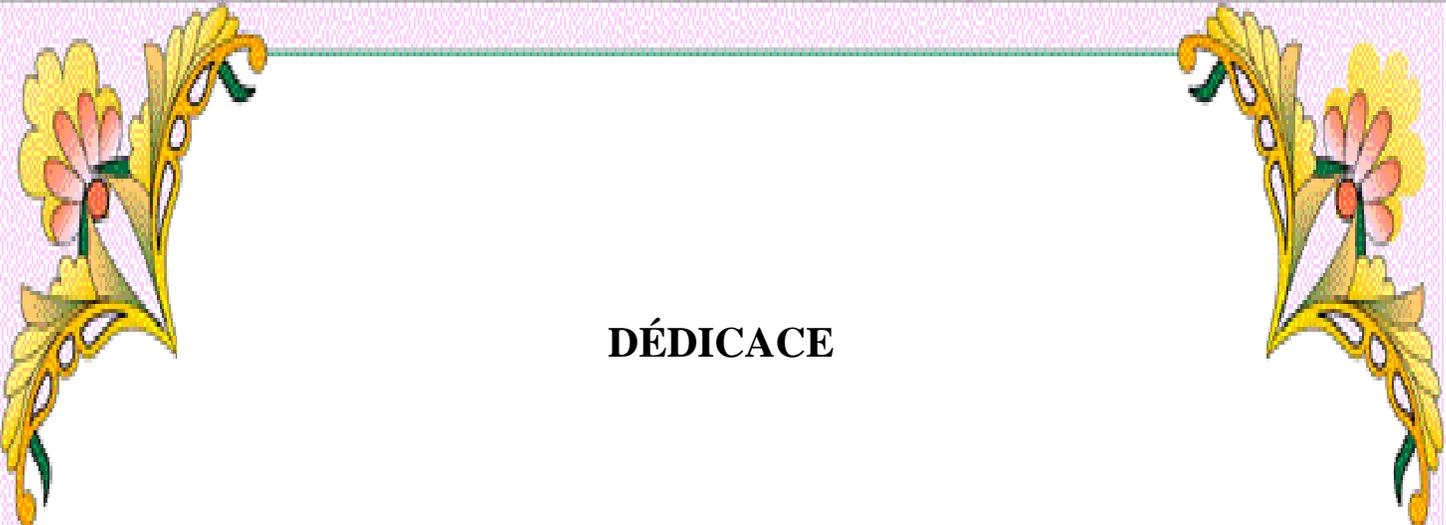
**HENNIA Tarak Abdelkader**

21 juillet 2019

**Thème**

**“ Etude du fonctionnement des ouvrages (décanteurs, filtres) et de l'efficacité de potabilisation de l'eau ”**

M <sup>me</sup> N. BOUDIEB	Maitre de conférences B FS-UMBB	Présidente
M <sup>me</sup> D. AKROUM-AMROUCHE	Maitre de conférences B FS-UMBB	Promotrice
M <sup>me</sup> H. BOUSSAK	Maitre de conférences B FS-UMBB	Examinatrice
M <sup>me</sup> N. KORICHE	Maitre de conférences B FS-UMBB	Examinatrice



## DÉDICACE

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers :*

*A mes chers, père et mère, qui sans eux rien n'aurait pu être fait,*

*A mes chers sœurs et frères,*

*A tous mes amis.*





## Remerciements

Ce travail a été réalisé au laboratoire de procès du centre de traitement eau de Boudouaou, Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer par des remerciements, du fond du cœur toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce travail,

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à ma promotrice Mme D. AKROUM-AMROUCHE, Maître de conférences à l'Université de Boumerdès UMBB, pour avoir dirigé ce mémoire, pour avoir su consacrer son précieux temps à mon travail et pour l'intérêt constant qu'elle y a porté.

Je voudrais adresser mes vifs remerciements à Mme N. BOUDIEB, Maître de conférences à l'Université de Boumerdès UMBB, pour avoir accepté d'être le président de mon jury de mémoire et à qui j'exprime mon profond respect.

Un très grand merci à Mme N. KORICHE, Maître de conférences à l'Université de Boumerdès UMBB, d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie également grandement Mme H. BOUSSAK, Maître de conférences à l'Université de Boumerdès UMBB, d'avoir examiné notre travail.

Je remercie Mr. HADJ ARAB Mourad, Chef de service laboratoire procès du centre de traitement eau de BOUDOUAOU, pour son aide et accueil chaleureux afin de réaliser ce projet.

Mes remerciements vont aussi à Mr. ILILLES Mouloud, Ingénieur d'Exploitation Usine Eau Potable, pour son accompagnement, et à qui je témoigne ma profonde reconnaissance pour le suivi constant et les conseils dont j'ai pu bénéficier au cours de ce travail.

Merci à tout le personnel analyste labo procès de laboratoire de traitement d'eau de la station de Boudouaou pour leurs soutiens et aides, leur disponibilité, informations et orientation, à savoir : MECHAHED Taous ; BENHABILES Naima ; KIOUA Abdelkader ; CHAREF Fateh.

Enfin merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé directement ou indirectement à l'élaboration de ce mémoire.



# SOMMAIRE

---

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Dédicace</b>	
<b>Remerciements</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Partie bibliographique</b>	
I.1 LES RESSOURCES EN EAUX.....	4
I.1.1 Les eaux de surface.....	4
I.1.2 Eaux souterraines.....	5
I.1.3 Eaux de mer et eaux saumâtres.....	6
I.2 Pollution des eaux naturelles.....	7
I.2.1 Origine de la pollution des eaux naturelles.....	7
I.2.1.1 Industrielle.....	7
I.2.1.2 Agriculture.....	8
I.2.1.3 Domestique.....	8
I.2.1.4 Pollutions d'origine naturelle.....	8
I.2.1.5 Pollution par les eaux pluviales.....	8
I.2.1.6 Pollution induite par les substances associées au traitement de l'eau.....	9
I.2.2 Les principaux polluants des eaux naturelles.....	9
I.2.2.1 Polluants physiques.....	9
I.2.2.2 Polluants chimiques.....	10
I.2.2.3 Polluants microbiologiques.....	11
I.2.2.4 Récapitulation.....	11
II. Procédés de potabilisation des eaux de surface.....	12
II.1. Les procédés de traitement physiques.....	12
II.2. Les procédés de traitement chimique.....	13
II.3. Traitement de clarification.....	14
II.3.1. Coagulation-floculation.....	14
II.3.2. La décantation.....	15
II.3.2.1. Classification des matières décantables.....	16
II.3.2.2. Types de décantation.....	17
II.3.2.3. Types des décanteurs.....	18
II.3.3. La Filtration.....	21
II.3.3.1. Les différents types de filtration.....	22
II.3.3.2. Mécanisme de filtration.....	23
II.3.3.3. Choix du mode de filtration.....	24
II.3.4. Traitement de désinfection.....	24
II.3.5. Traitement d'Affinage.....	24
II.3.6. Stockage.....	25
III. Généralités sur le procédé de coagulation-floculation.....	25

## SOMMAIRE

---

III.1. Solutions colloïdales.....	25
III.1.1. Structure des colloïdes.....	26
III.1.2. Déstabilisation de colloïdes.....	27
III.2. Coagulation-floculation.....	29
III.2.1. Définition.....	29
III.2.2. Paramètres liés à la coagulation-floculation.....	30
III.2.3. Mécanismes de la coagulation floculation.....	32
III.2.4. Types de coagulants/floculants utilisés.....	32
III.2.4.1. Les coagulants.....	32
III.2.4.2. Les adjuvants de floculation.....	33
III.2.5. Réactions d'hydrolyse de l'aluminium et mécanismes de déstabilisation.....	35

### Chapitre II : Matériel et méthodes

<b>Partie 1. Etude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres).....</b>	<b>38</b>
II.1.1. Les étapes de procédé de traitement adapté à la station.....	38
II.1.2. Les surveillances et les contrôles effectués.....	44
II.1.3. Etude du fonctionnement des ouvrage de potabilisation de l'eau (décanteurs, filtres).....	44
<b>Partie 2. Etude de l'efficacité de potabilisation de l'eau.....</b>	<b>45</b>
II.1. Protocole d'échantillonnage.....	45
II. 2. Méthodes d'analyses.....	46
II. 2.1. Caractérisation des eaux d'appoint de la station de potabilisation de BOUDOUAOU.....	46
II. 2.2. Présentation des paramètres et méthodes d'analyses utilisées.....	46
II.3. Essais de coagulation-floculation (Jar-test).....	49
II.3.1. Description des essais de Jar Test.....	49
II.3.2. Préparation des solutions.....	50
II.3.2.1. Préparation de la solution du coagulant Sulfates d'alumine.....	50
II.3.2.2. Préparation de la solution du floculant.....	51
II.3.2.3. Préparation de la solution des adjuvants.....	51
II.4. Optimisation des essais de coagulation-floculation.....	54
II.4.1. Essais de la coagulation.....	54
II.4.2. Essais de la floculation.....	55
II.4.2.1. Essai de la détermination de la dose optimale de floculant Poly- électrolyte.....	55
II.4.2.2. Influence des adjuvants sur la coagulation-floculation.....	55
II.4.2.3. Influence du pH sur la coagulation-floculation.....	56

### Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Optimisation des essais de coagulation-floculation.....	58
III.1.1. Essais de la coagulation.....	58
III.1.1.1. Détermination de la dose optimale des coagulants.....	58
III.1.1.2. Comparaison entre les coagulants étudiés.....	61
III.1.2. Essais de la floculation.....	62
III.1.2.1. Essai de la détermination de la dose optimale de floculant Poly- électrolyte.....	62
III.1.2.2. Influence des adjuvants sur la coagulation-floculation.....	63
III.1.2.2.1. Influence de la chaux éteint sur la coagulation floculation.....	63
III.1.2.2.2. Influence du charbon actif en poudre sur la coagulation floculation.....	64
III.1.2.2.3. Influence de la bentonite sur la coagulation floculation.....	65
III.1.2.3. Comparaison entre les coagulants étudiés.....	66

## SOMMAIRE

---

III. 1.2.4. Influence du pH .....	67
III.1.3. Discussion.....	68
III.2. Analyse de l'efficacité des ouvrages de décantation et de filtration.....	69
III.2.1. Analyse de l'efficacité des ouvrages de décantation .....	69
III.2.2. Analyse de l'efficacité des ouvrages de filtration.....	71
III.2.3. Etude de l'efficacité des traitements de potabilisation de la station .....	71
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>73</b>
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>74</b>
<b>ANNEXES</b>	

## Liste des tableaux

<b>Chapitre I. Partie bibliographique</b>		
Tableau I.1	Principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines	6
Tableau I.2	Salinité des principales eaux de mer.	7
Tableau I.3	Les différents polluants	11
Tableau I.4	Temps de sédimentation pour différentes particules, d'après la loi de Stokes	16
Tableau I.5	Les étapes de l'agrégation	30
<b>Chapitre II. Matériel et méthodes</b>		
Tableau II.1	Désinfection, correction du pH et stockage	43
Tableau II.2	Points d'échantillonnage des différentes étapes de traitement de laboratoire BOUDOUAOU	46
Tableau II.3	Spécifications techniques du coagulant	50
Tableau II.4 :	Spécifications techniques de flocculant	51
Tableau II.5 :	spécifications techniques de la Chaux	51
Tableau II.6 :	Caractéristiques de charbon actif en poudre utilisée en station	52
Tableau II.7 :	Caractéristiques de la Bentonite naturelle de MAGHNIA	52
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>		
Tableau III.1 :	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d'aluminium	58
Tableau III.2:	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la bentonite sans amélioration	59
Tableau III.3 :	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la bentonite avec amélioration	60
Tableau III.4 :	Rendement d'élimination de la turbidité NTU et de la matière organique O <sub>2</sub> mg/l après optimisation	61
Tableau III.5 :	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de flocculant Poly- électrolyte	62
Tableau III.6 :	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la chaux en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine	63
Tableau III.7 :	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de Charbon actif en poudre en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine	64
Tableau III.8 :	Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la bentonite avec amélioration en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine	65
Tableau III.9 :	Rendement d'élimination de la turbidité NTU et de la matière organique O <sub>2</sub> mg/l après optimisation.	66
Tableau III.10	Les taux de traitements appliqués à la station de BOUDOUAOU	70

## Liste des figures

<b>Chapitre I. Partie bibliographique</b>		
Figure I.1	Etats dispersés- états dissous	10
Figure I.2	Phénomène de coagulation-floculation	15
Figure I.3	Évolution de l'aspect d'une suspension en sédimentation dans une éprouvette	17
Figure I.4	Schéma d'un décanteur horizontal	19
Figure I.5	Schéma d'un décanteur à flux verticaux	20
Figure I.6	Mécanismes de transport des particules à la surface des grains de média filtrant lors de la filtration	23
Figure I.7	Évolution du potentiel électro-négatif en fonction de l'éloignement de la particule dans le cas de l'eau brute, distribution ionique autour d'un colloïde.	27
Figure I.8	Solubilité de l'aluminium en fonction du pH	36
<b>Chapitre II. Matériel et méthodes</b>		
<b>Partie 1. Etude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres)</b>		
Figure II.1	La filière de traitement de la station BOUDOUAOU	38
Figure II.2	Obturbateurs à disque	39
Figure II.3	Chambre de mélange	40
Figure II.4	Chambre de répartition	40
Figure II.5.a.	Décanteur PULSATOR	41
Figure II.5.b.	Décanteur PULSATOR	42
Figure II.6.a.	Filtres en moment du lavage	42
Figure II.6.b.	Filtres en phase de remplissage	42
Figure II.7.	Connexion Eau Traitée TAKSEBT + BOUDOUAOU	43
Figure II.8	Etude du fonctionnement des ouvrage de potabilisation de l'eau (décanteurs, filtres)	44-45
<b>Partie 2. Etude de l'efficacité de potabilisation de l'eau</b>		
Figure II.9.	Protocole de détermination L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO <sub>4</sub> )	49
Figure II.10.	Floculateur de laboratoire Jars test	50
Figure II.11.	protocole d'activation chimique de la bentonite	54
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>		
Figure III.1 :	Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de coagulant sulfate d'alumine	58
Figure .III.2 :	Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la bentonite sans amélioration	59
Figure .III. 3 :	Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la bentonite avec amélioration	60
Figure .III. 4 :	Rendement d'élimination de la turbidité NTU et de la matière organique après optimisation	61
Figure. III.5 :	Evolution de la turbidité en fonction de la dose de floculant P.E ajouté	63
Figure. III. 6 :	Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la Chaux en complément de 50 mg/l de sulfate d'alumine	64
Figure. III. 7 :	Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de Charbon Actif en Poudre en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine	65

## Liste des figures

Figure. III. 8 :	Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la bentonite avec amélioration en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine	66
Figure.III. 9 :	Rendement d'élimination de la turbidité NTU et de la matière organique après optimisation	67
Figure.III. 10 :	Evolution de la turbidité, MO et de l'Al résiduaire en fonction du pH à la dose optimale de sulfate d'alumine de 50mg/l	68

# **INTRODUCTION GENERALE**

# **INTRODUCTION GENERALE**

La sûreté et la qualité de l'eau destinée à la consommation est un enjeu important qui menace la vie humaine. L'organisation mondiale de la santé et les réglementations nationale et internationale ont mis en place des normes et des recommandations, afin d'éviter la présence de micro-organismes et de substances chimiques indésirables dans l'eau potable. Produire une eau garantissant le maintien d'une bonne qualité en distribution revient à fixer des objectifs plus sévères sur un certain nombre de paramètres afin de satisfaire aux exigences de qualité spécifiées dans la norme algérienne de l'eau potable.

La production d'eau potable peut être définie comme la manipulation d'une source d'eau pour obtenir une qualité d'eau qui satisfait à des buts spécifiés ou des normes érigées par la communauté au travers de ses agences régulatrices. Les eaux brutes qu'elles soient souterraines ou superficielles ne présentent pas toujours les critères requis en termes de qualité chimique et microbiologique, ce qui nécessite un traitement adéquat avant la consommation.

En se basant sur la qualité de l'eau brute à l'entrée, on définit les processus de traitement les mieux adaptés afin de débarrasser l'eau de toutes les matières en suspension et colloïdales qu'elles contiennent et les substances dissoutes indésirables, de garantir également une bonne protection vis-à-vis du risque parasitaire ce qui suppose un traitement de clarification et de désinfection optimisé.

Dans une filière classique de traitement de l'eau brute en eau potable, le procédé de coagulation-floculation suivie d'une clarification est de loin, le traitement le plus efficace pour la production d'eau potable mais aussi celui qui conditionne l'optimisation de la plupart des autres traitements. Cette opération réduit non seulement la teneur initiale en pollution particulaire mais aussi la concentration des composés organiques dissous et des matières en suspension, et celles dites colloïdales. Ces particules sont responsables de la turbidité et de la couleur d'une eau. En effet, l'efficacité et la fiabilité d'une filière de traitement, dépendent fortement de l'optimisation et du contrôle de l'ensemble des procédés de coagulation, floculation, décantation et filtration.

A l'heure actuelle, Il est apparu que l'unité de coagulation-floculation était une étape clé dans la production de l'eau potable. Elle permet d'éliminer les particules colloïdales qui sont des sources de contamination par la suite. La dose de coagulant et du floculant à injecter est la variable principale utilisée pour conduire une unité de coagulation-floculation. Actuellement, le dosage est le plus souvent déterminé par une analyse chimique effectuée en laboratoire appelée « Jar-test ». L'efficacité de ce procédé dépend du pH, du type et de la dose du coagulant et de l'adjuvant ainsi que les conditions de mise en œuvre du coagulant (Conditions d'agitation du milieu, et temps de contact du coagulant).

Le but de ce travail consiste à l'étude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres) et l'optimisation de la coagulation – floculation en vue d'améliorer les étapes de la décantation et de la filtration afin d'obtenir des taux d'abattement en MES plus importants. Pour y parvenir, les essais ont été menés en jar tests en faisant varier :

- les dose des coagulants Sulfate d'Alumine (SA) et bentonite avec et sans amélioration,
- le type et la dose de réactifs complémentaires, c'est-à-dire l'ajout des adjuvants de floculation (bentonite, charbons actifs, chaux et un poly-électrolyte)

Des mesures de l'oxydabilité au permanganate de potassium et d'absorbance UV à 254 nm, de turbidité et du pH, ainsi ont été effectuées afin de déterminer l'efficacité du procédé dans différentes conditions.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités.
- Le deuxième chapitre est consacré aux matériel et méthodes utilisés pour réaliser ce sujet.

Ce chapitre est divisé en deux parties :

- La première s'agit d'une étude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres), réalisée au niveau de laboratoire de procès du centre de traitement eau de BOUDOUAOU.
- La seconde concernera l'étude de l'efficacité de potabilisation de l'eau.
- Le troisième chapitre comprend les résultats du sujet, l'analyse et l'interprétation de ceux-ci ainsi qu'une synthèse des phénomènes observés.

Enfin et pour finir, une conclusion générale reprend les principaux apports scientifiques de ce présent travail.

# **PARTIE THEORIQUE**

**CHAPITRE I :**  
**Partie bibliographique**

## I.1 Les ressources en eaux

On retrouve trois sources principales d'eaux brutes : les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant [1].

### I.1.1. Les eaux de surface

Les eaux de surface ont pour origines soit les eaux souterraines (par une résurgence, source), soit les eaux de ruissellements, soit les eaux de pluie. Ces eaux se regroupent en cours d'eau et sont caractérisées par une surface libre, surface de contact entre l'eau et l'atmosphère, toujours en mouvement, avec une vitesse variable. Les eaux de surface peuvent se retrouver stockées dans des réservoirs naturels (lacs) ou artificiels (barrages), de profondeur variable [2].

On peut répartir les eaux de surface en trois catégories; eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval) et eaux de lac. La dureté de toutes les eaux de surface est modérée [1].

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Le tableau I.1 donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines [2]. Il faut noter

- présence quasi-générale de gaz dissous, en particulier l'oxygène,
- concentration importante en **matières en suspension**, tout au moins pour les eaux courantes.

Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers: la turbidité résiduelle est alors colloïdale,

- présence de **matières organiques** d'origine naturelle provenant de la décomposition des Organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort (végétaux, animaux...),

- présence de plancton: les eaux de surface sont le siège d'un développement important de Phytoplancton (algues...) et de zooplancton. Dans certaines conditions, une vie aquatique intense peut se développer: développement de végétaux macrophytes, de poissons.

- variations journalières (différence de température, d'ensoleillement) ou saisonnières:

Variations climatiques (température, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires: pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles. Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue (O<sub>2</sub>, Fe, Mn,

oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année.

- pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux [2].

### I.1.2 Eaux souterraines

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps. Les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute [1].

La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. Une nappe peut être **libre**. Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue. Une nappe peut être **captive**. Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle est généralement plus profonde. 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.

**Le stockage et la circulation** de l'eau de nappe peuvent se situer dans la totalité de la couche géologique considérée: c'est le cas des terrains poreux tels que sables, grès, alluvions. Ils peuvent s'établir dans des fissures ou fractures de roches compactes. Les roches compactes à fissures étroites sont représentées par la plupart des roches éruptives ou métamorphiques. Ces roches ne sont pas intrinsèquement perméables. L'eau pénètre les roches et y circule grâce aux fissures localisées et dispersées. Les roches compactes à fissures larges ou à cavernes sont typiquement représentées par les terrains calcaires: les fissures originelles sont progressivement élargies par dissolution dans l'eau chargée de gaz carbonique qui y circule; on aboutit à des cavernes importantes, avec parfois formation de vrais cours d'eau souterrains; c'est le relief **karstique**. On peut aussi trouver rarement des marnes et exceptionnellement du grès.

La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la **composition chimique** de l'eau retenue. A tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule: il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées. Les eaux circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques. Parmi les caractéristiques de ces eaux, il faut retenir une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, Dureté souvent élevée. Concentration élevée de fer et de manganèse. L'absence presque générale d'oxygène. Dans le cas des nappes en milieu fermé, principalement en circulation de type karstique, on peut cependant

relever des variations brutales dans la composition de l'eau, avec apparition de turbidité et de pollution diverses. Ces variations sont liées à celles du débit de la nappe engendrées par les précipitations. En outre, les eaux souterraines sont souvent d'une grande pureté bactériologique [2-5].

**Tableau I.1:** Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines [5].

<b><u>Caractéristique</u></b>	<b><u>Eaux de surface</u></b>	<b><u>Eaux souterraines</u></b>
<b><u>Température</u></b>	Variable suivant saisons	Relativement constante
<b><u>Turbidité</u></b>	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
<b><u>Couleur</u></b>	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
<b><u>Minéralisation globale</u></b>	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
<b><u>Fer et Manganèse dissous</u></b>	Généralement absents	Généralement présents
<b><u>Nitrates</u></b>	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
<b><u>Micropolluants minéraux et organiques</u></b>	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
<b><u>Eléments vivants</u></b>	Bactéries, virus	Ferro-bactéries fréquentes

### **I.1.3 Eaux de mer et eaux saumâtres**

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce, il est parfois nécessaire de recourir à des eaux de mer ou même les eaux saumâtres. Pour dessaler ces eaux, les principales techniques sont à membranaire : l'électrodialyse ou l'osmose inverse. Mais elles sont coûteuses et consomment beaucoup d'énergie [3].

Les eaux de mer et les eaux saumâtres sont caractérisées par leurs concentrations en sel dissous, c'est ce qu'on appelle leur "salinité". La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/l, par contre les eaux saumâtres ont une salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g/l de sels. Ce sont parfois des eaux de surfaces mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés [4].

**Tableau I.2:** Salinité des principales eaux de mer [1].

<u>Mer ou Océan</u>	<u>Concentration (mg/l)</u>
Mer rouge	43000
Golfe arabique	43000
Mer méditerranée	39400
Océan atlantique	36000
Océan indien	33800
Océan pacifique	33000
Mer adriatique	25000
Mer noire	13000
Mer baltique	7000

## I.2 Pollution des eaux naturelles

La pollution des eaux se définit par la dégradation de leur qualité naturelle et pure qui est souvent provoquée par l'activité humaine, les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés. Ceci constitue un problème universel dont la gravité préoccupe les autorités et les populations, car elle compromet la santé et menace l'avenir d'un développement durable, et sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

### I.2.1 Origine de la pollution des eaux naturelles

La pollution des eaux procède de plusieurs origines :

#### I.2.1.1 Industrielle

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration [6].

### **I.2.1.2 Agriculture**

La pollution d'origine agricole s'est intensifiée depuis quelques années. Elle concerne surtout l'épandage d'engrais chimiques (nitrates, phosphates) les herbicides, insecticides et d'autres produits phytosanitaires et les excédants de déjection animale provenant d'effluents d'élevages qui enrichissent les cours d'eaux en divers produits azotés destinés à protéger les cultures [7].

Ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration. Ces produits peuvent agir sur le milieu récepteur soit par une pollution directe par la nocivité des produits (herbicides, insecticides) soit indirectement par l'apport des sels nutritifs qui favorisent la prolifération des algues qui abaissent le taux d'oxygène et gêne la vie aquatique lors de l'eutrophisation [8].

### **I.2.1.3 Domestique**

Les eaux usées domestiques se présentent comme un mélange complexe de matières non dissoutes dans une solution aqueuse de matières organiques et minérales. Les principaux composés organiques sont des graisses, des savons, des protides et des glucides ainsi que leurs produits de décomposition. Ces composés proviennent en grande partie des excréments humains qui sont en nature et en quantité relativement constante avec une tendance vers un enrichissement en matières azotées et en graisse pour les niveaux de vie les plus élevés des populations concernées [9].

### **I.2.1.4 Pollutions d'origine naturelle**

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes. La pollution naturelle, liée aux surfaces non urbanisées est essentiellement due aux phénomènes d'érosion et au cycle naturel de la végétation. Les polluants issus des surfaces non urbanisées sont surtout des particules minérales, de la matière organique et des composés physico-chimiques. Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution, soit ces marécages qui favorisent la prolifération des vecteurs de maladies telle que les moustiques [10].

### **I.2.1.5 Pollution par les eaux pluviales**

Il ne faut pas oublier par ailleurs la pollution générée par les eaux pluviales. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles). L'eau de pluie n'est pas totalement pure. En effet les gouttes d'eau ne peuvent atteindre une taille suffisante pour tomber vers le sol que

s'il existe des particules solides dans l'atmosphère permettant d'initier le processus de nucléation. Une partie des polluants atmosphériques urbains sont donc entraînés vers le sol lors des périodes pluvieuses [11].

### **I.2.1.6 Pollution induite par les substances associées au traitement de l'eau**

La chloration de l'eau dans le but de la rendre potable est un procédé très répandu et reconnu efficace. La chloration est même considérée par les experts comme étant l'une des plus importantes initiatives de santé publique du XXe siècle. Cependant, bien qu'il soit efficace pour contrôler principalement les virus et les bactéries, le chlore, en présence de matières organiques, entraîne la formation de plusieurs sous-produits de chloration (SPC) potentiellement cancérigènes comme par exemple les trihalométhanes (THM). Le sulfate d'aluminium est un produit utilisé pour coaguler les substances contenues dans l'eau. L'eau ainsi traitée présente des concentrations d'aluminium plus élevées que dans l'eau non traitée. La toxicité de l'aluminium a été étudiée en relation avec la maladie d'Alzheimer qui influe sur la mémoire et le comportement des personnes atteintes.

## **I.2.2 Les principaux polluants des eaux naturelles**

### **I.2.2.1 Polluants physiques**

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en :

#### **a. Les éléments grossiers**

Leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simples grilles. Dans les eaux de surface, ces éléments sont généralement : les brindilles, les feuilles, les arbres...etc. plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

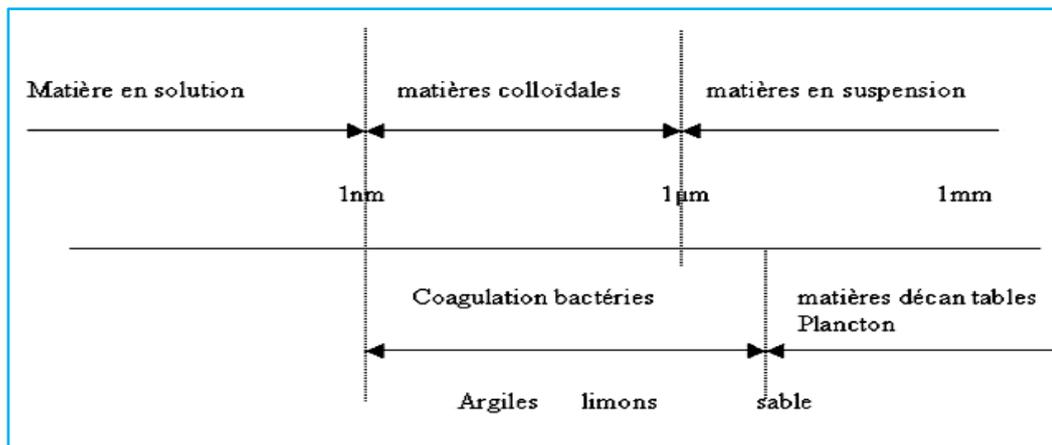
#### **b. Les sables**

Les sables sont des particules minérales d'une certaine dimension. Ils sont généralement à base de silice ou de composition minérale équivalente. Leur masse spécifique est de 2,5 à 2.6 g/cm<sup>3</sup>, ce qui permet leur élimination par simple décantation [12].

#### **c. Les matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension rencontrées dans les eaux (essentiellement superficielles) sont très diverses tant par leur nature que leur dimension. Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes, et de produits de dégradation animaux ou végétaux [13].

Selon leur dimension : Les états dispersés que l'on peut diviser en suspension et état colloïdal, se distinguent de l'état dissout, notamment par les dimensions particulières. La Figure I.1 donne en première approximation, une échelle de dimensions particulières et les états correspondants.



**Figure I.1 :** Etats dispersés- états dissous.

Selon leur nature : La nature des matières solides en suspension peut être soit minérale soit organique. Les polluants minéraux constituent une gêne physique pour l'environnement mais n'évoluent pas dans le temps. Les rejets minéraux colmatent les sols sur lesquels ils sont évacués aboutissant ainsi à l'asphyxie de ce sol ou contribuent à une pollution par leur volumes (dépôts) ainsi que les polluants organiques évoluent qui ont besoin d'oxygène et qui dégageront des odeurs par putréfaction dans ce cas les métabolismes continuent créant des besoins et occasionnant des rejets qui gênent l'environnement ces éléments doivent être traités avant leur évacuation [14].

### I.2.2.2 Polluants chimiques

La pollution chimique d'une eau est autrement plus complexe et peut provenir de plusieurs sources. On distingue selon la nature de la pollution chimique : les éléments chimiques minéraux et les éléments chimiques organiques.

#### a. Les éléments chimiques minéraux

L'eau étant un très bon solvant permettra la mise en solution de nombreux composés avec lesquels elle sera en contact [15, 16].

- **Les nitrates ( $NO_3^-$ )** : les nitrates sont présents naturellement dans les eaux, les apports Excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressource. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons. La consommation d'eau chargée en nitrates ou nitrites par la femme enceinte ou le nourrisson peut constituer un risque pour le nouveau-né [17].

- **Les chlorures** : en plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture [12].
- **Les sulfates ( $SO_4^{2-}$ )** : en plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfato-réductrice transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement [12].
- **Les métaux lourds**  
Parmi les métaux lourds dangereux pour la santé, il faut citer le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le zinc et le chrome. Ces métaux se trouvent à l'état naturel dans le sol, sous forme de traces qui posent peu de problèmes. Les métaux lourds, qui parviennent dans les eaux, font partie des polluants de l'eau, les métaux lourds exemple dans les sédiments [16].

#### b. Les éléments chimiques organiques

De nombreuses substances organiques naturelles sont présentes dans les eaux, souterraines ou de surface. Elles se classent en 6 groupes principaux: substances humiques, acides hydrophiliques, acides carboxyliques, peptides et amino- acides, hydrates de carbone et hydrocarbures [5].

D'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort (végétaux, animaux...) [2]. On trouve également des substances organiques provenant des activités urbaines. Les substances organiques sont caractérisées analytiquement soit par la mesure d'indices globaux (*L'oxydabilité au permanganate et le carbone organique total*), soit par la mesure de groupes réactionnels, soit encore par la mesure de substances bien définies [5].

#### I.2.2.3 Polluants microbiologiques

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

#### I.2.2.4 Récapitulation

En conclusion nous avons regroupé les différents polluant dans le tableau I.3 ci-dessous.

**Tableau I.3** : Les différents polluants.

Matières physiques	pH, MES, Température
Matières minérales	Résidu sec, $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $K^+$ , $SO_4^{2-}$ , $Cl^-$
Matières organiques	Oxygène dissous, DBO5, DCO, M. organique
Matières azotées	$NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$
Matières phosphorées	$PO_4^{3-}$

## II. Procédés de potabilisation des eaux de surface

Les eaux à visée de potabilisation pour la consommation humaine sont de différentes natures ; les eaux souterraines constituent 22 % des réserves d'eau douce soit environ 1000 milliards de m<sup>3</sup> [18]. Elles sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique. Néanmoins, les terrains traversés en influent fortement la minéralisation. Les eaux de surface se répartissent en eaux courantes ou stockées (stagnantes). Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique. Le principal objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit qui satisfait à un ensemble de normes de qualité à un prix raisonnable pour le consommateur.

L'efficacité du traitement adopté dépendra de la façon dont sera conduite l'exploitation de l'usine de traitement. Pour atteindre l'objectif souhaité, l'exploitant devra d'une part respecter certains principes élémentaires pour assurer le contrôle du processus de traitement et le contrôle de l'eau traitée, et d'autre part disposer d'un certain nombre de moyens technique et humains [19] .

➤ Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement

Constitué des phases suivantes :

- Prétraitement
- Pré-oxydation
- Traitement de clarification
- Traitement de désinfection.
- Affinage.

### II.1. Les procédés de traitement physiques

#### a) Aération

Cette aération est nécessaire si l'eau présente un défaut d'oxygène; l'aération permet alors [5] :

- L'oxydation des ions ferreux, l'oxydation de manganèse
- L'augmentation de la teneur en oxygène, afin de rendre l'eau agréable à boire,
- de lutter contre l'anaérobiose et d'éviter la corrosion de conduites métalliques en permettant la formation de la couche protectrice.

➤ L'aération peut également être nécessaire si l'eau contient des gaz en excès :

- H<sub>2</sub>S, qui donne un goût très désagréable et qui s'élimine aisément par une simple aération atmosphérique,
- oxygène, quand l'eau est en état de sursaturation et que son dégagement est susceptible de troubler le fonctionnement des décanteurs, dont le floc a tendance à remonter en surface, et

des filtres qui subissent un faux encrassement par dégazage au sein de la masse filtrante (embolie gazeuse),

- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), rendant une eau agressive; son élimination par aération doit s'effectuer à la pression atmosphérique. Elle doit être plus ou moins poussée en fonction de la minéralisation de l'eau; en effet, il peut être nécessaire de ne procéder qu'à une élimination partielle du gaz carbonique, la portion restante pouvant servir à accroître la minéralisation de l'eau par réaction sur produits neutralisants [5].

#### **b) Prétraitement**

Les eaux subissent une étape de prétraitement sur le site de captage avant d'être conduites vers l'unité de traitement. Afin d'éliminer les particules de grosse taille, les branches, le sable...etc.

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques. Il est dessiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments, dont la nature où la dimension constituerait un gêne pour les traitements ultérieurs.

Les opérations de prétraitement peuvent comporter un dégrillage, un dessablage ou un tamisage, un débouage, un déshuilage. Selon la qualité de l'eau brute, une station de traitement peut comporter une ou plusieurs de ces opérations [5].

### **II. 2. Les procédés de traitement chimique « Pré-oxydation /Pré-chloration »**

On peut utiliser à cet effet le chlore et ses dérivés, l'ozone ou le permanganate de potassium.

L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. Si les eaux à traiter contiennent beaucoup de matières organiques, ou encore de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse [5].

#### **a. Pré-oxydation par le chlore**

La pré-chloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le plus réactif et le plus économique, Malgré la production de sous-produits de désinfection (SPDs) tels que les THMs, et l'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 [19].

Ses avantages sont bien connus [5] :

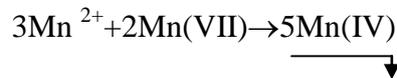
- Amélioration de la floculation, par action sur les MO adsorbées sur les MES. Il en résulte une augmentation du coefficient de cohésion de la boue, permettant des vitesses de décantation plus élevées,
- Élimination de la plupart des algues et autres organismes (zooplancton, phytoplancton) susceptibles de se développer dans les décanteurs et les filtres, ce qui facilite l'exploitation

(propreté des décanteurs, durée de vie des filtres). On évite ainsi la possibilité de fermentations anaérobies éventuelles,

- Élimination partielle des mauvais goûts,
- Élimination de l'ammonium, si le taux appliqué est supérieur au point critique, et des nitrites,
- diminution de la couleur (lorsqu'elle est due à des matières humiques),
- diminution éventuelle du taux de traitement en coagulant

### ***b. Pré-oxydation par le permanganate de potassium***

Cet oxydant est utilisé tout particulièrement lorsque l'eau brute contient du manganèse. Il y a oxydoréduction des ions manganèse et permanganate suivant la réaction suivante :



Cette réaction est favorisée par un pH élevé, qui augmente la cinétique de la réaction. Le permanganate de potassium est aussi parfois utilisé pour l'oxydation partielle de certaines M.O et l'élimination de certains mauvais goûts. L'utilisation du  $\text{KMnO}_4$  en pré-oxydation exige de bien contrôler la dose injectée; un excès de taux de traitement peut provoquer la présence d'une coloration rose de l'eau traitée, due à la présence de  $\text{Mn(VII)}$  soluble [5].

## **II. 3. Traitement de clarification**

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les MES d'une eau brute ainsi que les polluants (organiques et minéraux) associés à ces MES. Clarifier une eau, c'est la débarrasser de toutes les particules colloïdales et en suspension qui ont échappé au prétraitement et qui communiquent à l'eau une turbidité et une couleur indésirable. Elle s'effectue par : Coagulation-floculation, décantation et filtration [5].

### **II. 3.1. Coagulation-floculation**

Le procédé de coagulation floculation consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes et aptes à sédimenter. Cette transformation est le résultat de deux actions distinctes [5]:

- ✓ L'adjonction d'un coagulant à une eau permet la déstabilisation des particules par neutralisation de leurs charges électriques donc l'annulation du potentiel électro-négatif des particules: c'est la « coagulation »,
- ✓ La formation de flocons, dépendante du transport et de la mise en contact des particules déstabilisées constitue « la floculation »

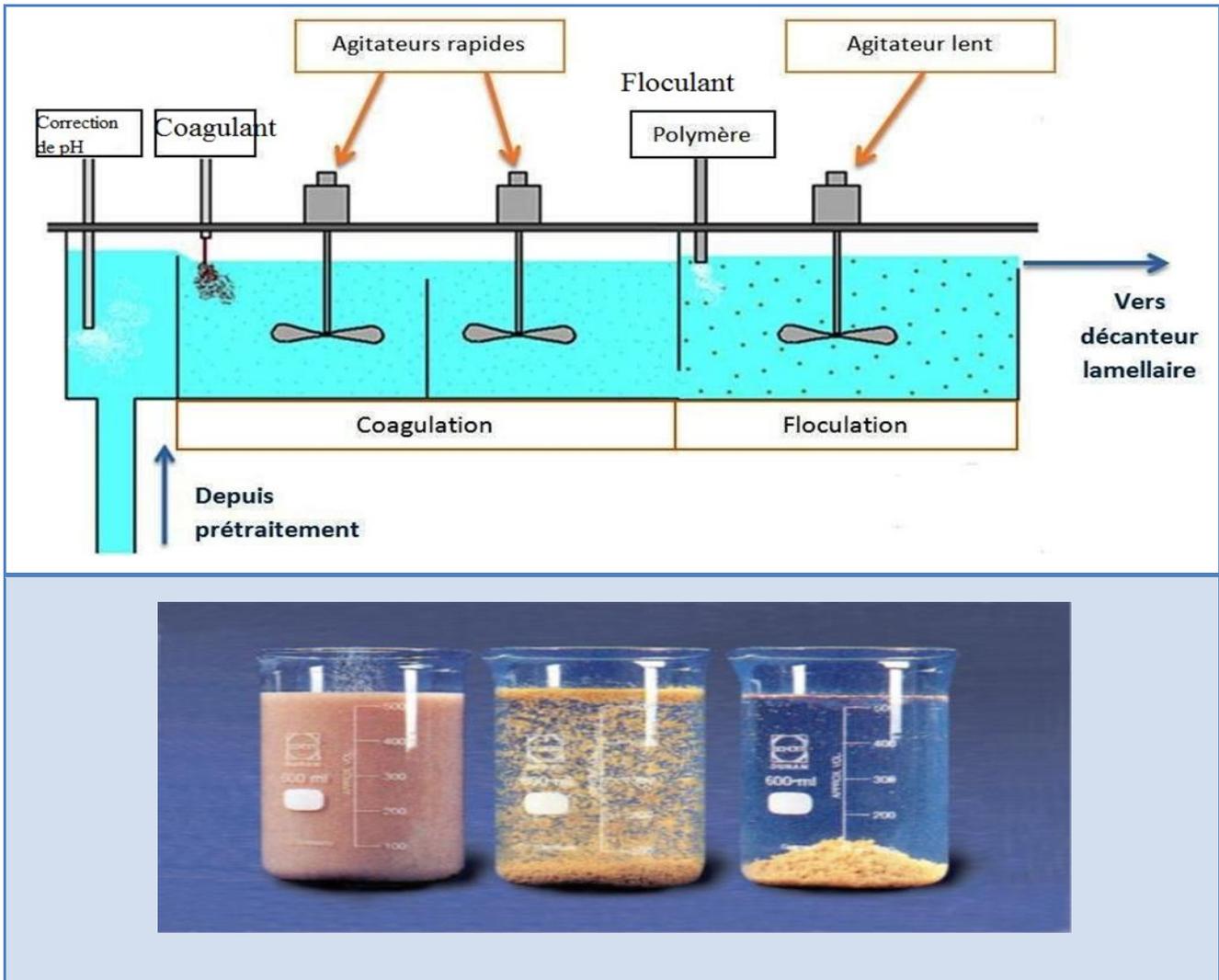


Figure I.2: Phénomène de coagulation-floculation

### II. 3.2. La 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 : la décantation [22].

La décantation, Procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines de traitement des eaux, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules sont en général des particules de floc ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors des traitements en amont de la décantation ou d'élimination du fer et du manganèse. Les particules s'accablent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, Située près de la surface est dirigée vers l'unité de filtration [1].

La technique de décantation a évolué depuis les décanteurs statiques (circulaires ou rectangulaires, raclés ou non raclés...) jusqu'aux appareils modernes qui possèdent une zone de réaction où l'on met en contact l'eau brute et ses réactifs avec les boues déjà existante : on trouve là les appareils à circulation des boues et les appareils à lit de boues [20].

Les derniers développements dans ce domaine ont abouti au cyclofloc, au lit fluidisé et à actifloc, dernier-né de la technique et qui permet de produire 40 m<sup>3</sup> d'eau par m<sup>2</sup> et par heure [21].

### II. 3.2.1. Classification des matières décantables

On distingue deux types de matières décantables

- Les particules grenues, qui conservent les mêmes dimensions au cours de leur chute, elles sédimentent indépendamment les unes des autres avec une vitesse de chute constante.
- Les particules coalescentes s'agglomèrent pendant la sédimentation, on distingue : la décantation diffuse et la décantation en piston ;
- ✓ **La décantation diffuse** : lorsque la concentration en MES est faible, le floc dispersé décante comme s'il était seul, sa vitesse de chute augmente au fur et à mesure que d'autres particules plus fines s'y agglomèrent ;
- ✓ **La décantation en piston** : lorsque la concentration en MES est élevée, on a une décantation d'ensemble des floccs qui sont freinés au cours de leur chute [23].

**Tableau I.4** : Temps de sédimentation pour différentes particules, d'après la loi de Stokes (Degremont, 1989)

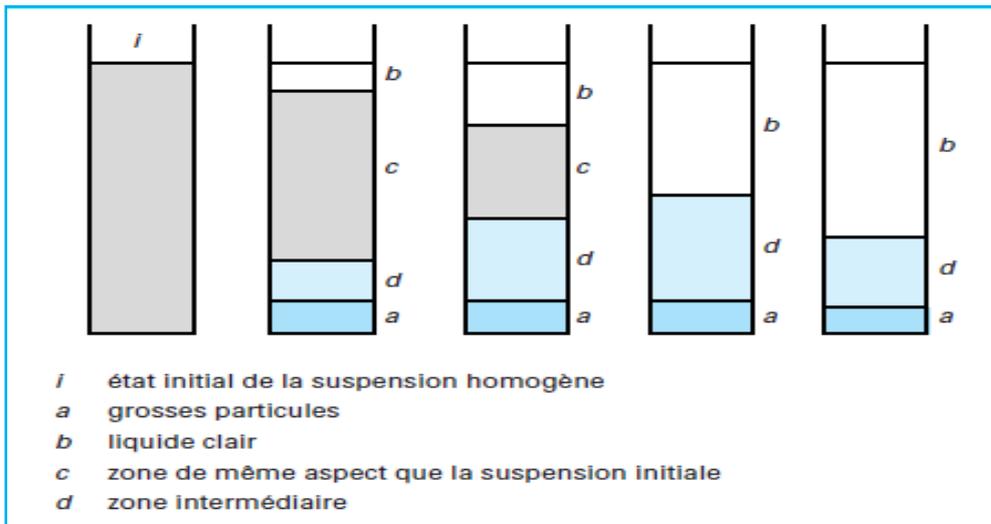
Type de particules	Diamètre (mm)	Temps de décantation pour 1 m d'eau
<b>Graviers.</b>	10 000	1 s
<b>Sables.</b>	1 000	10 s
<b>Sables fins.</b>	100	2 min
<b>Argiles.</b>	10	2 h
<b>Bactéries.</b>	1	8 j

#### ✚ Comportement d'une suspension en éprouvette

Si l'on verse dans une éprouvette une suspension de concentration suffisante (> 0,5 % en volume), on observe les phénomènes suivants (figure I.3) :

➤ au départ les gros grains sédimentent rapidement et se déposent sur le fond de l'éprouvette (zone a). La hauteur de cette zone augmente rapidement et se stabilise après la décantation des sables de dimension supérieure à 0,1 mm ; ensuite, il apparaît rapidement, et parfois immédiatement, une interface entre un liquide clair (zone b) et une phase boueuse. La phase boueuse

peut être elle-même divisée en deux parties : une partie supérieure conservant l'aspect de la suspension de départ (zone c) et une zone inférieure d'aspect intermédiaire (zone d) [24].



**Figure I.3 :** Évolution de l'aspect d'une suspension en sédimentation dans une éprouvette [24]

### II. 3.2.2. Types de décantation

Selon la concentration en solides et la nature des particules (densité et forme), on distingue quatre types de décantation : la décantation de particules discrètes, décantation de particules floculantes, la décantation freinée et la décantation en compression de boue [1].

#### a) Décantation de particules discrètes (individuelle)

Ce type de décantation (dite discrète ou individuelle) est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. La vitesse de chute est indépendante de la concentration en solides ; c'est pourquoi les lois classiques de Newton et de Stokes s'appliquent ici. On retrouve ce type de décantation dans les dessableurs. Lorsqu'une particule chute, sa vitesse augmente jusqu'à ce que les forces de décantation (poids) équilibrent les forces de frottement [1].

#### b) Décantation de particules floculantes

Ce type est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leurs chutes. Les propriétés physiques de ces particules sont donc modifiées pendant le processus. On retrouve ce type de décantation dans les décanteurs des usines de traitement des eaux et dans les décanteurs secondaires des usines d'épuration [1].

Durant la décantation, les particules s'agglomèrent à un certain rythme, et les particules qui résultent de cette agglomération sont à la fois plus grosses et moins denses que les particules initiales. Cette modification continue des caractéristiques des particules rend la conception de modèle

mathématique beaucoup plus complexe. On doit donc, dans la plupart des cas, procéder à des essais de laboratoire [25].

L'agglomération des particules favorise la décantation, même si la densité des particules résultantes est inférieure à celle des particules initiales, puisque la vitesse de décantation est fonction du diamètre ( $d$ ) et de la densité des particules ( $Y_p$ ), ainsi que la viscosité dynamique de l'eau ( $\eta$ ) qu'on ne peut pas la contrôler, dans la plus part des cas [25].

On le voit, la floculation joue un rôle important dans le procédé de décantation. Le taux de floculation des particules dans le bassin de décantation est fonction de [25]:

- ✓ La distance que les particules parcourent ;
- ✓ La charge superficielle ;
- ✓ Gradients de vitesse dans le bassin ;
- ✓ La concentration des particules ;
- ✓ Diamètre des particules.

#### **c) Décantation freinée (en piston)**

Ce type 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, on retrouve ce type de décantation dans la partie profonde des décanteurs [1].

#### **d) 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, on retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boues par gravité [1].

### **II. 3.2.3. Types des décanteurs**

Les décanteurs sont des appareils dans lesquels l'eau circule d'une manière continue, très lentement, de façon qu'elle puisse abandonner ses matières en suspension et colloïdales rassemblées dans les flocons formés dans le flocculateur. Les boues sont recueillies à la partie inférieure puis évacuées périodiquement ou par raclage continu si leur volume est important [2].

Pour que la décantation puisse se faire correctement, il faut que la vitesse de l'eau soit inférieure à la vitesse de sédimentation des particules ( $V_s$ ). La vitesse de l'eau est appelée charge hydraulique superficielle ou vitesse de Hazen ( $V_H$ ) et permet de dimensionner les décanteurs.

- Lorsque la vitesse de sédimentation des particules ( $V_s$ ) est inférieure à la vitesse de Hazen ( $V_H$ ), les particules ne sont pas sédimentées et partent avec l'eau vers le filtre.

- Lorsque la vitesse de sédimentation des particules ( $V_s$ ) est supérieure à la vitesse de Hazen ( $V_H$ ), les particules sont piégées par le décanteur et s'accumulent au fond du bac.

Par ailleurs, il est important de préciser pour qu'une décantation particulaire soit efficace, l'écoulement de l'eau à l'intérieur du décanteur doit être laminaire [26, 27].

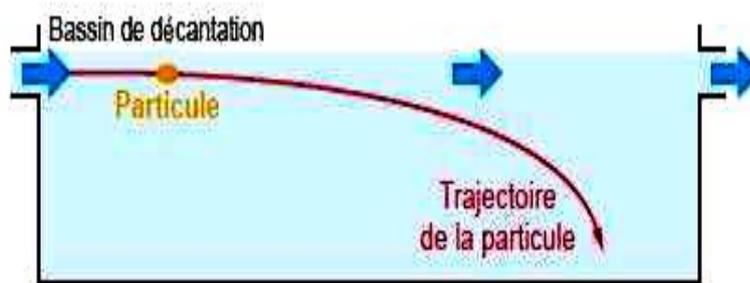
Il existe deux types de décanteur :

- Les décanteurs simple 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 surverse et l'autre pour les boues)
- 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.

D'après leur forme extérieure et le sens de l'écoulement de l'eau, on peut distinguer deux types de décanteurs : Décantation à flux vertical et Décantation à flux horizontal [2].

#### a) Les décanteurs horizontaux

Le décanteur horizontal (Fig. I.4) est constitué d'une cuve parallélépipédique : l'eau chargée de MES pénètre à une extrémité et l'eau décantée ressort à l'autre suivant un écoulement horizontal. Elle nécessite une surface de bassin de décantation importante avec une vitesse de sédimentation généralement faible.



**Figure I. 4:** Schéma d'un décanteur horizontal [27]

Le principe de la décantation à flux horizontal est représenté de manière simplifiée par le modèle de Hazen (Eq. I.1). Selon ce modèle, une particule de vitesse de chute  $V_c$  décantant sur une hauteur  $H$  est retenue dans un bassin de longueur  $L$  et de surface horizontale  $S$  traversé par un débit  $Q$  si :

$$\underline{V_H: \text{vitesse de Hazen.}} \quad \boxed{V_c \geq Q/S = V_H} \quad (\text{I.1})$$

Théoriquement, l'efficacité d'un décanteur horizontal ne dépend que de sa vitesse de Hazen et non de sa hauteur ou de son temps de rétention (soit de 0,5 à 1,5 m/h). Cependant, les particules contenues dans l'eau floculée entrant dans le décanteur présentent toute une gamme de dimensions. Pendant leur parcours dans l'ouvrage les plus petites peuvent s'agglutiner entre elles, c'est le phénomène de coalescence. Leur taille, et donc la vitesse de sédimentation augmente avec le temps. La trajectoire devient de ce fait curviligne et l'efficacité de la décantation dépend donc aussi du temps de rétention. Ainsi, les hypothèses qui sont à la base de la théorie de Hazen sont loin de refléter la réalité. Elles négligent en particulier la turbulence et la dispersion des particules n'est pas prise en compte. Il s'agit pourtant d'un phénomène important dans la plupart des ouvrages de rétention. Pour optimiser le rendement du décanteur on fait souvent précéder d'un compartiment de tranquillisation dans lequel une sensible diminution de la vitesse de transfert permet la décantation des particules les plus grosses et la coalescence du floc le plus fin.

### b) Les décanteurs à flux verticaux

Dans ce type d'ouvrage l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la vitesse ascensionnelle de l'eau. Tous les décanteurs verticaux font appel au voile de boue du fait de cet équilibre des vitesses et ce, quelle que soit la technique utilisée avec ou sans flocculateur. Le rôle du voile de boue est essentiel il joue également le rôle de filtre pour les flocons de faible dimensions. En son sein se produit le phénomène de coalescence (Fig. I.5).

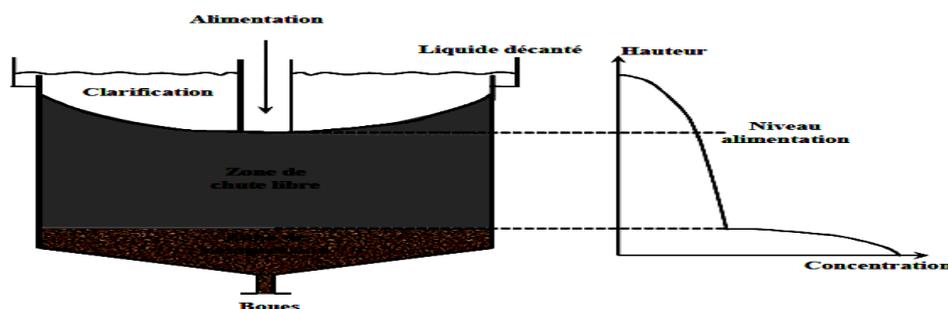


Figure I.5 : Schéma d'un décanteur à flux vertical

### c) Les décanteurs lamellaires

Il s'agit d'un ouvrage de décantation dans lequel des lamelles parallèles inclinées permettent 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. Les décanteurs utilisant des plaques ou des tubes réalisent également une décantation considérable plus rapide que la décantation classique. Les

lamelles sont disposées de manière oblique de sorte à permettre le glissement des matières sédimentées vers le fond du décanteur.

La décantation lamellaire est fondée sur le principe de la décantation à flux horizontal. Ainsi, on constate que la décantation d'une particule est liée uniquement au débit  $Q$  et à la surface horizontale  $S$ , et qu'elle est théoriquement indépendante de la hauteur  $H$  de décantation. Si on répartit le débit  $Q$  sur  $n$  lamelles parallèles de surface unitaire  $S_L = S/n$ , on obtient une décantation théoriquement identique à celle obtenue dans le bassin de la figure ci-dessus. Afin de pouvoir extraire en continu les solides décantés, et pour des raisons pratiques de fonctionnement et d'exploitation, les lamelles sont inclinées d'un angle  $\alpha$ , compris entre  $30^\circ$  et  $60^\circ$  par rapport à l'horizontale selon le type de décanteur. Une telle disposition permet, pour un rendement identique, de construire des ouvrages plus compacts qu'un bassin classique [27].

Par analogie avec la théorie de Hazen, et moyennant quelques hypothèses simplificatrices (écoulement laminaire permanent notamment), on peut déterminer la vitesse limite  $V_{lim}$  de décantation d'une particule (Eq. I.2-3)

$$v_{lim} = \frac{Q}{n \cdot S_L \cdot \cos \alpha} \quad (I.2)$$

$$\text{Vitesse de Hazen} = \frac{\text{Débit de l'eau}}{\text{Surface du décanteur}} \quad (I.3)$$

### II. 3.3. La Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (filtre ; la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraité (floculée et décantée). À mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elle se dépose et absorbe les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement. Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique. Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage. Pour la filtration à grand débit, on utilise les matériaux granuleux (sable, anthracite) [26].

#### II. 3.3.1. Les différents types de filtration

Il existe plusieurs types de filtration pour le traitement des eaux potables. Chaque méthode est en fonction de l'objectif à atteindre à la fin du processus. Dans ce chapitre on s'intéresse à définir la filtration à sable lente et rapide et sous pression comme étant les techniques les plus utilisées dans le domaine de la production de l'eau potable. On distingue deux grands types de filtration qui se différencient par la vitesse de filtration (Eq. I.4) :

$$V = Q/S = \text{Débit qui passe au travers du filtre} / \text{Surface horizontale du filtre} \quad (I.4)$$

### a. Filtration lente

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus utilisé est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus) par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit se trouve une mince couche appelée "membrane biologique" ou « bio film ». Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est grâce à elle que le processus d'épuration se déroule. Cette méthode de filtration est souvent la plus économique dans les pays en développement et offre l'avantage d'une grande efficacité et d'une exploitation simple. Elle permet de donner une qualité d'eau satisfaisante sans rajouter d'autres étapes dans le processus de purification.

### b. Filtration rapide

La filtration rapide est un processus physique qui consiste à filtrer l'eau sur différentes couches de sables afin d'enlever les solides en suspension dans l'eau. Cette technique est très abondante parce que les filtres de sables rapides peuvent traiter des débits assez élevés et sollicitent peu d'espace pour fonctionner. Durant la filtration, le taux d'écoulement de l'eau peut aller jusqu'à 20 mètres par heure. On distingue deux types de filtration rapide : la filtration ouverte et la filtration fermée sous pression.

### c. Filtration sous pression

Contrairement aux deux types de filtres rencontrés ci-dessus, les filtres sous pression sont hermétiquement fermés. L'eau traverse le massif filtrant sous l'effet de la pression de fonctionnement du filtre. (Environ une dizaine de bars) ces filtres ont été mis au point pour faire face à la rareté de l'espace disponible (surtout en milieu urbain) et accroître davantage les débits d'eau filtrée. Leur utilisation a commencé aux Etats-Unis puis ensuite dans le reste du monde.

## II. 3.3.2. Mécanisme de filtration

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre, peuvent intervenir l'un ou plusieurs des trois mécanismes principaux suivants: capture, fixation et détachement [5].

### a) Mécanismes de capture

Les mécanismes de capture sont essentiellement de deux natures:

**Tamissage mécanique:** Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine. Il est de peu d'importance pour un lit filtrant

composé de matériau relativement grossier. Dans le cas contraire il est prépondérant dans une filtration sur support mince [2].

**Dépôt sur le matériau filtrant**: La particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant; sa taille, comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée. Différents phénomènes entraînent cependant un changement de trajectoire et le contact avec le matériau. On distingue en particulier [2] :

- L'interception directe par frottement.
- La diffusion par mouvement brownien.
- L'inertie de la particule.
- La décantation: par leur poids les particules peuvent se déposer sur matériau filtrant quel que soit le sens de filtration.

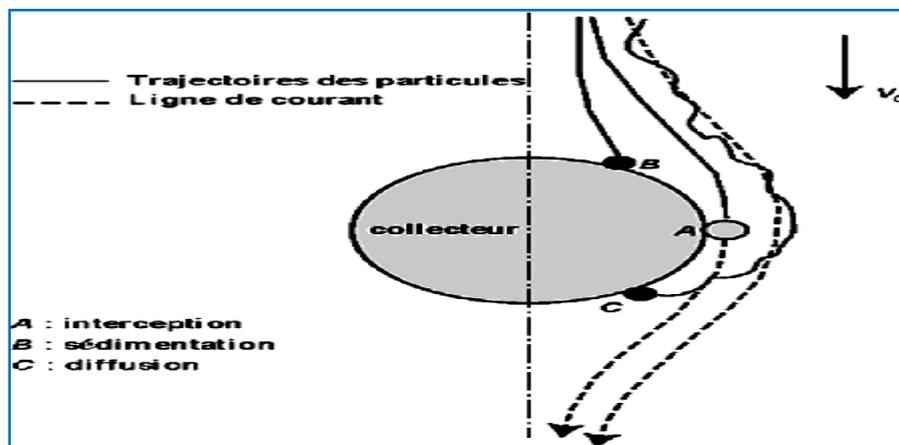
Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur [2].

#### b) Mécanismes de fixation

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...), et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals [2].

#### c) Mécanisme de détachement

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus en avant dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat. Les particules solides contenues dans un liquide et les particules colloïdales plus ou moins floculées n'ont pas les mêmes caractéristiques et ne réagissent pas dans la même proportion aux divers mécanismes précédents [2].



**Figure I. 6 :** Mécanismes de transport des particules à la surface des grains de média filtrant lors de la filtration

### **II. 3.3.3. Choix du mode de filtration**

Le choix entre les divers types de filtration sur support et la filtration sur lit filtrant dépend de plusieurs critères [2] :

- Caractéristiques du liquide à filtrer, de ses impuretés et de leur évolution dans le temps,
- Qualité du filtrat à obtenir et tolérances admises,
- Qualité de l'agglomérat des matières retenues lorsque le but est de les récupérer,
- Conditions d'installation,
- Possibilités et moyens disponibles pour le lavage.

La possibilité d'un lavage aisé, efficace et économique est aussi importante dans le choix du filtre que l'obtention de la meilleure qualité de filtration, étant donné que cette dernière ne se conserve dans le temps que si le lavage permet de maintenir toujours intact le matériau filtrant [2].

### **II. 3.4. Traitement de désinfection**

La désinfection est une étape essentielle de la filière de traitement. Elle assure la désactivation des germes pathogènes et des virus dans l'eau. La bonne qualité bactériologique des eaux distribuées est le critère principal de la notion de potabilité d'une eau. L'objectif de cette phase de traitement est la destruction des germes pathogènes en vue de l'obtention d'une eau bactériologiquement pure. On procède physiquement par l'addition de réactifs tels que le chlore et ses dérivés, ozone, ultraviolet UV [5]. Le chlore est le plus fréquemment 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 vu son effet rémanent [20].

On choisit un type de désinfection en tenant compte de plusieurs critères :

- ✓ Grandeur de l'installation.
- ✓ Micro-organismes à éliminer.
- ✓ Caractéristiques de l'eau en sortie.
- ✓ Intervalle entre traitement et consommation.

### **II. 3.5. Traitement d'Affinage**

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, cet affinage est réalisé par :

1. Le phénomène d'adsorption, généralement sur du charbon actif. Celui-ci est mis en œuvre soit en poudre au cours de la floculation et sera par la suite évacué avec la boue, soit sur lit sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable [5].

2. La neutralisation consiste à l'ajustement du pH par ajout de réactif (chaux) afin d'éliminer le CO<sub>2</sub> en excès et de protéger les conduites contre la corrosion.

### **II. 3.6. Stockage**

Une station de traitement de l'eau potable doit disposer d'une réserve assurant un approvisionnement de quelques heures pour éviter une pénurie en eau en cas de problèmes techniques. Le stockage présente également un temps de contact important permettant au chlore (ou l'eau de javel) de réagir avec l'eau.

### **III. Généralités sur le procédé de coagulation-floculation**

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

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

La coagulation est certes une opération simple à réaliser mais les mécanismes mis en jeu sont très complexes et ne cessent d'occuper une large place dans les recherches récentes [28, 29, 30]. La compréhension de ce phénomène nécessite une connaissance approfondie de l'état colloïdal, de la structure chimique des coagulants utilisés ainsi que leur mode d'action.

#### **III.1. Solutions colloïdales**

Les systèmes colloïdaux sont définis comme étant des dispersions dont les particules possèdent des dimensions moyennes comprises entre 0.001 et 1µm et des vitesses de sédimentation si faibles que leur chute est rendue impossible par l'agitation thermique du milieu [5].

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les microorganismes tels que les virus. Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur. En contact avec l'eau, toute matière solide acquiert

une densité de charge électrique qui peut provenir de la dissociation de groupements superficiels (hydroxyles, carboxyles) qui fournissent des charges positives ou négatives suivant que le pH du milieu est basique ou acide. L'adsorption d'ions étrangers contenus dans la solution, ainsi les colloïdes deviennent chargée positivement ou négativement suivant que le type d'ion adsorbé est cation ou anion [5,16].

Suivant leur comportement vis-à-vis du milieu aqueux, on peut classer les colloïdes en deux catégories :

- Les colloïdes hydrophiles présentent donc une grande affinité pour l'eau et dont les particules sont entourées par une enveloppe de molécule d'eau fixées par des liaisons physico-chimiques à certains groupements de la matière solide tels que :
  - Groupement carboxylique :  $\text{COOH}$ ,
  - Groupement amine :  $\text{NH}_2$ ,
  - Groupement alcool :  $\text{OH}$

C'est le cas des protéines, des détergents synthétiques, des savons, etc....

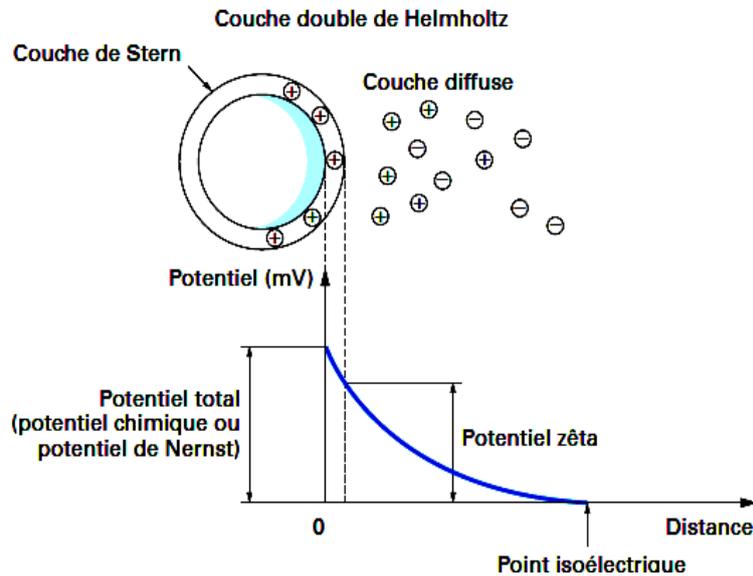
- Les colloïdes hydrophobes dont la matière n'a aucune affinité avec l'eau. Leur stabilité est due à la charge électrique portée par les particules qui engendrent une répulsion mutuelle empêchant toute agglomération.

Il n'existe pas de transition nette entre ces deux types de colloïdes et l'on rencontre en pratique tous les comportements intermédiaires possibles. La différence entre colloïdes hydrophiles et hydrophobes est importante dans le contexte du traitement. La matière colloïdale hydrophile réagit spontanément avec l'eau pour former une suspension qui peut être déshydratée et réhydratée à plusieurs reprises. En raison de cette caractéristique, de tels colloïdes sont parfois appelés colloïdes réversibles. Lorsqu'elles sont déshydratées, les particules hydrophobes ne se redispersent généralement pas dans l'eau spontanément. Elles sont alors parfois appelées colloïdes irréversibles. Les systèmes hydrophobes purs ne réagissent pas avec la phase aqueuse, mais certaines particules peuvent comporter des microsites qui les combinent avec l'eau en formant des liaisons hydrogènes [19, 31].

### **III.1.1. Structure des colloïdes**

Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde et forment la couche liée ou de STERN, qui attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité des cations : c'est la couche diffuse ou de GOUY. Il y a donc formation d'une double

couche ionique, l'un accompagnant la particule lors de ces déplacements, l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard.



**Figure I.7** – Évolution du potentiel électrostatif en fonction de l'éloignement de la particule dans le cas de l'eau brute, distribution ionique autour d'un colloïde [4].

Il existe entre ces deux couches un potentiel électrostatique ou de Nernst, qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde. Dans la couche liée, le potentiel de Nernst décroît linéairement car les cations constitutifs sont empilés uniformément. En revanche, dans la couche de Gouy, le potentiel électrostatique varie de manière non linéaire, étant donné que la répartition ionique résulte d'un mélange aléatoire de cations et d'anions. La valeur du potentiel à la surface de la couche de Nernst est appelée potentiel zêta. Les colloïdes étant chargés négativement, ce potentiel est négatif. Dans les eaux naturelles, sa valeur varie de -30 à -35 mV. Les particules de potentiel zêta négatif se repoussent très fortement. C'est pourquoi, les colloïdes sont très stables et inhibent toute agglomération [26].

### III.1.2. Déstabilisation de colloïdes

#### III.1.2.1. Facteurs de déstabilisation

##### a) Forces d'attraction interparticulaires

D'après les théories de Van Der Waals, il existe, entre les atomes ou molécules constituant la matière des forces attractives dites de cohésion. Cependant, ce sont des forces qui ne sont

prépondérantes qu'à très faible distance, dès lors la couche de solvation ou la double couche rend très improbable la manifestation de telles forces.

Ce n'est qu'après destruction de la double couche que les particules peuvent se rapprocher suffisamment pour que les forces d'attraction deviennent prépondérantes et permettent ainsi leur agglomération. Facteurs mécaniques de déstabilisation.

**b)** L'addition d'une substance capable de se fixer simultanément sur deux particules colloïdales en présence permet l'agglomération de celles-ci. Ceci peut être réalisé grâce :

- à l'addition de substances macromoléculaires solubles à chaîne linéaire, qui s'absorbent à la surface des particules qu'elles relient entre elles par des « ponts » matériels.
- à l'adjonction de sels minéraux, dont l'hydrolyse se traduit par la formation d'un précipité floconneux à forte surface spécifique, capable d'absorber et de piéger les particules avec lesquelles il entre en contact [5, 22,32].

### **III.1.2.2. Mécanismes de la rupture de l'état colloïdal**

L'élimination de la pollution colloïdale suppose l'agglomération mutuelle des particules qui nécessite :

- la rencontre de deux ou plusieurs particules dont la probabilité détermine la cinétique du phénomène ;
- l'adhésion des particules mises ainsi en présence, ce qui suppose l'élimination ou la réduction du facteur de stabilité prépondérant.

Nous pouvons distinguer fondamentalement :

- ✓ les procédés qui consistent à réduire les forces de répulsion électrostatiques responsables de la stabilité des colloïdes hydrophobes (coagulation).
- ✓ Et ceux qui provoquent l'agglomération aussi bien des colloïdes hydrophiles qu'hydrophobes en agissant « mécaniquement » par adsorption et piégeage (floculation).

En pratique, ces résultats peuvent être atteints par l'adjonction des réactifs, tels que les sels minéraux contenant des cations multivalents, ou encore des polymères organiques synthétiques porteurs ou non de groupements dissociés en solution [22, 32].

### **III.1.3. Le potentiel Zêta**

Dans l'eau brute, les colloïdes sont généralement chargés négativement et se repoussent mutuellement. Afin de neutraliser cette charge superficielle négative, on ajoute des cations qui

forment une couche autour du colloïde favorisant le rapprochement des particules. C'est la coagulation.

Pour mesurer la puissance de charge de la particule, on utilise un Zétamètre. Cet appareil permet d'évaluer la charge des particules grâce à la mesure du potentiel Zêta qui régit la manière dont les colloïdes se déplacent et interagissent. En pratique, plus il est négatif, plus la charge de la particule s'intensifie (négativement bien sûr). Ainsi, au fur et à mesure qu'il diminue en valeur absolue, les particules peuvent s'approcher les unes des autres plus étroitement, ce qui accroît les probabilités de collision. Dans un système de clarification classique, à un pH compris entre 6 et 8, les coagulants fournissent des charges positives qui diminuent le potentiel Zêta. Théoriquement, la coagulation se produit à l'annulation de ce potentiel, ce qui correspond à une complète neutralisation de charge. Mais, en pratique, ce n'est pas nécessaire ; il suffit que ce potentiel soit légèrement négatif. Il faut faire attention à ne pas trop ajouter de coagulant, car la surface de la particule va alors se trouver chargée positivement (potentiel Zêta positif) et les colloïdes vont se disperser à nouveau [22, 33, 34].

## **III.2. Coagulation-floculation**

### **III.2.1. Définition**

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer » [31]. La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes (Tableau I.5). La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre par addition d'un réactif chimique, le coagulant.

La floculation est l'agglomération de ces particules déchargées en micro-floc, puis en flocons volumineux et décantables. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif : le floculant ou adjuvant de floculation. Deux phénomènes de transport régissent la floculation [32, 35] :

- La floculation péricinétique liée à la diffusion brownienne (agitation thermique)
- La floculation orthocinétique est liée à l'énergie dissipée. L'efficacité de cette floculation qui permet d'obtenir le floc volumineux séparable est donnée dans la pratique par le gradient de vitesse  $G$  correspondant au régime turbulent.

**Tableau I.5** : Les étapes de l'agrégation [5].

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

### III.2.2. Paramètres liés à la coagulation-floculation

Pour optimiser Le procédé de coagulation-floculation, il faut tenir compte de plusieurs variables en relation, comme le pH, la dose de coagulant, les conditions de mélange et la température.

#### a) L'influence du paramètre pH

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques.

#### b) L'influence de la dose de coagulant

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base. Une dose de coagulant excessive entraîne une restalinisation des particules et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut se déterminer facilement.

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

### c) L'influence de la température

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

### d) L'influence de la turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant. Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles. Dans le cas de fortes pluies, l'augmentation des MES favorise une meilleure décantation. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation [19, 35, 36].

### e) L'influence des conditions de mélange

Les deux étapes de formation du floc consistent en une phase d'agitation rapide suivie d'une phase d'agitation lente permettant la maturation du floc. Néanmoins, il faut éviter que l'agitation soit trop intense car elle empêche l'agrégation, ni trop prolongée car elle entraîne la restabilisation des colloïdes [37]. La notion de gradient hydraulique a été émise pour la première fois en 1943 par CAMP et STEIN [38] :

$$G = \left(\frac{P}{\mu V}\right)^{1/2}$$

G : gradient hydraulique ( $s^{-1}$ ) ;  $\mu$  : viscosité dynamique du liquide ( $kg\ m^{-1} \cdot s^{-1}$ ) ; V : volume du liquide ( $m^3$ ) ; P : puissance dissipée dans le liquide (W).

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

$$P = \frac{1}{2} C_t \cdot A \cdot \rho \cdot V_r^3$$

$C_t$  : Coefficient de traînée (il est égal à 1.8 pour des pales plates) ; A : surface de la pale ( $m^2$ ).

$\rho$  : Masse volumique du liquide ( $kg/m^3$ ) ;  $V_r$  : vitesse relative de la pale par rapport à la vitesse du liquide qui l'entoure.

Soit  $V_r \approx 0.75 \times$  vitesse périphérique de la pale  $V_p = 2 \pi d N / 60$

ou « d » représenté la distance de l'extrémité de la pale à l'axe de rotation.

Les valeurs généralement admises pour G sont :

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

L'expérience démontre que produit adimensionnel  $Gt$  ( $t$  est le temps de séjour de l'eau dans le flocculateur) doit se situer entre  $10^{+4}$  et  $10^{+5}$  pour une floculation bien réalisée (agitation lente).

### III.2.3. Mécanismes de la coagulation floculation

On peut considérer qu'il existe quatre grands mécanismes qui agissent individuellement ou ensemble dans la coagulation floculation [21, 39, 40, 41].

- Réduction de l'épaisseur de la couche ionique : transportée par les particules, par augmentation de la force ionique de la Solution.
- Neutralisation des charges ioniques : par ajout d'un réactif chimique contenant des contre ions du colloïde.
- Pontage entre les particules : par utilisation des polymères de haut poids moléculaire.
- Piégeage des particules : par formation de polymères d'hydroxydes minéraux volumineux

### III.2.4. Types de coagulants/floculants utilisés

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

Des coagulants floculants minéraux et organiques sont disponibles .La connaissance de leur chimie, leur structure et des mécanismes d'interaction avec les minéraux sont nécessaires afin d'optimiser les procédés [41]:

#### III.2.4.1. Les coagulants

Les principaux types de coagulant employés sont a base de sels d'aluminium ou de fer [42, 43].

##### a) Les sels d'aluminium

Le sulfate d'aluminium est disponible en poudre ou hydraté, ou en solution commerciale diluée au demi.

Les doses sont toujours exprimées en poids de poudre dont la formule chimique est :

$(Al_2(SO_4)_3, 18H_2O)$ . Sa masse molaire est de 666g/mol.

Le dosage et consommation de ce coagulant s'expriment communément en fonction de cette formule. Lors de l'addition de sels d'aluminium, ce cation réagit avec la molécule d'eau selon les réactions d'hydrolyse

- Le W.A.C est un polychlorure d'aluminium dont la formule générale est :



- Les PCBA sont des Polychlorures basiques d'aluminium dont la formule est :



### b) 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, ils se révèlent plus efficaces comme coagulants quant à l'abattement des substances humiques [2,11]. On peut citer le chlorure ferrique ( $FeCl_3, 6H_2O$ ) peut induire une coloration de l'eau traitée, le chlorosulfate ferrique (liquide) est de formule  $FeSO_4Cl$  et le sulfate ferreux est peu utilisé et de formule :  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ .

#### III.2.4.2. Les adjuvants de floculation

Pour une meilleure efficacité du procédé de coagulation-floculation, on utilise parfois des adjuvants de floculation qui sont des colloïdes de même charge que les particules à floculer, ajoutés pour en augmenter la concentration et de là le nombre de chocs entre les particules. Les plus utilisés sont la silice activée, les polyélectriques, le charbon actif, la bentonite,...

##### □ La bentonite

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

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

Ces argiles, et en particulier les bentonites, sont utilisées actuellement pour la décoloration des huiles végétales et animales ainsi que pour la clarification des vins par élimination des protéines. Dans le domaine des eaux potables, la bentonite est utilisée essentiellement comme adjuvant de floculation dans le but de recharger artificiellement une eau contenant trop peu de matières en suspension, ceci afin d'obtenir une meilleure décantation [5,22]. Dans la plupart des études sur la floculation des argiles, il s'agit en fait de considérer les suspensions d'argile (kaolinite,

bentonite,...) comme une représentation synthétique des particules colloïdales présentes dans les eaux de rivière, ceci afin de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu autour de la coagulation.

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent à Oran (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem avec des réserves de deux millions de tonnes [44]. En parallèle, des études [45, 46] ont mis en évidence l'affinité de la bentonite vis-à-vis de polluants métalliques grâce à sa grande capacité d'échange d'ions. En phase liquide, la bentonite peut présenter une grande sélectivité d'adsorption de certains composés organiques. Tout ceci laisse envisager d'utiliser cette argile dans l'affinage des eaux de consommation.

#### □ **Le charbon actif**

Dans le traitement des eaux, il est produit surtout à partir de charbon minéral, du coke et du lignite. C'est une substance carbonée amorphe, activée de façon à posséder un très haut degré de porosité [5]. Grâce à son importante surface développée, le charbon actif peut enlever de l'eau la plupart des matières organiques solubles. Il est beaucoup moins efficace vis-à-vis des polluants minéraux. Lorsqu'il est utilisé en poudre, il est injecté directement dans la floculo-décanteur et sa mise en œuvre ne nécessite qu'un investissement assez faible puisqu'elle ne bouleverse pas la conception des installations déjà existantes. Lorsque le charbon est en granulés, l'adsorption est réalisée sur des filtres, en traitement tertiaire, pour piéger une pollution spécifique ayant traversé les traitements antérieurs. La combinaison du charbon actif avec l'ozone s'avère actuellement le meilleur procédé en nature d'affinage [20].

L'usage du charbon actif en poudre demeure une technique très répandue du traitement de l'eau potable. L'utilisation du CAP améliore le goût et l'odeur de l'eau. C'est aussi un adjuvant de floculation pour la phase finale de la coagulation. Les particules de charbon qui sont dispersées dans l'eau peuvent être considérées comme plus grosses que la matière en suspension ordinaire. Le charbon peut être injecté soit juste avant la filtration, soit durant la floculation. Cette deuxième possibilité permet au charbon de contribuer à la coagulation par pontage.

- Le choix du coagulant : Il est effectué après une étude de l'eau en laboratoire, ou à l'aide de la technique des essais de jar-test.
- On utilise pour le mélange des réactifs la seule turbulence créée par un déversoir mais il est souhaitable de disposer d'un système permettant ce mélange rapide, système appelé mélangeur rapide ou coagulateur [5].

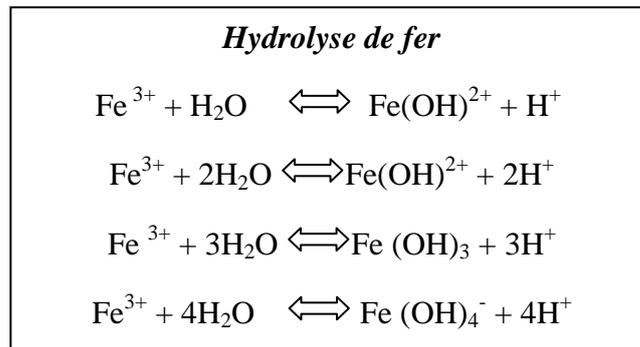
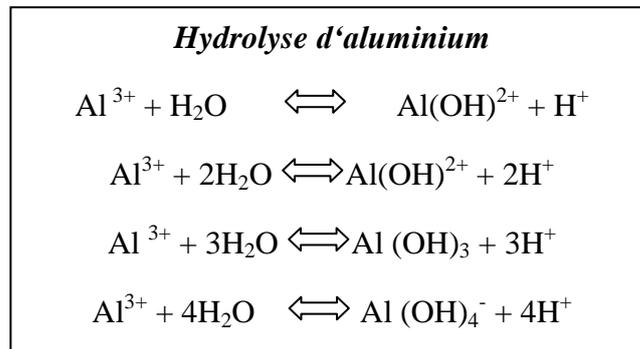
On distingue plusieurs types de mélangeurs :

- ✓ Mélangeurs statiques Il s'agit de dispositif mis en place à l'intérieur d'une tuyauterie (système hélicoïdal, diaphragme, cône ...) qui crée une turbulence suffisante pour permettre la diffusion instantanée du coagulant très efficaces au débit nominal.
- ✓ Mélangeurs rapides

Agitateurs rapides de type à hélice ou à pales (turbine) mis en place dans une chambre spéciale.

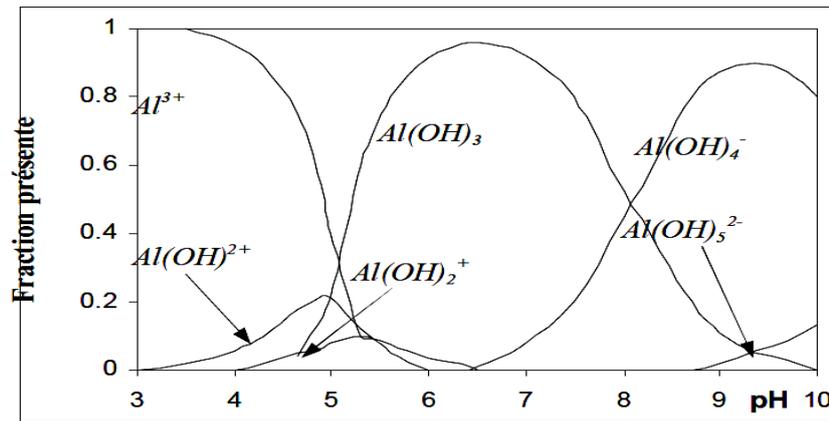
### III.2.5. Réactions d'hydrolyse de l'aluminium et mécanismes de déstabilisation.

La coagulation est souvent réalisée à l'aide des sels de métaux hydrolysables, principalement, les sels de fer et d'aluminium. L'hydrolyse de ces sels conduit, dans la première étape, à la formation de monomères selon ces réactions [47]-



Les ions métalliques hydratés qui demeurent moins efficaces en tant que coagulant peuvent former des complexes polymérisés suite à la substitution d'une ou plusieurs molécules d'eau d'hydratation par des ions hydroxydes. L'action des sels introduits s'effectue généralement au moyen de ces complexes hautement chargés, dont la masse moléculaire peut être très élevée [48]. Cependant, la présence de ces espèces dépend étroitement du pH du milieu réactionnel.

Le degré d'hydrolyse devient généralement plus important avec l'augmentation du pH. Il en résulte ainsi une série de complexes hydroxy-alumineux et il en est de même pour les produits d'hydrolyse du fer [49, 50].



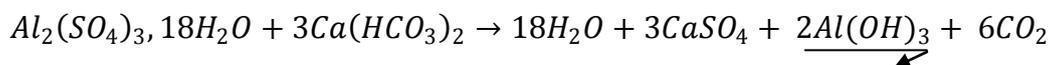
**Figure I.8** Solubilité de l'aluminium en fonction du pH [5].

Pour chaque sel, la forme insoluble prédomine à un pH déterminé pour lequel aucune charge ne peut être mesurée sur le composé obtenu. Ce pH correspond au point de charge nulle ou encore appelé pH de point isoélectrique (pHP-i-e). En conséquence, lorsqu'un polymère est formé dans une zone inférieure au pHP-i-e c'est la prédominance des polymères cationiques tandis que les polymères anioniques se forment dans une zone de pH supérieur au pHP-i-e [51].

A  $\text{pH} < 4.5$ , l'ion  $\text{Al}^{3+}$  prédomine et il devient la seule forme d'aluminium existante à pH plus bas ( $\text{pH} < 3$ ).

- Des formes monomériques cationiques solubles  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  et  $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$  apparaissent dans le milieu de pH compris respectivement entre 3 à 6 et 4 à 6.5.
- Dans l'intervalle de pH 4.5 à 8, c'est la forme insoluble  $\text{Al}(\text{OH})_3$  qui prédomine.
- Le radical anionique soluble  $\text{Al}(\text{OH})^{4-}$  prédomine à un pH de 8 à 10 [5, 46].

Une autre particularité de l'addition de coagulant dans l'eau est la consommation d'alcalinité. Cette perte de TAC est fonction de la nature et de la concentration du composé mis en jeu. Par exemple, pour le sulfate d'aluminium, on a :



La perte d'alcalinité (consommation de  $\text{HCO}_3^-$ ) se traduit par une chute de pH. Cette acidification peut donc perturber la formation du précipité d'hydroxyde et il est parfois nécessaire d'ajouter de la soude, de la chaux ou du calcaire pour rester dans la zone de pH optimal [22].

# **PARTIE PRATIQUE**

# **CHAPITRE II :**

## **Matériel et méthodes**

## II. Matériel et méthodes

Dans ce chapitre, nous allons présenter le matériel et les méthodes utilisés pour le besoin de nos essais. Cette présentation est divisée en deux parties :

- La première s'agit d'une étude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres) ;
- La seconde concernera l'étude de l'efficacité de potabilisation de l'eau.

### Partie 1. Etude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres)

#### II.1.1. Les étapes de procédé de traitement adapté à la station

Le contexte de l'alimentation en eau potable en Algérie a beaucoup évolué au cours des 15 dernières années. Pour satisfaire la demande en eau croissante en eau potable des différentes Wilayas et notamment celle d'Alger. En raison de sa capacité de production élevée, la station de BOUDOUAOU joue un rôle clef dans l'alimentation en eau potable du Grand Alger ; la station comporte 2 filières de traitement identiques avec chacune se compose de deux filières de traitement identiques. Chaque filière comporte 3 décanteurs lamellaires type PULSATOR et 8 filtres à sable AQUAZUR V, dont une représentation schématique est présentés ci-après.

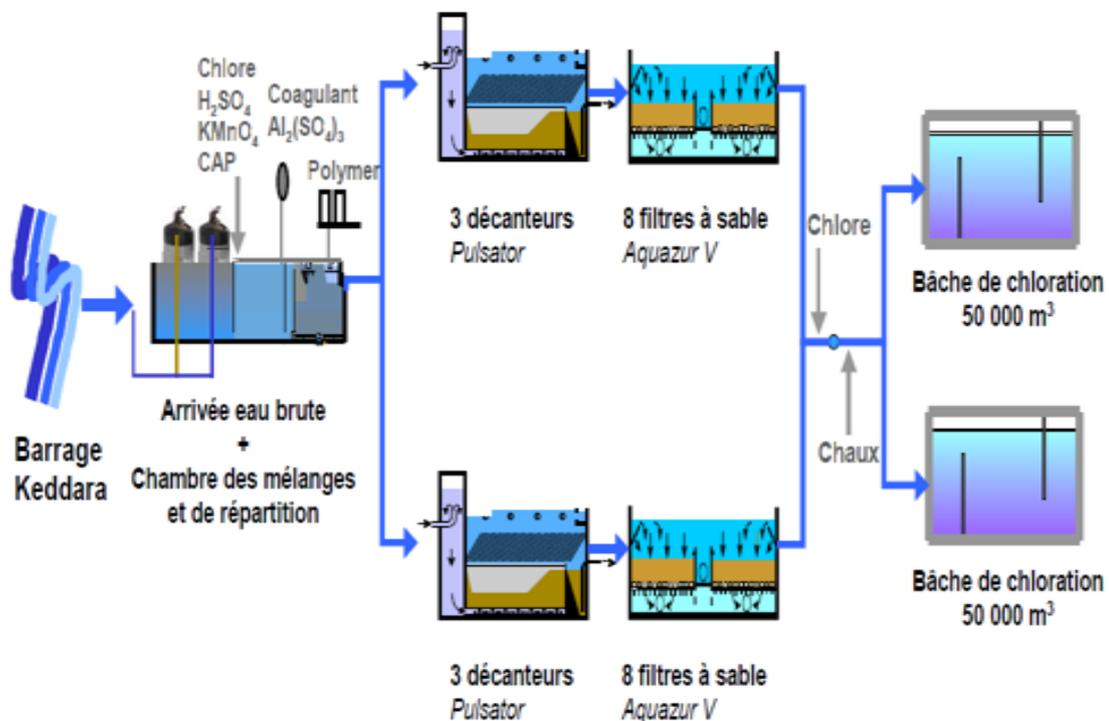


Figure II.1 : La filière de traitement de la station BOUDOUAOU

Le procédé de traitement est un procédé classique de potabilisation d'eau de surface. Les différentes étapes de traitement sont :

- Une pré-aération,
- Pré oxydation au chlore et au permanganate  $\text{KMnO}_4$
- Correction du pH avec l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Adsorption sur charbon actif en poudre
- Coagulation au sulfate d'alumine
- Floculation à l'aide d'un polymère anionique
- Décantation lamellaire avec lit de boue
- Filtration sur sable
- Désinfection finale au chlore
- Remise à l'équilibre (lait de chaux) avant le stockage des eaux traitées.

### **Etape 1.**

L'eau brute est admise gravitairement par l'intermédiaire de deux canalisations  $\text{Ø} 1\ 200$ , d'arrivée d'eau brute peut atteindre les 06 bars. Chaque conduite aboutit dans un ouvrage unique d'admission de l'eau brute par l'intermédiaire de quatre obturateurs à disque motorisés (deux par conduite) qui permettent :

- a. briser la charge en entrée d'usine,
- b. D'ajuster le débit de traitement à la valeur souhaitée,
- c. D'aérer l'eau brute,
- d. D'oxyder les composés aisément oxydables (le fer ferreux, par exemple),



**Figure II.2.** Obturateurs à disque

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

**Etape 2.**

L'eau passe par une deuxième étape l'ajout des réactifs de traitement. Dans la chambre de mélange, l'injection des réactifs est assurée dans la largeur du canal, par des tubes en PVC perforés posés sur des supports, dans le travers de l'ouvrage.

- a) Pré chloration au chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium.
- b) Pré-oxydation au permanganate de potassium, ce dernier permet l'oxydation du manganèse dans l'eau a traitée ce traitement est saisonnier
- c) Adsorption au charbon actif, ce traitement est mis en place lors de la dégradation des goûts qui sont générés par les métabolites d'algues (saisonnier).
- d) Correction du pH avec de l'acide sulfurique pour ramener le pH vers un pH de coagulation.
- e) Coagulation au sulfate d'alumine pour la clarification.
- f) Flocculation au poly électrolyte anionique



**Figure II.3.** Chambre de mélange

**Etape 3.**

Répartition de l'eau mélangée avec les réactifs de traitement vers les deux filières de traitement. Au niveau de cette chambre le débit d'eau se répartit en 2 filières par des vannes murales où se fait l'injection du polymère.



**Figure II.4.** Chambre de répartition

**Etape 4.**

La station de BOUDOUAOU est équipée de deux filières identiques composées de 03 décanteurs et 8 filtres à sable chacune. La décantation est assurée par un ouvrage appelé décanteur PULSATOR. Ce dernier permet, en imprimant une pulsation lente aux sédiments contenus dans l'eau à traiter. L'abattement de la turbidité peut atteindre une valeur de 98% dans les conditions idéales. Le principe de ces appareils vise à favoriser la formation de particules plus grosses, qui décantent plus rapidement, en mélangeant des boues déjà décantées à la suspension à décanter, préalablement conditionnée avec un coagulant et éventuellement un floculant. Les décanteurs à lit de boues fonctionnent par injection uniforme de la suspension à la base de l'ouvrage, au moyen d'une série de tuyaux perforés. Les boues sont maintenues en suspension comme dans un lit fluidisé. Les particules de la suspension à traiter rencontrent les particules du lit de boues et s'y agrègent. Les boues sont récupérées par un siphon qui joue le rôle de régulateur de la hauteur de leur lit. Il est équipé de :

- a.** Cloche (chambre sous vide)
- b.** Concentrateur (collecteur de boue).
- c.** Conduite ramificatrices (clarinettes) sortie d'eau brute mélangée avec les réactifs sur le décanteur.
- d.** Tranquillisateurs (pour éviter les mouvements brusques de l'eau)
- e.** Conduites d'extractions des boues (pour l'évacuation des boues).
- f.** Modules lamellaires



**Figure II.5.a.** Décanteur PULSATOR

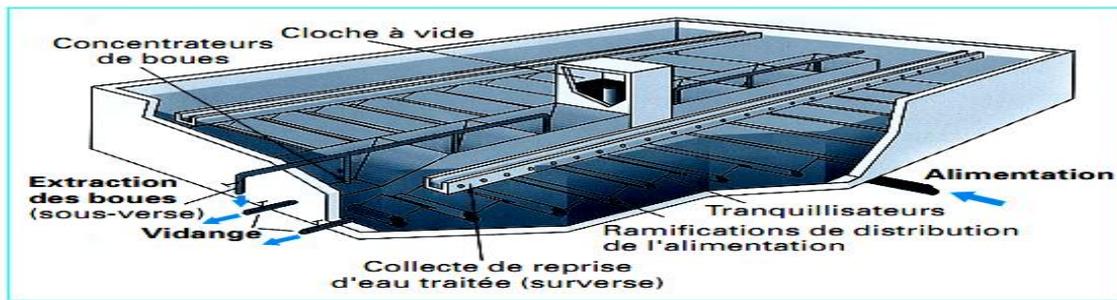


Figure II.5.b. Décanteur PULSATOR

**Etape 5.**

Afin d'éliminer le résiduel de turbidité après décantation l'usine est équipée de 8 filtres à sable de type AQUAZUR V sur chaque filière de traitement. Cette étape est plus que indispensable elle permet aussi de réduire l'aluminium résiduel, algues et même les spores ASR. Il s'agit de filtres à sable de granulométrie homogène, fonctionnant par gravité, lavables simultanément à l'air et à l'eau. En filtration, l'eau est admise dans le filtre depuis le canal d'eau décantée. Un déversoir dénoyé permet l'équi-répartition des débits entre les filtres en service. L'eau est ensuite filtrée gravitairement à travers un matériau filtrant (sable). Le matériau filtrant est de composition et de granulométrie homogène. L'eau filtrée est ensuite collectée par des buselures traversant la dalle planché qui supporte les matériaux filtrants. Des vannes régulatantes augmentent ou diminuent le débit de manière à garder un niveau d'eau stable au-dessus du filtre, quelque soit le niveau de colmatage. L'eau est ensuite dirigée vers le canal d'eau filtrée.

Ces derniers sont équipés de :

- a) Cuve en béton séparée en deux ; dont le planché contient 8820 Buselures.
- b) Distribution d'air de lavage.
- c) Diaphragme et déversoir à partir de la goulotte d'eau à filtrer.
- d) Goulotte en 'V' avec nombreux orifices.
- e) Vannes à vessie (point de passage de l'eau a filtrée).
- f) Vanne de vidange.
- g) Capteur de colmatage.
- h) Capteur de niveau.
- i) Vanne d'air (purge).
- j) Vanne de régulation à double effets



Figure IV.6.a. Filtres en moment du lavage



Figure II.6.b. Filtres en phase de remplissage

**Etape 6.**

Après filtration l'eau subit une désinfection par le chlore pour amener un résiduel de 1.00 mg/l. Réactifs utilisés : Chlore Cl<sub>2</sub>, Hypochlorite de calcium Ca(ClO)<sub>2</sub>, Hypochlorite de sodium NaClO.

**Etape 7.**

Si le PH de l'eau filtrée désinfecté est agressives, l'eau subit une correction avec du lait de chaux.

**Etape 8.**

L'eau traitée est stocké dans deux réservoirs d'une capacité de 50 000 m<sup>3</sup> chacun. La régulation du débit d'entré est en fonction du soutirage et du niveau de ces deux réservoirs.

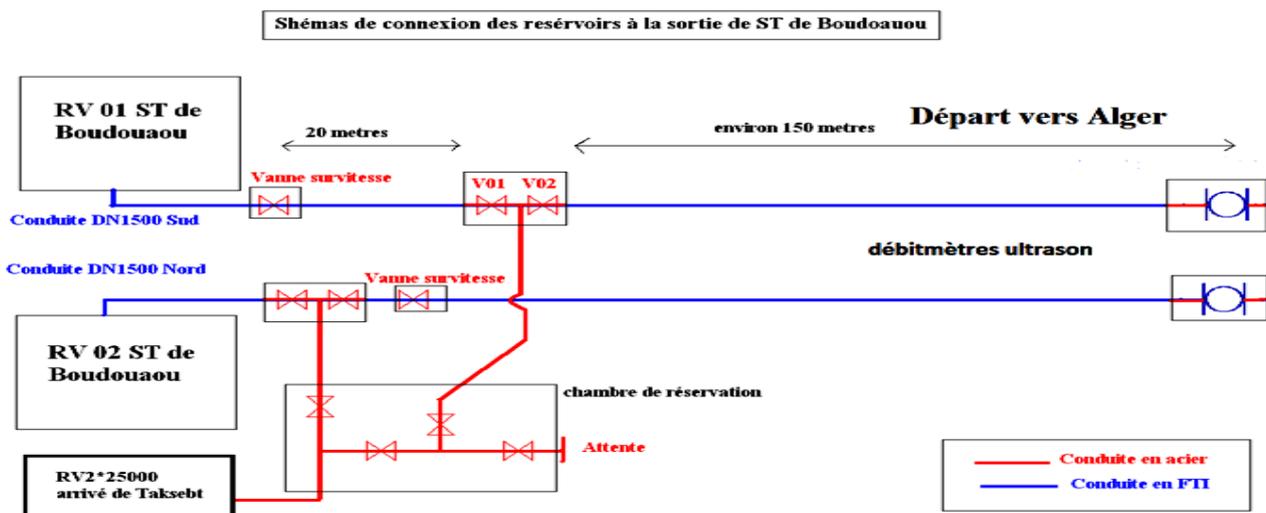
La station dispose de quatre (04) réservoirs du stockage semi-enterrés dont deux (2) avec une capacité de 50.000 m<sup>3</sup> chacune qui sont destinés à stocker l'eau traité de Boudouaou ; et deux autres réservoirs de 25.000 m<sup>3</sup> chacune qui accueillent les eaux de Taksebt traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou.

**Tableau II.1.** Désinfection, correction du pH et stockage

Etape de traitement	Ouvrage	Conditions opérationnelles	Remarques
Désinfection finale et stockage des eaux Traitées	2 bâches de contact chicanées Volume = 2 x 50 000 m <sup>3</sup>	Tps séjour = 6h – 4,7 h	Injection chlore (Injection chaux)

**Etape 9.**

L'eau produite est ensuite mélangée avec celle provenant de l'usine de Taksebt avant d'être livrée par gravité vers le réseau de distribution.



**Figure II.7.** Connexion Eau Traitée Taksebt + Boudouaou

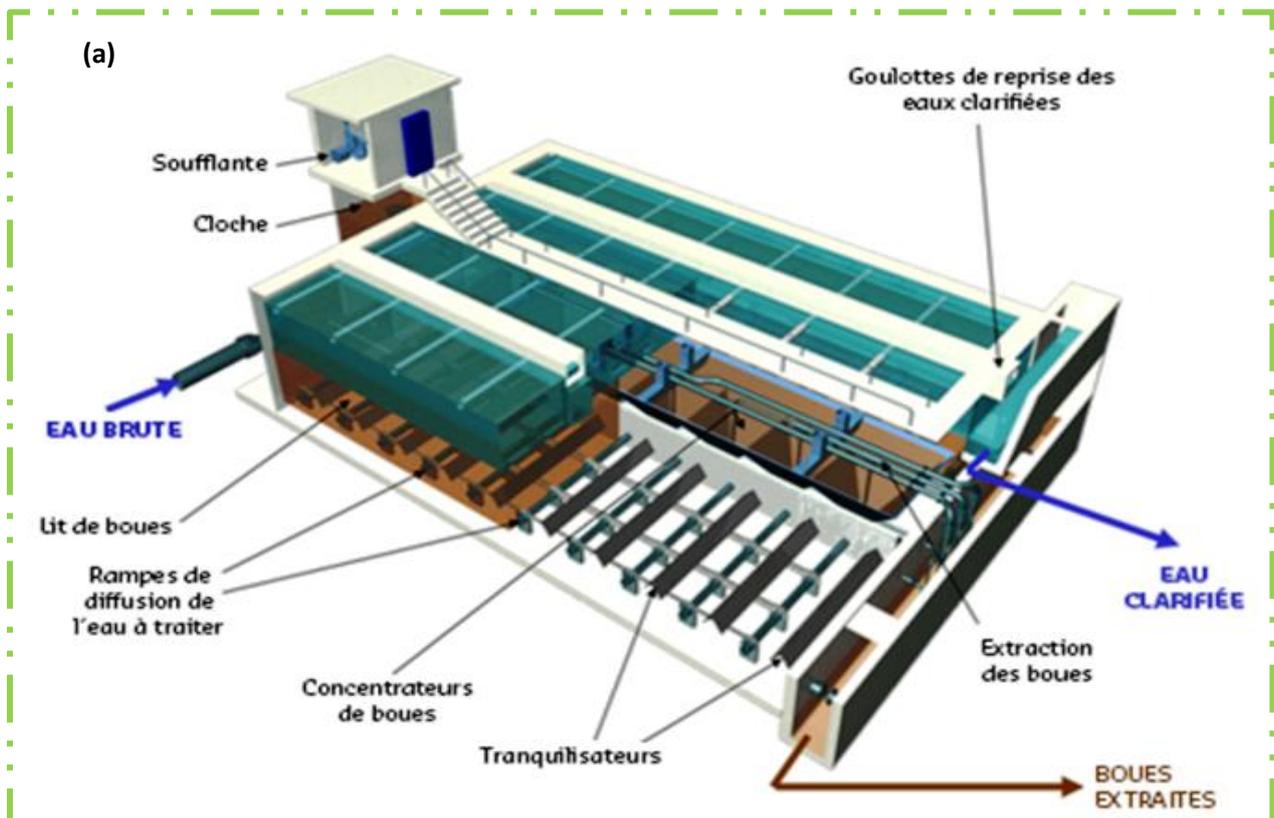
### II.1.2. Les surveillances et les contrôles effectués

Le laboratoire de centre réalise des contrôles sur l'eau brute, l'eau décanté, eau filtrée désinfectée et l'eau traitée, plusieurs prestations analytiques : Analyses bactériologiques, analyses biologiques, analyses physicochimiques et organiques et essais de traitabilité. Il est à noter qu'en plus de ces contrôles le centre de traitement Boudouaou à mis en place d'autres contrôle telles que :

1. Surveillance des réserves en eaux superficielles destinées à la production d'eau potable notre cas c'est le barrage de Keddarra,
2. prévoir une chaîne ou filière de traitements dans le but de rendre l'eau conforme aux limites et références de qualité.
3. Le contrôle de la qualité de l'eau potable, effectué sur l'ensemble du système de traitement par l'entretien et nettoyage régulier des ouvrages de traitement ainsi que les installations de dosage et préparation des différents produits chimiques.

### II.1.3. Etude du fonctionnement des ouvrage de potabilisation de l'eau (décanteurs, filtres)

La figure II.8 illustre le fonctionnement des ouvrage de potabilisation de l'eau (décanteurs, filtres) de la station de Boudouaou.



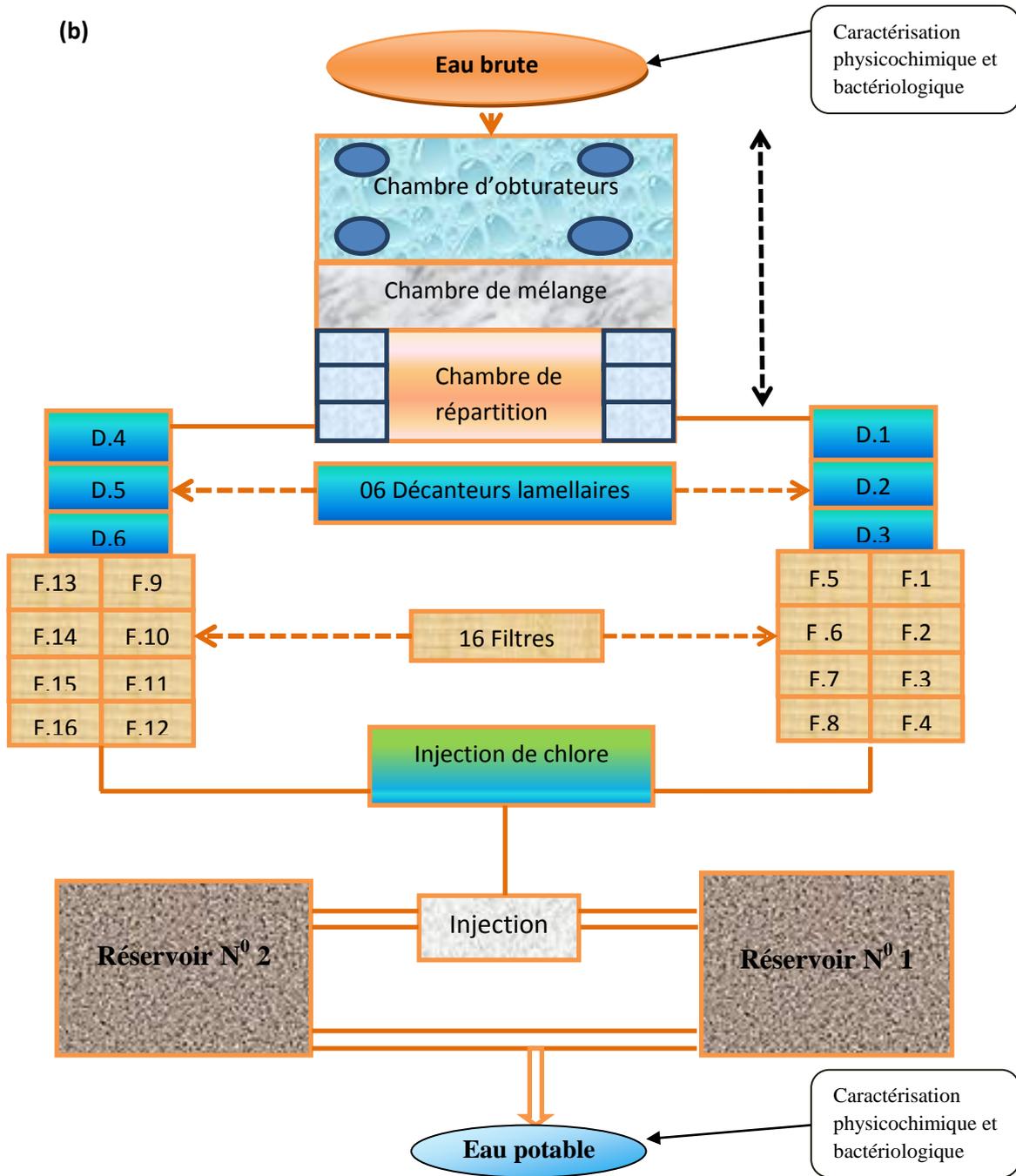


Figure II.8. Etude du fonctionnement des ouvrages de potabilisation de l'eau (décanteurs, filtres)

## Partie 2. Etude de l'efficacité de potabilisation de l'eau

### II.1. Protocole d'échantillonnage

Des échantillons des différentes phases de traitement à la station de BOUDOUAOU sont arrivés au laboratoire par billet des pompes d'échantillonnage qui fonctionnent en continue 24H/24.

**Tableau II.2 :** Points d'échantillonnage des différentes étapes de traitement de laboratoire BOUDOUAOU



<b>Prise d'échantillons</b>	Il existe Cinq prises d'échantillons d'eau au niveau de laboratoire
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A l'entrée de l'usine au niveau de l'Ouvrage d'Arrivé pour l'eau brute. Il est à noter que L'eau brute est arrive par gravité depuis le tuyau d'amenée jusqu'au laboratoire,</li> <li>▪ A la sortie des décanteurs Filière N°1, N°2 : pour l'eau décantée ;</li> <li>▪ A la sortie des filtres Filière N°1, N°2 : pour l'eau filtrée ;</li> <li>▪ A l'entrée de chambre de répartition vers les réservoirs pour l'eau filtrée désinfectée ;</li> <li>▪ En sortie de station pour l'eau traitée réservoir N°1 ; réservoir N°2</li> </ul>	

## II. 2. Méthodes d'analyses

Plusieurs méthodes d'analyses ont été utilisées pour l'analyse de différents paramètres.

### II. 2.1. Caractérisation des eaux d'appoint de la station de potabilisation de Boudouaou

Les principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques caractéristiques de ces eaux sont déterminés par les méthodes standards d'analyse décrites sur les modes Opératoires utilisés à cet effet au niveau de laboratoire procès de centre de traitement Boudouaou.

### II. 2.2. Présentation des paramètres et méthodes d'analyses utilisées

Pour optimisées les Essais de coagulation-floculation, plusieurs méthodes d'analyse sont été utilisées pour l'analyse de différents paramètres.

### ▪ **Température**

Il est important de connaître la température de l'échantillon d'eau à traiter avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissolution des sels et dans la détermination du pH. Elle se fait à l'aide d'une sonde de température qui est connectée au pH-mètre.

### ▪ **Potentiel d'hydrogène**

La mesure de pH permet de déterminer l'acidité ou alcalinité d'une solution, souvent qu'il se trouve dans la bande 0 à 7 ou 7 à 14 constitue la neutralité du milieu. Le pH d'un échantillon dépend également de la température en raison de l'équilibre de dissociation.

### ▪ **Conductivité**

La détermination de la valeur de la conductivité par un conductimètre (Mettlertolédo Seven Easy) est basée sur la mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau, et dépend :

- ✓ De la concentration et de la nature des ions ;
- ✓ De la température et de la viscosité de l'échantillon.

### ▪ **Turbidité**

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau, elle traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (organismes microscopique, argile). Cette mesure se fait avant et après chaque phase de traitement (Jar test, Décantation, filtration...etc.) par un turbidimètre. Son principe repose sur la Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solution formazine.

### ▪ **Méthodes analytiques de Dosage des Matières organiques**

- ✓ *L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>)*

Cette mesure renseigne sur la concentration en matières organiques présentes dans une eau peu chargée .On utilise un oxydant, le permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>), qui, dans des conditions opératoires précises, va oxyder des molécules présentes dans l'eau. Ces molécules sont essentiellement des molécules organiques mais des molécules minérales peuvent être également oxydées et l'on devrait parler plutôt de matières oxydables. Le KMnO<sub>4</sub> n'attaque pas toutes les

molécules organiques mais il est très utilisé pour suivre l'évolution de la matière organique dans une station de traitement. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid. La méthode à chaud est la plus utilisée à cause de sa rapidité.

### ✓ Protocole de détermination L'oxydabilité au permanganate de potassium ( $KMnO_4$ )

#### **Définition**

C'est la concentration en masse d'oxygène en relation avec les ions permanganates consommées par l'échantillon d'eau dans des conditions définies. Exprimée en mg/L d'oxygène.

#### **Principe**

Mesure en milieu acide la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du  $KMnO_4$  par les matières oxydables organiques contenues dans l'eau (l'échantillon).

#### **Application :**

- ✓ Transférer à l'aide d'une pipette 100 mL d'échantillon dans un bécher de 250 mL.
- ✓ Ajouter 20 mL d'acide sulfurique 2 mol/L et mélanger en agitant doucement.
- ✓ Placer le bécher sur une plaque chauffante et porter à ébullition.
- ✓ Ajouter 20 mL de la solution fille de  $KMnO_4$  2 mmol/L.
- ✓ Démarrer le chronomètre et maintenir à ébullition pendant 10 minutes.
- ✓ Après 10 minutes ajouter 20 mL de la solution fille de l'oxalate 5mmol/L (0.01 N) et attendre que la solution se décolore.
- ✓ Retirer alors le bécher de la plaque et le poser sur l'agitateur
- ✓ Titrer pendant que la solution est encore chaude avec la solution  $KMnO_4$  0.01 N jusqu'à couleur rose pâle. Noter  $V_{1eq}$
- ✓ Effectuer parallèlement un essai à blanc avec le même mode opératoire mais en remplaçant la prise d'essai par 100 mL d'eau distillée. Noter  $V_{0eq}$
- ✓ Conserver le blanc titré pour la vérification de  $KMnO_4$  :
  - Au blanc titré ajouter 20 mL d'oxalate à 0.01 N
  - Réchauffer la solution 1 à 2 minutes
  - Retitrer avec le  $KMnO_4$  0.01 N jusqu'à coloration rose pâle.
  - Noter  $V_{2eq}$  au  $KMnO_4$  ; doit être entre 19 et 20 mL si ce n'est pas le cas, refaire la solution mère de  $KMnO_4$ .

Expression des résultats en milligramme par litre d'oxygène

$$IP = \frac{16 \cdot (V1 - V0)}{V2} \text{ (mg O}_2\text{/L)}$$



**Figure II.9.** Protocole de détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>)

- **Absorbance UV 254 nm**

La mesure de l'absorbance à 254 nm est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons (carboxyliques, benzéniques...). Cette mesure de l'absorbance peut nous renseigner sur le contenu organique d'une eau, notamment la fraction aromatique. L'absorbance (densité optique) lue sur un spectrophotomètre peut permettre une estimation de la teneur en substances humiques d'une eau naturelle (eau de surface)

## II.3. Essais de coagulation-floculation (Jar-test)

### V.3.1. Description des essais de Jar Test

Les essais de Jar Test sont effectués dans un flocculateur de laboratoire, type FLOCUMATIC SELECTA, appareil qui permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série des béciers à une vitesse bien déterminée. Les béciers contiennent des doses croissantes de coagulant.

L'essai de floculation comporte trois phases :

- phase d'agitation rapide à la vitesse rapide de 180 tours/minute pendant deux minutes;
- phase d'agitation lente à la vitesse lente de 40 tours/minute pendant 18 minutes ;
- phase de décantation durant 40 minutes.

Après décantation, nous avons prélevé une certaine quantité d'eau par siphonage, tout en évitant une éventuelle remise en suspension du floc ainsi formé, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus



Figure II.10. Flocculateur de laboratoire Jars test

**II.1.1. Présentation des paramètres et méthodes d’analyses**

**II.3.2. Préparation des solutions**

**II.3.2.1. Préparation de la solution du coagulant Sulfates d’alumine**

Une solution mère de 1g/100ml est préparée périodiquement par dissolution du sulfate d’alumine [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, 18% H<sub>2</sub>O / 17% Al, 18% O<sub>2</sub>] dans de l’eau distillée. Après dissolution du sulfate d’alumine, des doses croissantes (30 mg/l ; 40 mg/l ; 50 mg/l ; 60 mg/l ; 70 mg/l ; 80 mg/l) de la solution obtenue sont injectées dans les 6 béchers prédisposés pour le Jar-test.

**Principaux caractéristiques du coagulant**

Dans notre étude, on a utilisé un coagulant déjà utilisée en station, dont les principales caractéristiques sont Présentées dans le tableau ci-après.

Tableau II.3 : Spécifications techniques du coagulant

<b>Nom du produit</b>	<b>Sulfate d’alumine</b>
<b>Forme chimique</b>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , 18H <sub>2</sub> O
<b>Aspect</b>	Granulé blanc
<b>Granulométrie</b>	3.15 < Q < 6.3mm
<b>Masse molaire</b>	666g/mol
<b>Stabilité</b>	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

**II.3.2.2. Préparation de la solution du floculant**

Le réactif floculant utilisé est le poly-électrolyte pour lequel une solution mère de 5 g/l est préparée périodiquement dans l'eau distillée est diluée à des doses de (0,025 mg/l; 0,05mg/l; 0,075mg/l; 0,1mg/l; 0,125 mg/l; 0,15mg/l). Les nouvelles solutions obtenues sont ensuite injectées dans les 6 béchers prédisposés pour le Jar-test.

**Principaux caractéristiques de floculant**

Dans notre étude, on a utilisé un floculant déjà utilisé en station, dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau II.4 :**Spécifications techniques de floculant

<b>Nom du produit</b>	<b>Polyélectrolyte</b>
<b>ionité</b>	anionique moyen
<b>Aspect</b>	poudre Granulé blanc
<b>Poids spécifique apparent</b>	de 0,89 à 0.91 g/ml
<b>Granulométrie</b>	10 mesh - 100mesh
<b>Poids moléculaire</b>	Haut
<b>Stabilité</b>	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

**II.3.2.3. Préparation de la solution des adjuvants**

Des solutions mères de 1g/l sont préparées par dissolution de chaque adjuvant dans de l'eau distillée, les adjuvants utilisés sont :

- ❖ Charbon actif en poudre.
- ❖ Chaux.
- ❖ Bentonite naturelle de MAGHNIA

**Principaux caractéristiques de la Chaux**

Dans mon étude, on a utilisé la Chaux déjà utilisée en station, dont les principales caractéristiques sont Présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau II.5 :** spécifications techniques de la Chaux

<b>Nom du produit</b>	<b>Chaux hydraté</b>
<b>Aspect</b>	Fine poudre blanche
<b>Formule chimique</b>	Ca(OH) <sub>2</sub>
<b>pH (solution saturée à 20 °C)</b>	12,4

**Principaux Caractéristiques de charbon actif en poudre**

Dans mon étude, on a utilisé un charbon actif en poudre déjà utilisée en station, dont les principales caractéristiques sont Présentées dans le tableau.

**Tableau II.6 :** Caractéristiques de charbon actif en poudre utilisée en station

Nom du produit	Charbon actif en poudre
Aspect	
Apparence	Poudre
Couleur	Noir
Odeur	Sans
<b>Autres propriétés Physiques et Chimiques</b>	
pH	7 à 11
Taux d'humidité en %	6 à 9 % au max par rapport au poids
Indice d'iode	Supérieur ou égal à 900 mg/g
Abattement de l'UV après traitement	Le taux d'abattement doit être supérieur à 35% au minimum
Surface spécifique total	Supérieur à 980 m <sup>2</sup> /g
Diamètres moyen des particules	30 µm
Densité apparentes	environ 400 kg/m <sup>3</sup>
Granulométrie	20 µm
L'emballage	Big bag de 500 kg

**Principaux Caractéristiques de la Bentonite naturelle de MAGHNIA**

Dans mon étude, j'ai utilisé la Bentonite naturelle de Hammam BOUGHRARA (MAGHNIA), échantillon de Roussel-1- dont les principales caractéristiques sont Présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau II.7 :** Caractéristiques de la Bentonite naturelle de MAGHNIA

Echantillon	Teneur des éléments majeurs en %										
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PAF
Roussel 1	<0.05	0.47	3.24	13.82	3.11	55.88	<0.05	0.16	1.16	1.20	18.55

**Analyse physico-chimiques de la Bentonite naturelle de MAGHNIA**

**1. Taux d'humidité**

C'est le rapport, exprime en pourcentage du poids de l'eau contenu dans l'adsorbant, au poids même matériau sec.

**Mode opératoire**

On pèse 4g de la bentonite qu'on introduit dans un creuset en céramique, soit (**P<sub>1</sub>**) le poids du creuset contenant la masse initiale. On place ensuite l'échantillon dans une étuve à 105 C° pendant 16h jusqu'on poids stable. On pèse de nouveau l'échantillon, soit (**P<sub>2</sub>**) poids du creuset contenant la masse sèche.

Le taux d'humidité est :  $H(\%) = [(P_1 - P_2) / (P_1 - P_0)]$

**Avec :**

**P<sub>0</sub> (g) :35.51** poids du creuset vide

**P<sub>1</sub> (g):39.952260** poids du creuset contenant la masse initiale

**P<sub>2</sub>(g):39.2996** poids du creuset contenant la masse sèche

Résultat d'analyse de Taux d'Humidité **H(%) = 14.69**

**2. Mesure de pH**

Le PH est une notion qui permet de façon commode de désigner le caractère acide, basique ou neutre d'une solution.

**Mode opératoire**

Dans un bécher on met une masse d'adsorbant 2g (bentonite), à laquelle on ajoute de l'eau distillée 50ml. On procède ensuite à un chauffage à reflux pendant 1h puis refroidissement. Le pH de la solution est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.

**3. Mesures de la masse volumique**

La mesure de la masse volumique apparente (aérée) et (tassé) de poudre de la bentonite est un test simple et rapide. On pèse une masse  $m_0(g)$  de la poudre puis on l'introduit précieusement à l'aide d'un entonnoir dans une éprouvette graduée, et on note directement le volume occupé par la masse  $m_0 (g)$ . On tape légèrement à l'aide d'une baguette de verre les parois de l'éprouvette on remarque que le volume  $V_1(ml)$  initiale passe à un volume  $V_2 (ml)$ , notant que  $V_1 (ml)$  est supérieur à  $V_2 (ml)$ . Trois essais sont nécessaires pour faire la moyenne et minimiser les erreurs.

La Masse volumique apparente et réelle est déterminée comme suit :

**P (apparente)=  $m_0 / V_1$**

**P (réelle)=  $m_0 / V_2$**

**Avec :**

**m<sub>0</sub> :** la masse initiale (prise d'essai)

**V<sub>1</sub> (ml) :** volume aéré occupé par la poudre de la bentonite

**V<sub>2</sub> (ml) :** volume tassé occupé par la poudre de la bentonite

Bentonite brute		Bentonite activée	
P (apparente) (g/ml)	P (réelle) (g/ml)	P (apparente) (g/ml)	P (réelle) (g/ml)
0.80	0.94	0.94	0.98

#### 4. Activation chimiques de la bentonite

Les échantillons ainsi préparés, sont imprégnés dans une solution aqueuse, d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ), à un rapport massique égal à 18g d'acide /15 g de bentonite. La température de la solution est maintenue constante à  $T= 100C^\circ$ , avec un reflux totale des vapeurs pendant 3h. Les adsorbants imprégnés sont séparés par filtration. Après refroidissement les échantillons sont lavés plusieurs fois à l'eau distillée, afin d'éliminer l'excès d'agent activant jusqu'à neutralisation du pH de la solution. L'étape finale consiste à sécher les adsorbants préparés à  $105C^\circ$ , jusqu' au poids constant ensuite conserver dans des dessiccateurs jusqu'à leur utilisations.



**Figure II.11.** Protocole d'activation chimique de la bentonite

\*Densité de  $H_2SO_4 = 1.84$ , La concentration de  $H_2SO_4 = 98\%$

\*J'ai besoin de 18g de  $H_2SO_4$  à 98%, Donc il me faut :  $18/1.84 = 9.78ml$

## II.4. Optimisation des essais de coagulation-floculation

### II.4.1. Essais de la coagulation

Cet essai permet la détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d'aluminium et de la bentonite sans amélioration et avec amélioration

Les essais de Jar-Test ont été effectués sur des échantillons d'eau brute qui sont coagulés :

Essai N°01 : avec des doses croissantes en sulfate d'aluminium (30 à 80 mg/l),

Essai N°02 : avec des doses croissantes de la bentonite sans et avec l'amélioration par activation chimique (5 à 30 mg/l),

Pour des conditions opérationnelles des essais de Jar Test décrite précédemment, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (Turbidité, Matière Organique, pH, UV).

## **II.4.2.Essais de la floculation**

### **II.4.2.1. Essai de la détermination de la dose optimale de floculant Poly- électrolyte**

Au cours cette essai, l'échantillon d'eau brute contenant une concentration constante de la dose optimale de sulfate d'aluminium : 50 mg/l, sont floculé avec des doses croissantes en floculant (0.025 à 0.15 mg/l), pour des conditions d'agitation des essais de Jar Test décrite précédemment, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (Turbidité, pH, UV).

### **II.4.2.2. Influence des adjuvants sur la coagulation-floculation**

Nous avons testés au cours de notre étude trois types d'adjuvants selon le rôle que peut accomplir chacun d'eux. Il s'agit de la « *chaux, le charbon actif en poudre et la bentonite avec amélioration* ». Nos essais ont été effectués selon le protocole du Jar-test à dose constante de coagulant (sulfate d'alumine), et à dose variables d'adjuvant du coagulant. Les adjuvants ont été injectés en même temps que le coagulant, Pour étudier l'effet des adjuvants sur l'amélioration de la qualité des eaux de surface de KADDERA par coagulation-floculation, à cet effet, nous avons coagulé à la dose optimale de coagulant déterminée au préalable, soit 50 mg/l ,dans des béciers de 1 litre contenant des doses croissantes des adjuvants du coagulant.

### **Protocole expérimental**

Les échantillons d'eaux brutes enrichies avec des doses croissantes en adjuvants du coagulant, les différentes doses comprises entre 5 et 30 mg/l, sont soumis pendant 2minutes à une agitation rapide de 180 tr/min ; c'est une phase brève pendant laquelle on procède à l'introduction du coagulant et l'adjuvant.

La vitesse est par la suite réduite à 40 tr/min pour une durée 18 minutes. C'est une phase plus longue d'agitation lente pendant laquelle se produit la formation du floc. Le surnageant est récupéré par siphonage après un temps de décantation de 40 minutes pour être ensuite analysé pour déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (Turbidité, Matière Organique, UV, pH).

**II.4.2.3. Influence du pH sur la coagulation-floculation**

Les essais de Jar-Test ont été effectués sur des échantillons d'eau brute contenant des doses optimales du coagulant et d'adjuvant avec des pH croissants allant jusqu'à pH 8. Divers paramètres (Turbidité, Matière Organique, pH, UV et aluminium résiduaire) ont été déterminés.

# **Chapitre III :**

## **Résultats et discussions**

### III.1. Optimisation des essais de coagulation-floculation

#### III.1.1. Essais de la coagulation

##### III.1.1.1. Détermination de la dose optimale des coagulants

Les résultats des essais de jar-test, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans les tableaux suivants.

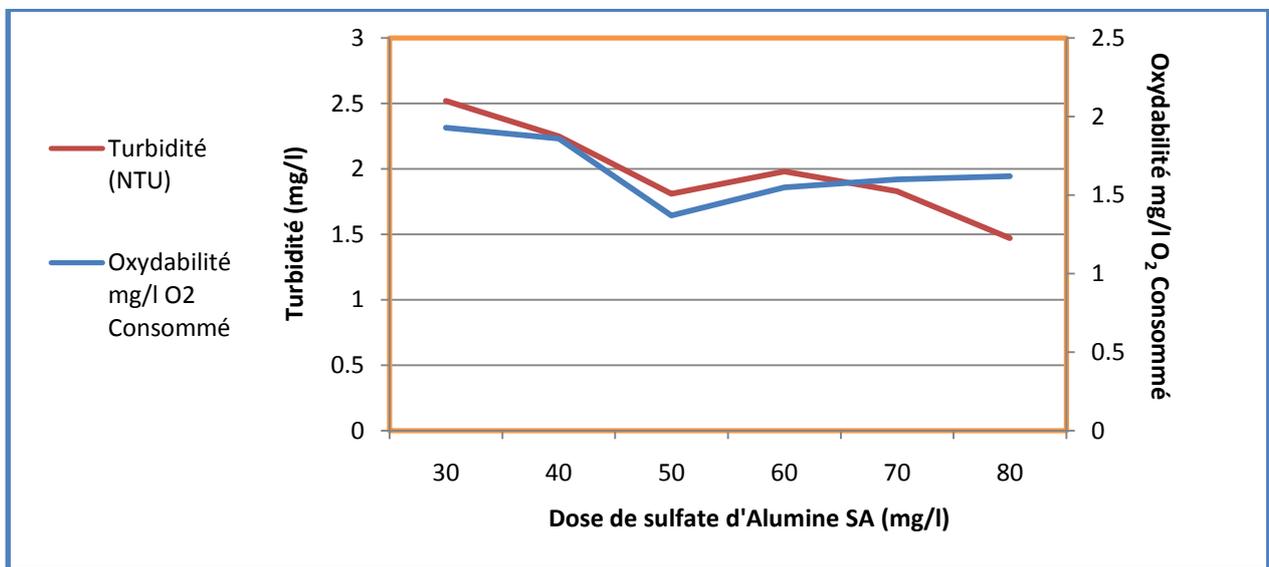
**Tableau III.1 :** Résultat d’essai de la détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d’aluminium

Caractéristique de l’eau Brute a traitée :

pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
8.07	1053	0.096	15.10	7.75	2.26

**Essai de jar test.№01 :** Détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d’aluminium

Numéro d’essai	№01	№02	№03	№04	№05	№06
Dose de S.A (mg/l)	30	40	50	60	70	80
Absorbance UV 254 (nm)	0.063	0.059	0.059	0.057	0.052	0.050
pH	7.59	7.44	7.31	7.24	7.18	7.09



**Figure III.1 :** évolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de coagulant sulfate d’alumine

D’après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- la dose optimale de coagulant à ajouter est de 50 mg/l, pour avoir une meilleur turbidité qui de 1.81 NTU, avec un meilleur abattement de la Matières organiques de 2.26 mg/l à 1.37mg/là la valeur de pH = 7.31optimale du coagulant sulfate d'aluminium.
- la dose optimale de coagulant à ajouter est de 50 mg/l, permettant ainsi d'améliorer de la qualité des eaux de surface de KADDERA au point de vue élimination de la turbidité et matières organique et l'abattement de UV ainsi que le pH.

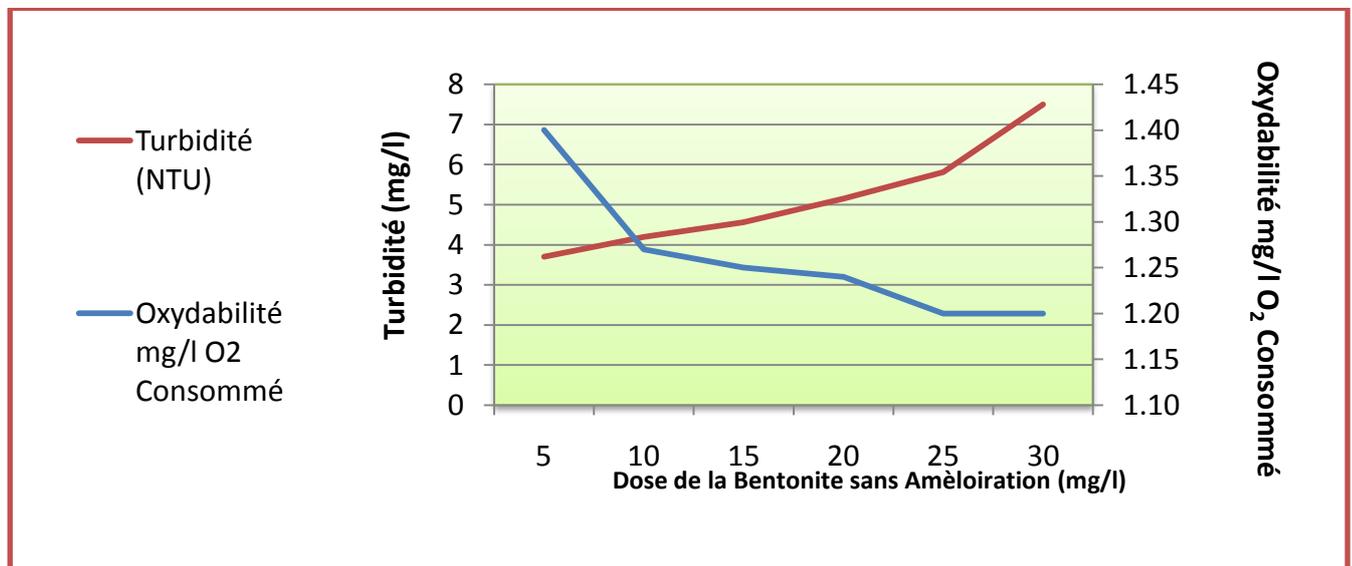
**Tableau III.2:** Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la bentonite sans amélioration

Caractéristique de l'eau Brute a traitée :

pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
7.82	1074	0.060	15.10	7.90	1.53

**Essai de jar test N°02 : Détermination de la dose optimale de la bentonite sans amélioration**

Numéro d'essai	N°01	N°02	N°03	N°04	N°05	N°06
Dose la bentonite (mg/l)	5	10	15	20	25	30
Absorbance UV 254 (nm)	0.076	0.075	0.083	0.088	0.090	0.106
pH	8.00	7.95	7.92	7.91	7.91	7.88



**Figure .III.2 :** évolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la bentonite sans amélioration

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- la dose optimale de coagulant de la bentonite à ajouter est de 5 mg/l, pour avoir une meilleure turbidité qui est de 3.70 NTU, avec un meilleur abattement de la Matières

organiques de 1.53 mg/l à 1.20 mg/l à la dose optimale de coagulant de la bentonite de 25 mg/l.

- Le pH diminue avec l'augmentation de la dose de la bentonite, ceci est probablement dû à la nature des fonctions chimiques qui existent dans la structure de la bentonite.
- La dose optimale de coagulant de la bentonite à ajouter, permettant ainsi d'améliorer de la qualité des eaux de surface de KADDERA au point de vue pH, et matières organique et élimination de la turbidité contrairement au point de vue de l'abattement de UV.

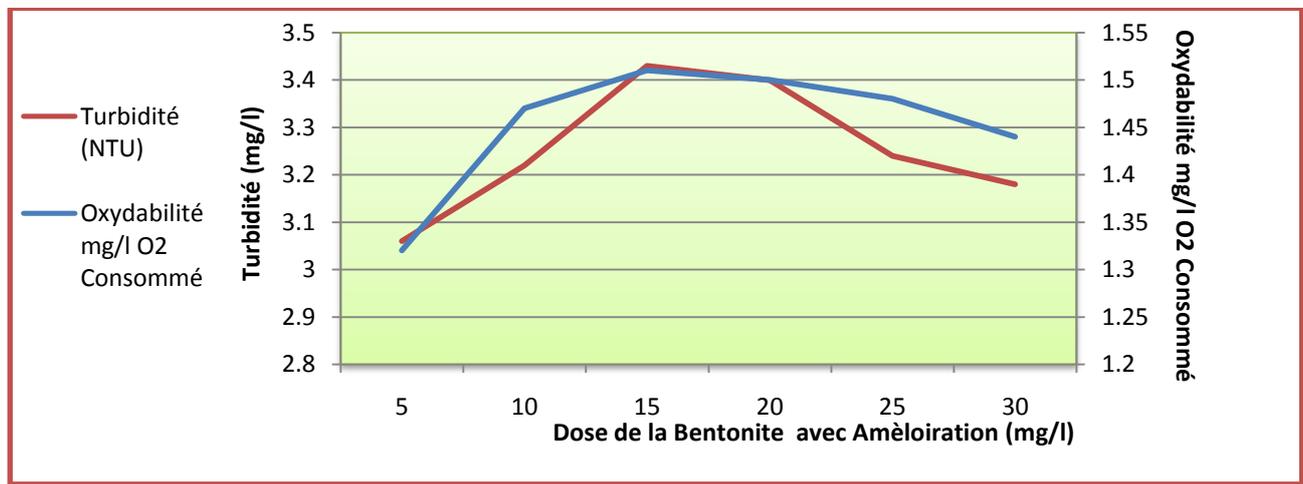
**Tableau III.3 :** Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la bentonite avec amélioration

Caractéristique de l'eau Brute a traitée :

pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
7.88	1080	0.074	17.60	6.95	1.60

**Essai de jar test N°02 : Détermination de la dose optimale de la bentonite Avec amélioration**

Numéro d'essai	N°01	N°02	N°03	N°04	N°05	N°06
Dose de la bentonite (mg/l)	5	10	15	20	25	30
Absorbance UV 254 (nm)	0.068	0.065	0.071	0.069	0.071	0.067
pH	7.73	7.74	7.74	7.76	7.71	7.75



**Figure III.3 :** évolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la bentonite avec amélioration

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- la dose optimale de coagulant de la bentonite à ajouter est de 5 mg/l, pour avoir une meilleure turbidité qui est de 3.06 NTU, avec un meilleur abattement de la Matières

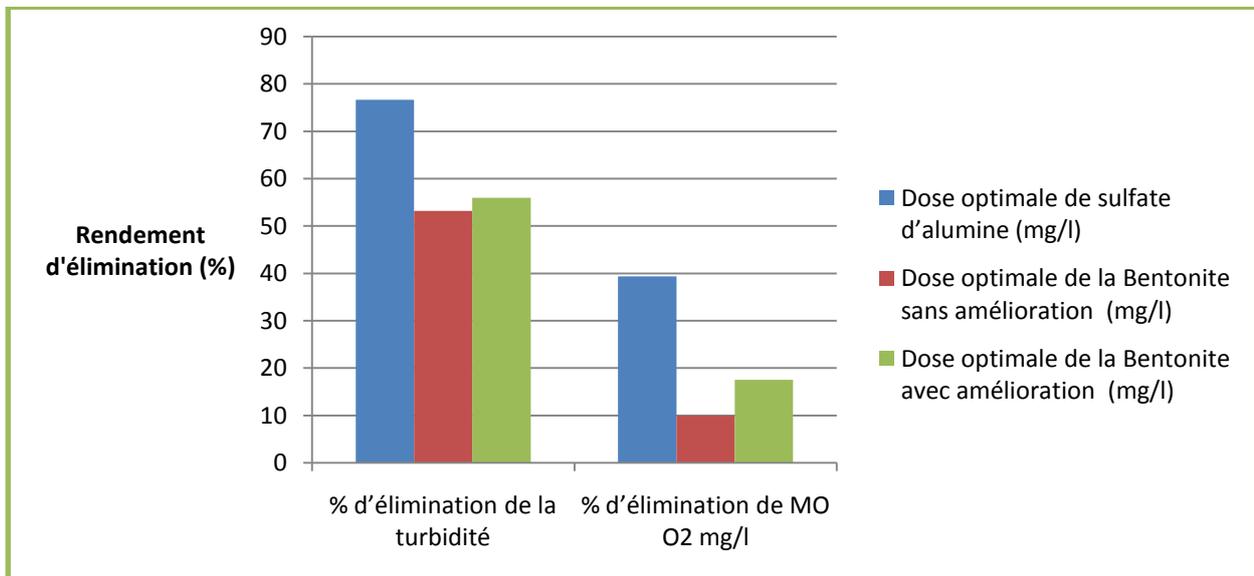
organiques de 1.60 mg/l à 1.32 mg/l à la dose optimale de coagulant de la bentonite de 5 mg/l.

- La dose optimale de coagulant de la bentonite à ajouter, permettant ainsi d'améliorer de la qualité des eaux de surface de KADDERA au point de vue élimination de la turbidité et matières organique, l'abattement de UV et le pH.

### III.1.1.2. Comparaison entre les coagulants étudiés

**Tableau III.4 :** Rendement d'élimination de la turbidité NTU et de la matière organique O<sub>2</sub> mg/l après optimisation

Parameters	Dose optimale de sulfate d'alumine (50 mg/l)	Dose optimale de la Bentonite sans amélioration (5 mg/l)	Dose optimale de la Bentonite avec amélioration (5 mg/l)
la turbidité	1,81	3,70	3,06
% d'élimination de la turbidité	76,65	53,20	55,97
MO O <sub>2</sub> mg/l	1,37	1,40	1,32
% d'élimination de MO O <sub>2</sub> mg/l	39,40	10	17,50
pH	7,31	8,00	7,73



**Figure .III. 4 :** Rendement d'élimination de la turbidité NTU et de la matière organique après optimisation

Nous constatons que l'utilisation de la 5 mg de bentonite (brute et activée) améliore le rendement d'élimination de la turbidité (53,20 et 55,97%, respectivement) de même que celui de la matière organique (10 et 17.5%, respectivement), par contre le sulfate d'alumine amélioré nettement le rendement d'élimination de la turbidité de même que celui de la matière organique.

On note ainsi que la comparaison des coagulants étudiés montre que le sulfate d'alumine est le plus efficace, il conduit à une réduction de 76.65% de la turbidité et 39,40% de la MO. Il est à noter qu'une faible dose de 5mg de la bentonite activée élimine 17.5% la MO, alors qu'une forte dose de 20 mg bentonite brute a réduit 21% de la MO. L'activation de la bentonite améliore la qualité de l'eau traitée.

Dans les différentes conditions optimales du processus de coagulation-floculation, le pH varie, les plus grandes valeurs sont observées avec de la bentonite brute suivie par la bentonite activée et enfin SA.

### **III.1.2.Essais de la floculation**

#### **III.1.2.1. Essai de la détermination de la dose optimale de flocculant Poly- électrolyte**

Les résultats des essais de jar-test, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans le tableau III.5.

**Tableau III.5 :** Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de flocculant Poly-électrolyte

Caractéristique de l'eau Brute a traitée :					
pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
7.99	1075	0.068	17.60	5.00	2.03

#### **Essai de jar test : Détermination de la dose optimale de flocculant Poly- électrolyte**

Numéro d'essai	<u>Nº01</u>	<u>Nº02</u>	<u>Nº03</u>	<u>Nº04</u>	<u>Nº05</u>	<u>Nº06</u>
<b>Dose de S.A (mg/l)</b>	50	50	50	50	50	50
<b>Dose de Poly- électrolyte [P.E](mg/l)</b>	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15
<b>pH</b>	7.46	7.40	7.38	7.40	7.40	7.40
<b>Absorbance UV 254(nm)</b>	0.055	0.053	0.072	0.065	0.059	0.065

- A la lumière des données de cette essai, on en déduit que la dose optimale de flocculant à ajouter est de 0.05 mg/l, pour avoir une meilleur turbidité de 1.47 NTU.

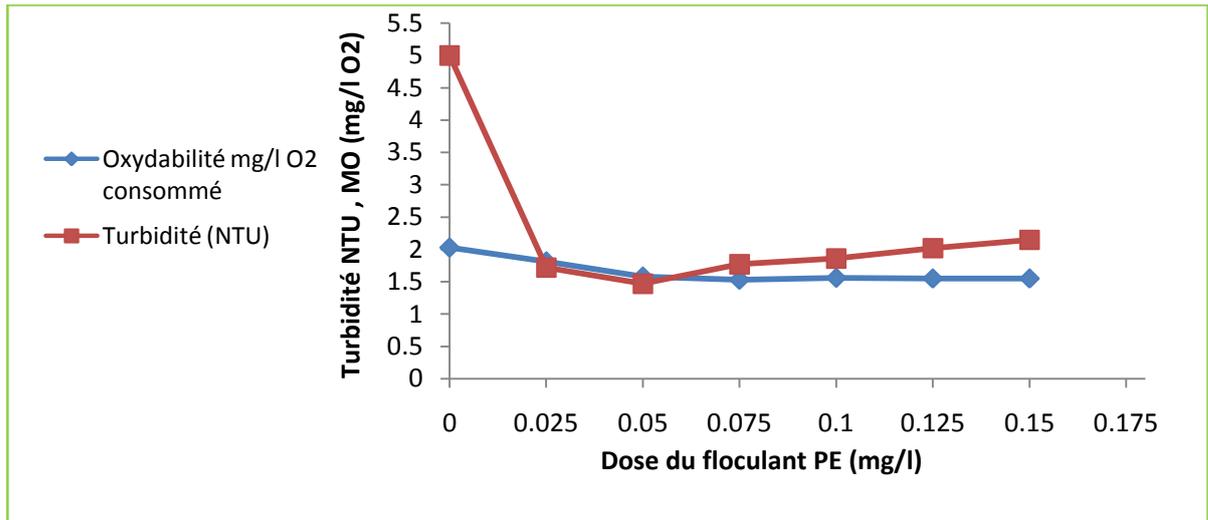


Figure . III.5 : Evolution de la turbidité en fonction de la dose de flocculant P.E ajouté

### III.1.2.2. Influence des adjuvants sur la coagulation-floculation

Nous avons testés au cours de notre étude trois types d’adjuvants selon le rôle que peut accomplir chacun d’eux. Il s’agit de la chaux, le charbon actif en poudre et la bentonite avec amélioration.

Nos essais ont été effectués selon le protocole du Jar-test à dose constante de coagulant (sulfate d’alumine), et à dose variables d’adjuvant du coagulant.

#### III.1.2.2.1. Influence de la chaux éteint sur la coagulation floculation

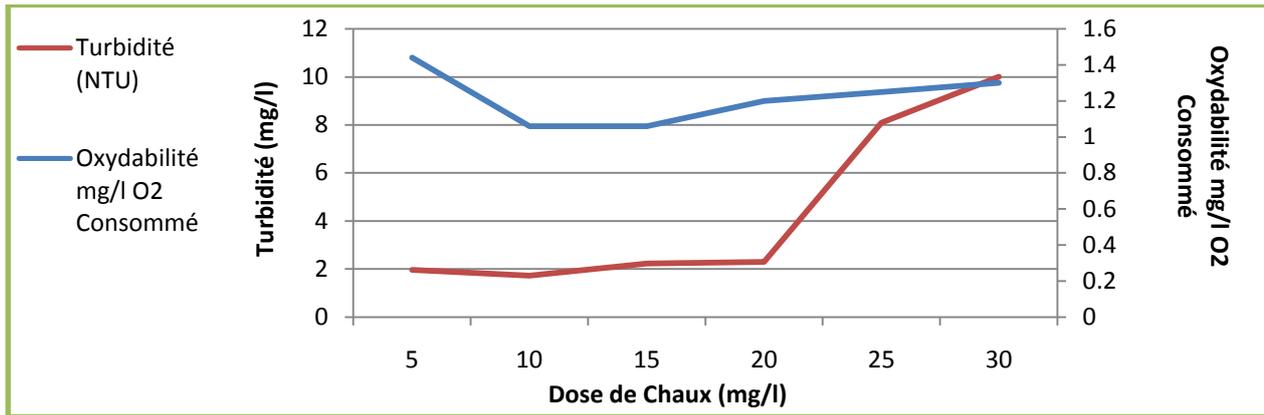
Tableau III.6 : Résultat d’essai de la détermination de la dose optimale de la chaux en complément de 50mg/l de sulfate d’alumine

Caractéristique de l’eau Brute a traitée :

pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
7.99	1075	0.068	17.60	5.00	2.03

#### Essai de jar test : Détermination de la dose optimale de la Chaux

Numéro d’essai	Nº01	Nº02	Nº03	Nº04	Nº05	Nº06
Dose de S.A (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Dose de la Chaux (mg/l)	5	10	15	20	25	30
pH	7.51	7.56	7.88	7.65	7.70	8.15
Absorbance UV 254(nm)	0.043	0.044	0.044	0.048	0.046	0.048



**Figure . III. 6 :** évolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la Chaux en complément de 50 mg/l de sulfate d’alumine

D’après les résultats obtenus, nous remarquons que les rendements d’élimination augmente au fur et à mesure avec l’augmentation de la dose de la Chaux. Les floes formés sont importants et décantent rapidement contrairement à l’utilisation du sulfate e d’alumine seul. La Concentration optimale de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  est de 10 mg/l, permettant ainsi d’améliorer les rendements d’élimination de la turbidité et de la matière organique.

La diminution du pourcentage d’élimination au-delà de 10 mg/ l peut être attribuée à des doses de chaux induisant l’augmentation du pH.

### III.1. 2.2.2. Influence du charbon actif en poudre sur la coagulation floculation

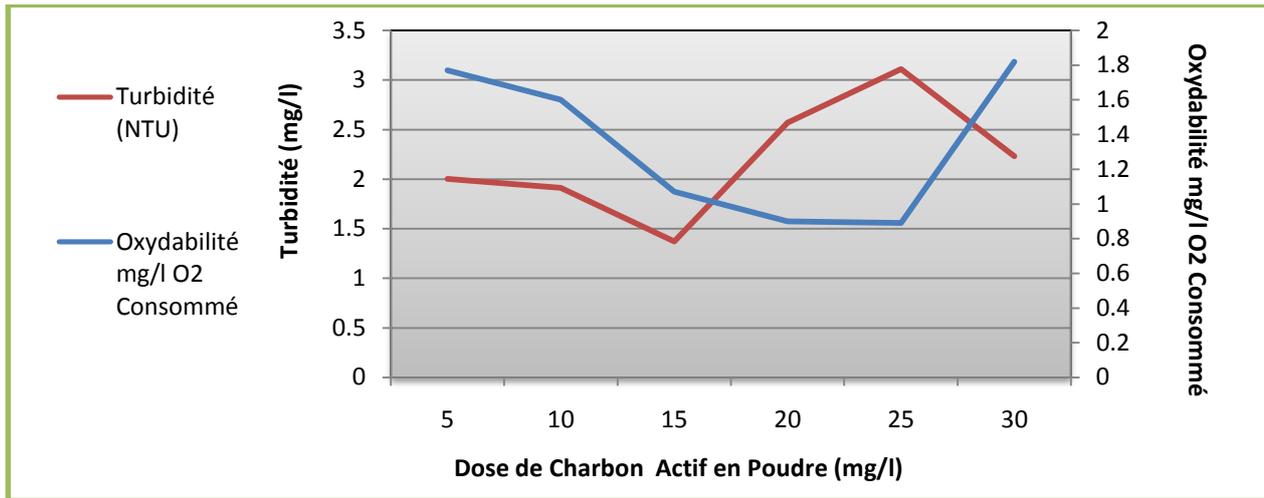
**Tableau III.7 :** Résultat d’essai de la détermination de la dose optimale de Charbon actif en poudre en complément de 50mg/l de sulfate d’alumine

Caractéristique de l’eau Brute a traitée :

pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
8.00	1060	0.086	15.90	7.40	2.40

#### **Essai de jar test : Détermination de la dose optimale de Charbon actif en poudre**

Numéro d’essai	Nº01	Nº02	Nº03	Nº04	Nº05	Nº06
Dose de S.A (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Dose de Charbon actif en poudre (mg/l)	5	10	15	20	25	30
pH	7.32	7.36	7.34	7.34	7.33	7.33
Absorbance UV 254(nm)	0.047	0.044	0.047	0.045	0.041	0.034



**Figure. III. 7 :** Evolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de Charbon Actif en Poudre en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine

D'après les résultats obtenus, la quantité de charbon actif en poudre qui permet l'abattement de la turbidité et de la matière organique est de 15 mg/ l, au-delà de cette valeur une désorption se produit. Pour cette dose, les rendements

D'élimination de la turbidité et la matière organique sont très importante.

### III.1.2.2.3. Influence de la bentonite sur la coagulation floculation

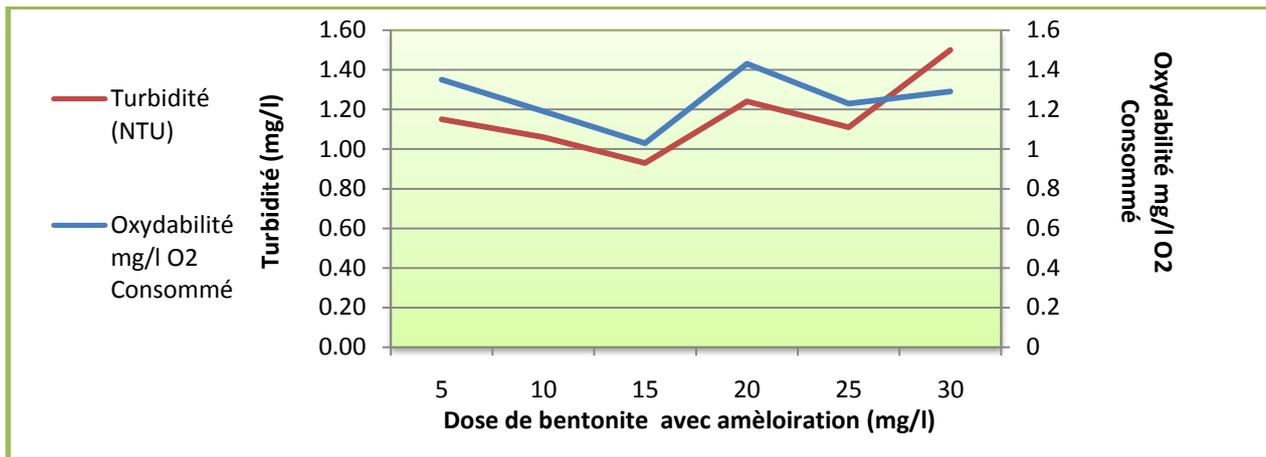
**Tableau III.8 :** Résultat d'essai de la détermination de la dose optimale de la bentonite avec amélioration en complément de 50mg/l de sulfate d'alumine

Caractéristique de l'eau Brute a traitée :

pH	Conductivité (µs/cm)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/l O <sub>2</sub> Consommé
7.80	1076	0.073	16.30	7.00	1.95

### Essai de jar test : Détermination de la dose optimale de la bentonite avec amélioration

Numéro d'essai	Nº01	Nº02	Nº03	Nº04	Nº05	Nº06
Dose de S.A (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Dose de la bentonite avec amélioration (mg/l)	5	10	15	20	25	30
PH	7.46	7.45	7.40	7.42	7.42	7.43
Absorbance UV 254(nm)	0.046	0.047	0.051	0.052	0.048	0.064



**Figure.III. 8 :** évolution de la turbidité et MO en fonction de la dose de la bentonite avec amélioration en complément de 50mg/l de sulfate d’alumine

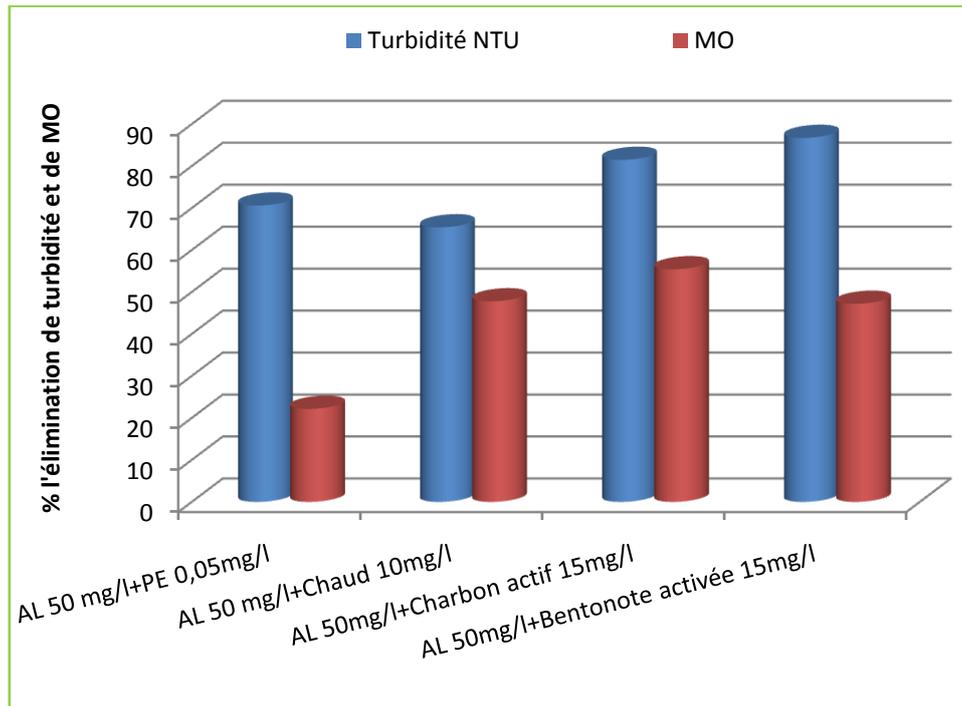
Nous constatons que l’utilisation de la bentonite améliore nettement le rendement d’élimination de la turbidité de même que celui de la matière organique.

Les meilleurs rendements sont obtenus à une dose de 15 mg/l tant pour l’abattement de la turbidité que celles des matières organiques. Ce qui s’explique par le fait que la présence de la bentonite augmente la concentration en matières en suspension dans l’eau et favorise donc les chocs entre les particules en dispersion dans l’eau.

### III.1.2.3. Comparaison entre les coagulants étudiés

**Tableau III.9 :** Rendement d’élimination de la turbidité NTU et de la matière organique O<sub>2</sub> mg/l après optimisation.

Parameters	Dose optimale de sulfate d’alumine (50 mg/l)			
	Dose optimale du Polyélectrolyte (0.05 mg/l)	Dose optimale de la Chaux (10 mg/l)	Dose optimale de la Charbon Actif en Poudre (15 mg/l)	Dose optimale de la Bentonite avec amélioration (15 mg/l)
<b>la turbidité</b>	1.47	1.73	1.37	0.93
<b>% d’élimination de la turbidité</b>	70.6%	65.4%	81.48%	86.71%
<b>MO O<sub>2</sub> mg/l</b>	1.58	1.06	1.07	1.03
<b>% d’élimination de MO O<sub>2</sub> mg/l</b>	22.16%	47.78%	55.41%	47.19%
<b>pH</b>	7.4	7.56	7.34	7.4



**Figure .III. 9 :** Rendement d’élimination de la turbidité NTU et de la matière organique après optimisation

Nous constatons que l’utilisation de la 15 mg/l de bentonite (activée) et de charbon actif séparément comme adjuvant au coagulant (SA 50mg/l) améliore énormément le rendement d’élimination de la turbidité de 86.71% et de 81.48%, respectivement, de même pour la matière organique (47.19% et 55.41%, respectivement).

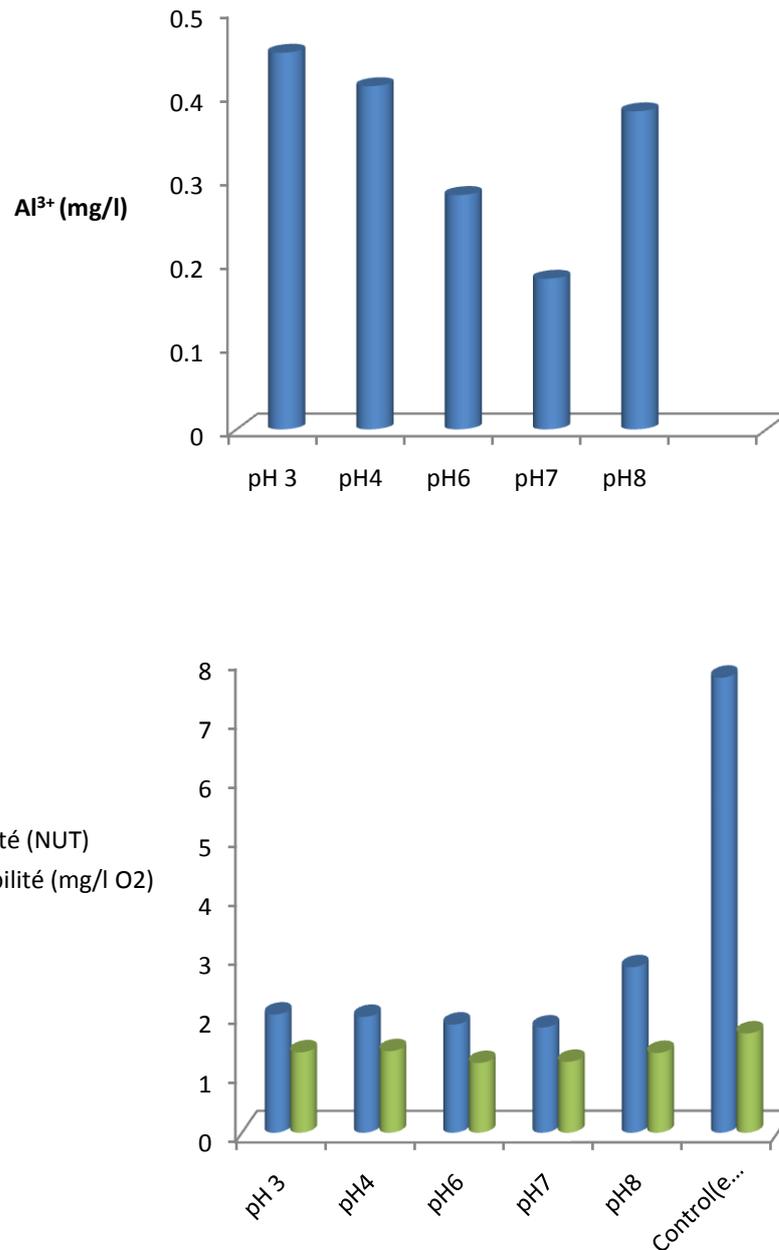
Concernant le PE et la chaud le rendement d’élimination de la turbidité était pratiquement semblable 70.6% et 65.4%, respectivement, alors que pour la matière organique la chaud la réduit efficacement (47.78%) par rapport au PE (22.16%).

On note ainsi que la comparaison des différents traitements en utilisant divers adjuvants montre que la bentonite activée et le charbon actif est les plus efficace, suivie par la chaud.

Dans les différentes conditions optimales du processus de coagulation-floculation, le pH moyen était de l’ordre de 7.425.

### III. 1.2.4. Influence du pH

D’après les résultats obtenus, la valeur du pH initial qui permet d’avoir le minimum d’aluminium résiduaire et le meilleur abattement de la turbidité et de la matière organique est de pH 7, c’est le pH de solubilité minimale de l’hydroxyde d’aluminium, ce qui confirme la première observation.



**Figure.III. 10 :** Evolution de la turbidité, MO et de l'Al résiduaire en fonction du pH à la dose optimale de sulfate d'alumine de 50mg/l

### III.1.3. Discussion

L'adsorption a été largement étudiée comme un moyen efficace pour l'élimination de la MO et de la turbidité l'eau contaminée ou brute. L'efficacité de l'élimination est influencée par divers facteurs tels que les types d'adsorbant, les modifications d'adsorbant et pH. Les résultats obtenus envisagent que l'utilisation de la bentonite activée associée à un coagulant SA dans la potabilisation des eaux de consommation améliore efficacement la qualité de l'eau brute du barrage de Kaddara.

Le nombre et la position des fonctions acides (carboxyles et OH<sup>-</sup> phénoliques) de la matière organique présente dans l'eau jouent un rôle important dans l'élimination, et donc dans les mécanismes d'interaction entre le coagulant et la matière organique et la formation de complexes insolubles. Il se produit une élimination préférentielle des fractions de hautes masses moléculaires.

Un autre mécanisme est l'adsorption des composés organiques à la surface des précipités amorphes d'hydroxyde métallique. La présence de poly hydroxydes métalliques sur les surfaces argileuses accroît leur affinité pour les colloïdes humiques, par le jeu de l'abaissement du caractère électro-négatif de leur surface, et de l'accroissement de la couche d'hydratation.

L'affinité de la bentonite vis-à-vis de polluants métalliques grâce à sa grande capacité d'échange d'ions est rapportée par plusieurs auteurs. En phase liquide, la bentonite peut présenter une grande sélectivité d'adsorption de certains composés organiques [52, 53, 54].

Le pH est l'un des paramètres les plus importants pour évaluer la capacité d'adsorption d'une solution aqueuse. Le pH influe sur la capacité d'adsorption due à son action sur les propriétés de surface de l'adsorbant, il enduit, en plus des ions métalliques simples, des produits d'hydrolyse hautement chargés et de masse moléculaire très élevée. La concentration plus élevée en ions H<sup>+</sup> dans un pH de solution faible peut neutraliser ces sites négatifs et réduire les encombres à la diffusion des ions phénol à partir de la solution aqueuse et, par conséquent, augmenter les chances de les adsorber. Cependant, lorsque le pH de la solution est élevé, les ions OH<sup>-</sup> sont prédominants, ce qui peut également entraver la diffusion des ions phénols et réduire ainsi les chances de les adsorber [53]

Nos résultats sont en accord avec les travaux d'Emam [52] qui a rapporté que la modification de la bentonite et du charbon actif augmente la capacité d'absorption par rapport à celle des adsorbants non modifiés, de même, l'adsorption de la bentonite augmenté à un pH de 7.

## **III.2. Analyse de l'efficacité des ouvrages de décantation et de filtration**

Pour étudier l'efficacité des ouvrages de décantation et de filtration, des analyses ont été faites par le laboratoire de la station pour caractériser l'eau à l'entrée et à la sortie des ouvrages de décantation et de filtration.

### **III.2.1. Analyse de l'efficacité des ouvrages de décantation**

La fonction principale de l'ouvrage de décantation est de réduire la teneur en MES à un niveau suffisamment bas pour permettre un traitement économique par filtration. Après l'étape de

coagulation/floculation, dont l'objectif est de former des macros floes, l'eau est traitée par décantation, c'est-à-dire la séparation physique des matières solides et de l'eau claire.

Il est à noter que la station SEAAL de BOUDOUAOU à deux modes d'exploitation de l'usine est à distinguer. Ils sont directement liés à la qualité de la ressource telles que définies :

**a. Bonne qualité de la ressource** (faible turbidité) : l'usine est exploitée en mode coagulation sur filtre, et le décanteur se comporte comme ouvrage de contact. Ce mode de fonctionnement permet un coût de réactifs réduit (taux de coagulant < 5 mg/l en commercial) mais il est limité à des qualités d'eau de turbidité < 10 NTU.

**b. Qualité d'eau dégradée de la ressource:** le recours aux réactifs complémentaires (charbon, dosages de coagulant plus élevés, permanganate de potassium) génère une production de floes importante qui est alors retenue dans les décanteurs. Dans cette situation, cet ouvrage doit respecter les objectifs internes de qualité Suez en eau décantée :

- ✓ < 5 NTU 100 % du temps et 3 NTU 95% du temps pour le paramètre turbidité ;
- ✓ 0,1 mg/l en aluminium ou fer dissous,
- ✓ 2 mg/l de Carbone Organique Dissous (équivalent à environ 5 m<sup>-1</sup> en absorbance UV254 nm) pour le paramètre matière organique en l'absence de traitements complémentaire.

➤ Le procédé de clarification choisi par la station SEAAL de BOUDOUAOU pendant mon période de stage est de : coagulation sur filtre, et le décanteur se comporte comme ouvrage de contact avec injection des taux de traitement faibles.

**Tableau III.10 :** Les taux de traitements appliqués à la station de BOUDOUAOU

<b>Taux de traitement</b>	
<b>S.A :</b>	3 ppm
<b>P.E :</b>	0,050 ppm
<b>Pré-chloration:</b>	1,5 ppm
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:</b>	10 ppm
<b>KMNO<sub>4</sub>:</b>	arrêt
<b>C.A.P:</b>	arrêt
<b>Désinfection:</b>	1,3 ppm
<b>Chaux :</b>	arrêt

**Critères de la performance et de l'efficacité des décanteurs PULSATUBE**

Si les décanteurs PULSATUBE sont utilisés conformément aux recommandations avec un débit entrant maximum de 540 000 m<sup>3</sup>/jour, ils fourniront une eau répondant à titre constant aux valeurs ci-après :

**CARACTERISTIQUES DES EAUX DECANTEES :**

- **Matière en suspension (MES)** ----- 2.5 X5 = 12.5 mg/l,
- **Turbidité**-----< 5 NTU,
- **Aluminium résiduel**----- valeur résiduelle ne dépassant pas celle du jar-test optimal obtenu en laboratoire

Ces données sont celle mentionnées sur la Notice d'exploitation station de traitement BOUDOUAOU

**III.2.2. Analyse de l'efficacité des ouvrages de filtration**

La mesure de la turbidité est l'un des indicateurs de la performance de la filtration et permet d'évaluer l'efficacité des ouvrages de filtration.

**III.2.3. Etude de l'efficacité des traitements de potabilisation de la station :**

A cet effet, on va évaluer les paramètres totaux ci-après :

- a. Paramètres physiques et organoleptiques,
- b. Paramètres de pollutions
- c. Métaux indésirables
- d. Paramètres bactériologiques

**✚ Etude des rendements d'élimination de la pollution**

- Traitement très satisfaisant au point de vue abattement de turbidité et algues :
  - Turbidité : 88 %
  - Matière organique : 25 %
  - Algues : 75 %
  - Chlorophylle a : 100 %
- Chloration très satisfaisante.
- Seuil de gout des eaux traitée =1
- Absence du manganèse.
- concentration d'aluminium dissous est réduite à 0.1 mg/l après l'injection de l'acide sulfurique.

Toutes les analyses bactériologique et physico-chimique sont conformes à la norme de potabilité en vigueur.

# **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

### Conclusion générale

La coagulation-floculation constitue une étape primordiale pour clarifier et éliminer les matières colloïdales présentes sous forme minérale ou organique, vu qu'elles sont caractérisées par leur grande stabilité et leur faible taille.

Notre travail porte sur l'optimisation de la coagulation- floculation de la matière organique. Cette optimisation est basée sur l'étude de l'influence de paramètres réactionnels tels que la dose, le type de coagulant et le pH.

La coagulation- floculation par des sels d'aluminium permet l'élimination de nombreux composés minéraux et organiques.

De même, l'utilisation de matériaux adsorbants tels que la bentonite modifiée, la bentonite brute, la chaux, et le charbon actif, ainsi qu'un flocculant les poly-électrolytes, permet l'optimisation de l'étape de clarification. L'utilisation de la bentonite activée et du charbon actif, en combinaison avec le coagulant (SA), aboutit à des abattements appréciables de la matière organique des eaux.

### Perspectives

Pour l'amélioration de l'efficacité de la clarification et l'optimisation du traitement d'une eau de surface, avec le procédé de coagulation- floculation, il est indispensable de s'intéresser aux étapes de traitement en amont et en aval de ce procédé car celles-ci peuvent conditionner l'efficacité de la clarification et donc l'optimisation du traitement d'une eau de surface. Par ailleurs, l'étude d'autres paramètres est intéressante pour l'amélioration de ce traitement.

## Références Bibliographiques :

- [1] Baouia Kais, 2018, Cours Traitement des eaux, université d'Ouargla, Algérie.
- [2] Maaliou, 2013, Notes de cours STEP-Traitement épuration. Systèmes hydrauliques de traitement et épuration des eaux usées et industrielles, université des sciences et de la technologie houari Boumediene, Algérie.
- [3] Valiron F., 1994"Lyonnaise des Eaux. Mémento du Gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement. Tome I Eau dans la ville Alimentation en Eau", Technique et documentation Lavoisier, Paris.
- [4] Maurel Alain, (2006), Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Lavoisier / Tec et Doc 2ème édition, pp 1-286, France.
- [5] Degremont, 2005, Mémento technique de l'eau, France, Technique et documentation, Degremont, 10ème édition, pp. 1-2503.
- [6] Boeglin Jean-Claude, 2001, Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1110, V1.
- [7] Leclech B., 1998, Environnement et agriculture. Bordeaux, Synthèse Agricole, 2ème édition, pp1-342.
- [8] [8] Collas R., 1977, La pollution des eaux. Presses universitaire de Paris, 4<sup>ème</sup> édition, pp 1-128.
- [9] Guere H. et Gamella C., 1978, Le traitement des eaux publiques industrielles et privées, Ed. Elyrols.
- [10] Robillard Joris, 2011, Techniques alternatives en assainissement pluvial, Montpellier, Agro Paris Tec, pp 1-23.
- [11] Elisabeth SIBEUD, 2015, Aménagement et eaux pluviales. Guide Méthodologique : Page 4.
- [12] Cardot Claude, 1999, Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris: Page 9.
- [13] Marcel Dore, Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P) : Pages 2,3.
- [14] Emsalem R, 1986, Climatologie Générale. Edition. I.P.E.N.A., Tome 1 : Page 198.
- [15] [Bouziani M., 2000, L'eau de la pénurie aux maladies, Editions Ibn-khaldoun, Algérie.
- [16] Bliefert Claus. PERRAUD Robert, 2015, Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets : Pages 271,290, 291.
- [17] Franck Rejsek, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.
- [18] Cardot, 1999, Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses Edition Marketing S.A.
- [19] Cidf- Lyonnaise des Eaux, 2000, CIDF Centre International De Formation. Principes généraux de traitement des eaux.

- [20] Mouchet P, 1991, les modalités de traitement des eaux brutes : quelle qualité d'eau quels procédés, S.T.P, PHARMA PRATIQUE 1.
- [21] Edeline M. F, 1992, Epuration physico-chimique des eaux, 2<sup>ème</sup> édition, Ed. CEBEDOC, France.
- [22] Beaudry J.P., 1984, Traitement des eaux, Edition de Griffon d'argile.
- [23] Mohand-Said O., 2001, Traitement des eaux, Office des publications universitaires.
- [24] Blazy Pierre; Jdid El-Aïd et Bersillon Jean-Luc, Décantation, Aspects théoriques, Doc. J 3 450.
- [25] DESJARDINSR, 1990, Le traitement des eaux, 2<sup>ème</sup> édition revue de l'école polytechnique de Montréal.
- [26] Kemmer F. N, 1984, Manuel de l'eau, Edition technique et documentation, Lavoisier, Paris.
- [27] Traitements des eaux, Techneau. <http://www.techneau.fr/tep/index.html>
- [28] Rahni M. Coagulation-floculation de quelques composés organiques par le fer ferreux en milieux aqueux : Etude de mécanisme et comparaison avec l'adsorption, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 1994.
- [29] Barrer R. M., Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. Academic Press, 1978.
- [30] Mazet M, et al. Adsorption de substances humiques sur floes d'hydroxyde d'aluminium préformés, Wat. Res, 1990, 1509-1518.
- [31] Vigouret J. Le potentiel Zêta et son application dans le domaine de l'eau potable, TSM, 1985, p : 91,95.
- [32] [32] Tardat-Henry M, Beaury J.P. Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada, 1984.
- [33] D.M. Ruthven, 1984, Principles of adsorption and adsorption processes. John Wiley and Sons.
- [34] Bazer-Bachi A, 1990, Modélisation mathématique du taux de coagulant dans une station de traitement d'eau, Revue des sciences de l'eau, p : 3, 4, 377-397.
- [35] Kettab A, 1992, Traitement des eaux "les eaux potable", O.P.U, Alger.
- [36] Tardat-Henry M, Beaury J.P, 1984, Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada.
- [37] Lind C, 1994, Coagulation Control and Optimization: Part 1, Public Works.
- [38] Lind C, 1994, Coagulation Control and Optimization: Part 2, Public Works.
- [39] Cornet J.L, 1981, Détermination des gradients hydrauliques dans les différentes phases du traitement des eaux, technique de l'eau et de l'assainissement.
- [40] Bottero J.Y, Lartiges B, 1992, Séparation liquide-solide par coagulation-floculation : les coagulants/floculant, mécanismes d'agrégation, structure et densité des floes, Mines et carrières Industrie minérales Les Techniques.
- [41] Thebault P, 1978, Elimination des matières organiques et des micropolluants contenus dans les eaux de surface : Rôle et efficacité des coagulants, Thèse de docteur-Ingénieur, I.N.P.L.

- [42] Lefebvre E, 1990, Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux. Effet de la préoxydation, Thèse de Doctorat, université de Poitiers.
- [43] Seghiri R, 1996, Elimination des substances humiques extraites de l'eau de la retenue de Hammam-Ghrouz par coagulation-floculation avec le fer ferrique et les sels d'aluminium, Thèse de Magister, université de Constantine.
- [44] Abdelouhab C., Ait amar H., Obretenov T.Z., Gaid A., (1988). Caractéristiques physico-chimiques et structurales de quelques argiles bentonitiques du nord-ouest algérien, *Analisis*, 16 (5), 292-299.
- [45] Meier.M, Namjesnik.K, Maurice P et Aiken, G.R, 1999, Fractionation of aquatic natural organic matter upon sorption to goethite and kaolinite. *Chemical geology*. 157(3):275-284
- [46] Bouras O, 2003, Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles : Synthèses et caractérisation, Thèse de doctorat, université de Limoges.
- [47] Amirtharajah A. , Kirk M. Mills, 1982, Rapid mix design for mechanisms of alum coagulation, *American Water Works Association*, Vol 74, (4), pp 210-216.
- [48] Stumm et Morgan, 1962, *Chemical Aspects of Coagulation American Water Works Association*, Vol 54, (8) pp 971-994
- [49] Dentel, 1991, *Coagulant Control in Water Treatment*, *Critical Reviews in Environmental Control* p 41-135(1):231.
- [50] John E.Van Benschoten and James K.Edzwald, 1990, Chemical aspects of coagulation using aluminum salts, I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride, *Water Research*, 24 (12), pp 1519-1526.
- [51] Stumm, W. and Morgan, J.J. (1981) *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., New York.,
- [52] Eman Abdelwahab Emam, 2013, Modified activated carbon and bentonite used to adsorb petroleum hydrocarbons emulsified in aqueous solution, *American Journal of Environmental Protection*, 2 (6): 161-169.
- [53] Khansaa Al-Essa, 2018, Activation of Jordanian Bentonite by Hydrochloric Acid and Its Potential for Olive Mill Wastewater Enhanced Treatment, *Journal of Chemistry Article ID 8385692*, pp10
- [54] Rajani Srinivasan, 2011, Advances in Application of Natural Clay and Its Composites in Removal of Biological, Organic, and Inorganic Contaminants from Drinking Water, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 872531, pp. 17.

# **ANNEXES**

## ANNEXES

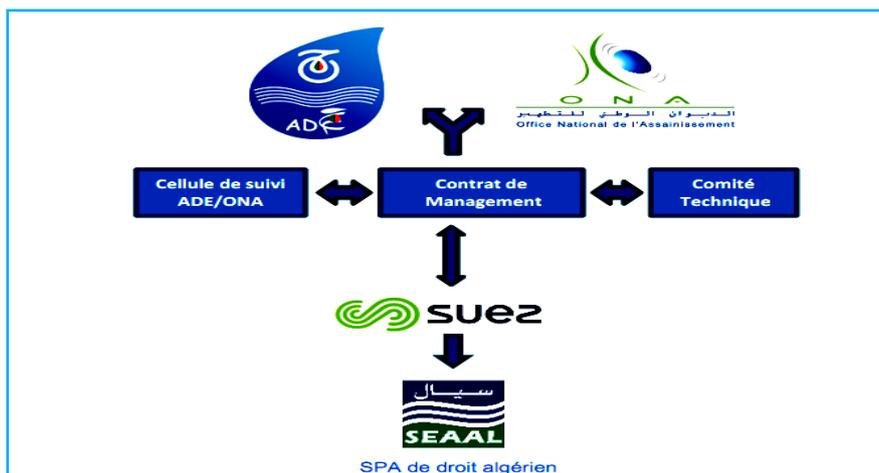
### 1. Présentation du l'organisme d'accueil

Ce présent travail est déroulé au niveau du centre de traitement d'eau potable BOUDOUAOU, SEAAL [Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger]. *SEAAL* a été créée en 2006, comme opérateur pilote de la modernisation du service public de l'eau sur Alger. *SEAAL*, Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger, est un opérateur public de droit Algérien en charge de la gestion des services de l'Eau et de l'Assainissement sur l'ensemble des Wilayas d'Alger et de Tipasa (soit 57 communes à Alger et 28 communes à Tipasa). Filiale de l'Algérienne Des Eaux (ADE) et de l'Office National de l'Assainissement (ONA). Le management de l'entreprise a été confié, pour une durée déterminée à un leader international de la gestion des services de l'Eau et de l'Assainissement, " **SUEZ Environnement** ".

- 4 Directions opérationnelles en charge de la production de l'eau de sa distribution, de la collecte, du transport, de l'épuration des eaux usées et de la gestion de la clientèle ;
- Des Directions supports intervenant en appui, pour améliorer l'efficacité de la gestion et harmoniser la modernisation de la société

#### *Missions et défis de la SEAAL :*

- Sécuriser la distribution d'eau de qualité 24h/24 à Alger et faire progresser le H24 à Tipasa
- Renforcer la prise en charge et le fonctionnement des systèmes d'Assainissement et contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux de baignade du littoral (périmètres Alger et Tipasa) ;
- Remettre à niveau et gérer durablement le patrimoine technique Eau et Assainissement ;
- Mettre en place une gestion clientèle moderne et efficace pour améliorer la satisfaction des clients ;
- Transférer le Savoir -Faire managérial et opérationnel de SUEZ Environnement à SEAAL, par la modernisation du management et l'accès aux bases des connaissances métiers de SUEZ Environnement.



## Profil SEAAL

### 1.1. Présentation du centre de traitement eau potable Boudouaou

Le centre de traitement eau potable BOUDOUAOU est composé des structures suivantes :

- ✚ Une station de traitement des eaux potables ;
- ✚ Une station de pompage SPIK pour alimenter quelques localités de la wilaya de BOUMERDES ;
- ✚ Station de pompage BENI AMRANE des eaux brutes vers le barrage KEDDARA ;
- ✚ Un réseau d'adduction **PK0** (Sortie de la station) à **PK25**

### 1.2. Les principales caractéristiques du centre

#### Implantation

Le centre de traitement se situe à 7 Km du barrage de Keddarra, entre la ville de Boudouaou et d'Ouled Moussa, il occupe une superficie de 17 hectares.

#### Capacité de production

La station de traitement a été dimensionnée pour traiter un débit maximal d'eau du barrage de Keddarra de  $540000 \text{ m}^3/\text{j}$ .

### **Objectif du centre**

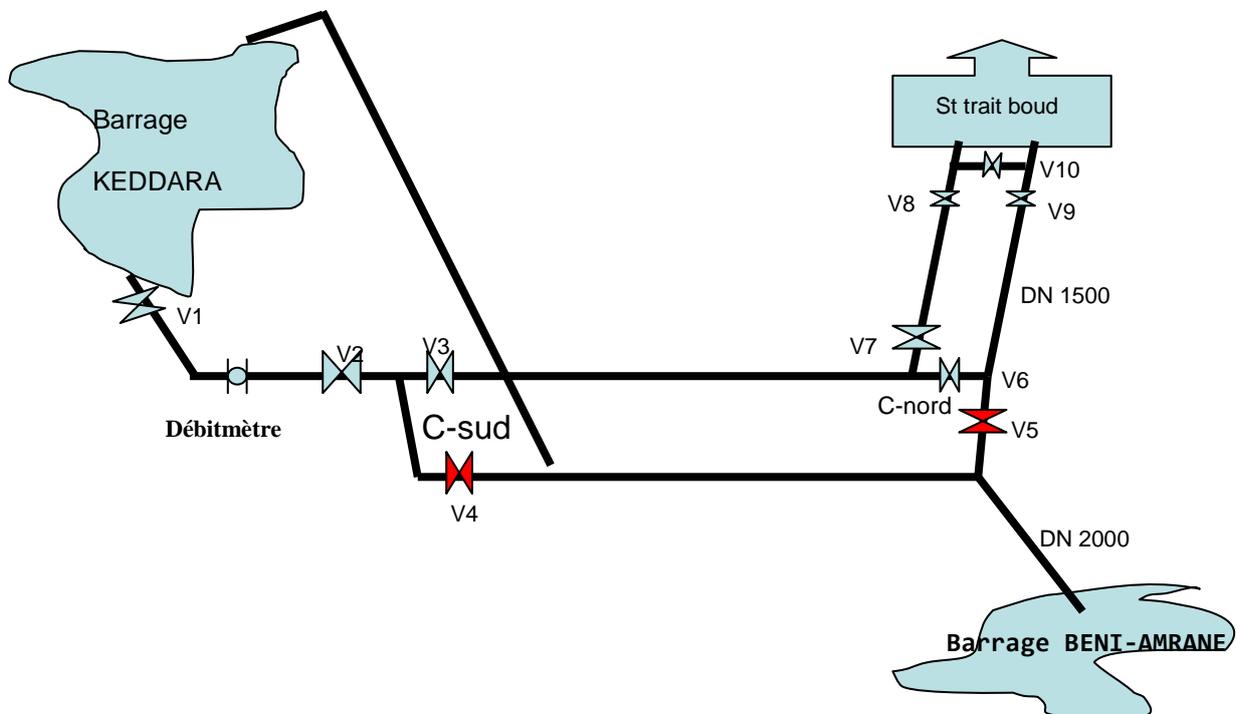
- ✚ Assure et surveiller le traitement de l'eau potable
- ✚ Produire et garantir la fourniture d'eau de qualité et en quantité, à un coût acceptable en toutes circonstances, pour alimenter le grand Alger et BoumerdeS en eau potable répondant aux normes de potabilité Algérienne ;
- ✚ Améliorer la méthode de gestion et rétablir et entretenir les installations de la station en bon fonctionnement.



**Figure II.7 :** Centre de Traitement Eau potable BOUDOUAOU

### **1.3. Procédés et Chaîne élémentaire de production d'eau potable du centre de traitement Boudouaou**

Le centre de traitement de BOUDOUAOU fait partie du système appelé SPIK (Système de production ISSER KEDDARRA), mise en service en 1987, est alimenté à partir du barrage de KEDDARA (capacité 142 millions de  $\text{m}^3$ , profondeur de 106 m, déversoir à 145 m) à partir d'une prise d'eau à 3 niveaux, munie d'un système de dégrillage. Ce barrage est lui-même alimenté à partir de l'Oued KEDDARA, les eaux du barrage de BENI-AMRANE et le trop-plein du barrage HAMIZ, tous les 2 situés plus en amont ; L'usine produit actuellement  $500\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$  pour une capacité théorique de  $540\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$ , soit environ la moitié des besoins globaux en eau potable de la Wilaya d'Alger.



Système de production ISSER KEDDARRA

#### 1.4. Descriptif de la filière de traitement

La station de traitement de Boudouaou constitue l'une de l'alimentation du grand Alger en eau potable à partir des retenues d'eaux de Keddara et Beni amrane sa filière de traitement date de 1987 et consiste en une clarification conventionnelle pour un débit nominal de 540000 m<sup>3</sup>/jour. En deux files identiques de 270 000 m<sup>3</sup>/jour. Elle est implantée sur un terrain de 17 hectares qui accueille outre l'usine et ses dépendances, les réservoirs d'eau traitée de

Boudouaou (2 x 50 000 m<sup>3</sup>) et les réservoirs d'eau traitée en provenance de Taksebt (2 x 25 000 m<sup>3</sup>).



Implantation de la station de traitement

## 2. Description de laboratoire procès du centre de traitement BOUDOUAOU

Le laboratoire de procès au centre de traitement BOUDOUAOU est subdivisé en 2 laboratoires, un réservé à l'étude physico-chimique et l'autre réservé a l'étude bactériologique, L'étude analytique de l'eau est réalisée dans le cadre d'études et de recherches d'ordre physique, chimique et bactériologique, il à noter que le laboratoire est composé également d'une salle de pesage et de deux bureau un pour le chef de service et l'autre pour l'équipe des chimistes.

## 3. Principes généraux de fonctionnement « Décantation lamellaire à lit de boue pulsé-PULSATUBE ».

Le PULSATUBE est un décanteur lamellaire à lit de boue pulsé qui permet de réaliser les opérations de coagulation, floculation et décantation dans un seul et même ouvrage. Sa conception particulière permet de garantir une qualité parfaite de l'eau décantée, grâce à l'installation de modules lamellaires, quelles que soient les variations de qualité et de débit d'eau brute.



Les boues formées par la floculation constituent une masse en expansion. Cette masse est un lit de boue, dont l'homogénéité est maintenue par des cycles pulsatoires, mis en œuvre grâce à une cloche à vide. L'eau préalablement coagulée circule de bas en haut de manière régulière et uniforme au travers de ce lit de boue, et ressort clarifiée à la surface du décanteur. La présence de modules lamellaires dans la zone d'eau claire au-dessus du lit de boue optimise en outre la vitesse de décantation. Le PULSATUBE est simple d'utilisation grâce à la superposition dans un même ouvrage des zones de floculation et de clarification avec un seul moteur par ouvrage. De plus, sa consommation énergétique minimale (~ 5kWh/m<sup>3</sup>), ses pertes en eau réduites et la dose très faible de polymères permettent de préserver l'environnement.

#### **4. Mise en œuvre du traitement dans un décanteur PULSATUBE-BOUDOUAOU**

L'eau brute additionnée du réactif de coagulation-floculation (réactif dont les doses ont été déterminées au laboratoire par l'essai de floculation), arrive d'abord dans la partie haute de la cloche à vide, cette cloche située au-dessus du plan d'eau du décanteur, est équipée d'un ventilateur fonctionnant en pompe à vide et deux vannes papillons de mise à l'atmosphère, commandée par un contacteur à flotteur. Elle permet d'introduire par pulsations, au travers des ramifications inférieures, l'eau brute floculée. Ce courant d'eau pulsée, traversant le lit de boues de bas en haut, le maintient en expansion homogène.

Pendant le temps d'aspiration, les vannes étant fermées, seule une fraction du débit passe dans le décanteur l'autre s'élevant (de 60 à 80 cm suivant le réglage fait à la mise en route, et en 20 à 40 secondes) dans la partie supérieure de la cloche : le lit de boues se tasse, les flocons se resserrent entre eux. Ce temps d'aspiration est réglé par la vanne manuelle en amont du ventilateur de prise d'air située sur la tuyauterie d'aspiration de la pompe à vide.

Pendant le temps de chasse, les vannes sont ouvertes par le contacteur à flotteur, et le débit d'eau brute floculée, est augmenté du débit de vidange de la tranche d'eau aspirée préalablement dans la cloche: le lit de boues s'expansé. Le temps de chasse;( 5 à 15 secondes) est réglé par une vanne manuelle placée en aval de la vanne automatique de mise à l'atmosphère.

L'action du lit de boues homogène sur l'eau brute chargée de flocons en formation a deux effets :

- d'une part, formation complète et rapide du floc par le contacte intime avec les boues déjà formées,
- d'autre part, filtration de ce floc, l'eau décantée étant recueillie à la partie supérieure du décanteur dans les goulottes.

L'apport de nouvelles boues flocculées tend à augmenter le volume du lit boues qui se déverse dans les concentrateurs. C'est à partir de ces concentrateurs que l'on effectue les extractions des boues d'une manière' intermittente.

La mise en place de modules lamellaires dans la partie décantation permet :

- à vitesse ascensionnelle égale, d'améliorer la qualité de l'eau décantée, et permettant le piégeage du floc résiduel qui a s'échapper du lit de boues,
- à qualité d'eau décantée égale, d'augmenter sensiblement le débit d'eau traitée dans l'appareil.

Le Pulsator lamellaire à lit de boue pulsé- Pulsatube, est composé d'une cuve à forme plat en béton comportant essentiellement :

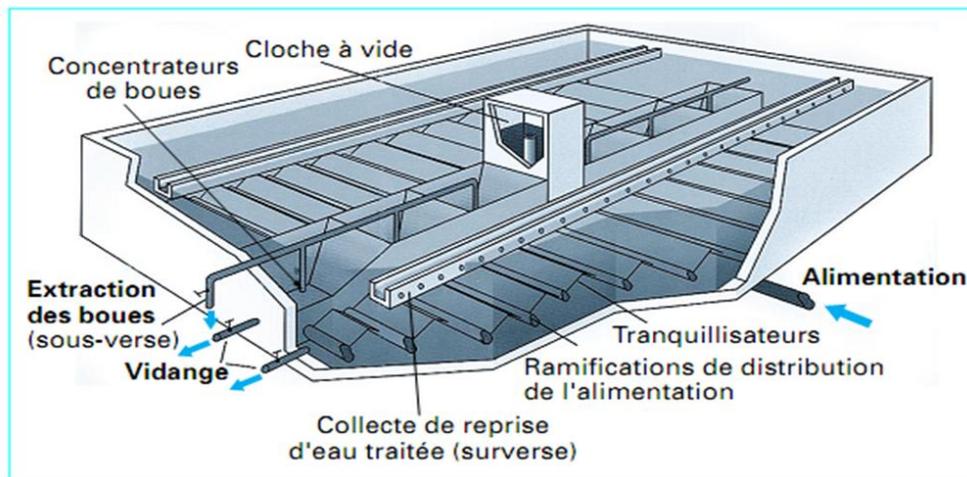


Schéma d'un Décanteur Pulsatube

## ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة تشغيل الهياكل (خزانات الصفق ، المرشحات) وتحسين التخثر - التلبد من أجل تحسين مراحل الصفق والترشيح من أجل الحصول على معدلات الحد من المواد الصلبة العالقة الكبيرة . ولتحقيق ذلك ، أجريت التجارب في اختبارات الجرار عن طريق تغيير جرعة مخثرات كبريتات الألومينا (SA) والبتونيت مع وبدون تحسين ، نوع وجرعة الكواشف التكميلية ، وهذا يعني إضافة خلطات التلبد (البتونيت ، الكربون المنشط ، الجير و متضاعف الكتروليتي) . تم إجراء قياسات أكسدة برمنجنات البوتاسيوم وامتصاص الأشعة فوق البنفسجية عند 254 نانومتر ، التعكر ودرجة الحموضة لتحديد كفاءة العملية في ظل ظروف مختلفة .

**كلمات مفاتيح :** تنقية المياه، التخثر ، التلبد ، الامتزاز ، التحسين

## ABSTRACT :

The aim of this work is to study the operation of the structures (settling tanks, filters) and the optimization of coagulation - flocculation in order to improve the stages of the settling and the filtration to obtain rates of reduction in MS larger. In order to achieve this, the tests were carried out in tests by varying the doses of coagulants Alumina sulphate (SA) and bentonite with and without improvement, the type and the dose of complementary reagents, that is to say the addition of flocculation additives (bentonite, activated carbons, lime and a polyelectrolyte). Measurements of potassium permanganate oxidizability and UV absorbance at 254 nm, turbidity and pH were performed to determine the efficiency of the process under different conditions.

**Key Words:** Potabilisation of water, coagulation, flocculation, adsorption, optimization

## Résumé :

Le but de ce travail consiste à l'étude du fonctionnement des ouvrage (décanteurs, filtres) et l'optimisation de la coagulation – flocculation en vue d'améliorer les étapes de la décantation et de la filtration afin d'obtenir des taux d'abattement en MES plus importants. Pour y parvenir, les essais ont été menés en jar tests en faisant varier les dose des coagulants Sulfate d'Alumine (SA) et bentonite avec et sans amélioration, le type et la dose de réactifs complémentaires, c'est-à-dire l'ajout des adjuvants de flocculation (bentonite, charbons actifs, chaux et un poly-électrolyte). Des mesures de l'oxydabilité au permanganate de potassium et d'absorbance UV à 254 nm, de turbidité et du pH, ainsi ont été effectuées afin de déterminer l'efficacité du procédé dans différentes conditions.

**Mots clés :** potabilisation des eaux, coagulation, flocculation, adsorption, optimisation.