

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA – BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie des procédés

Option : Génie de l'environnement

Thème

Contribution à l'étude comparative de deux coagulants de la graine de *Moringa Oleifera* et le sulfate d'aluminium dans le traitement des eaux de surface du barrage de Tichy-Haf et des eaux usées de la STEP de Souk-El-Tenine-Bejaia.

BELKHIAR Ilham

Soutenu le : **08 juillet 2019**

Devant le jury composé de :

Mr DJIDJELI Hocine

Professeur

Président

Mr BENHAMICHE Nadir

MCA

Encadreur

Mr MADANI Khodir

Professeur

Examineur

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, la volonté d'entamer et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de

Mr BENHAMICHE.N,

Je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant ma préparation de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également au monsieur président Mr DJIDJELI H. et Mr MADANI.K pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner notre travail.

Enfin je tiens à remercier tous les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le

Respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce travail :

A Mes chers parents :

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A Mon Encadreur Mr N. BENHAMICHE

Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond respect.

Je vous remercie pour votre accueil et vos conseils.

A mes très chers frères et sœurs :

AHCEN, SOFIANE, LYNDA et RYMA

A mes sœurs de cœur RACHIDA, NAIMA

Pour leurs soutient moral qui m'a permis de réussir mes études. Ce travail soit témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle.

A Mm BELKACEMI et Mm BRADAI :

Qui n'ont cessé pas de m'encourager et me conseillée.

Cette humble dédicace ne saurait exprimer mon grand respect et ma profonde estime.

À mes cousins et cousines :

OUACILA, RAHIMA, AMINA, FAYCEL, ET NADIR

Et à mes fidèle amis et mes collègues :

LJIDA, NIDAL, FATEH, BADRO et MOUMEN

Et spécialement à HICHAM

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

Cette humble dédicace ne saurait exprimer mon grand respect et ma profonde estime, que dieu vous procure bonne santé et long vie

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

ILHAM

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : Cycle de l'eau.....	6
Figure 2 : Disponibilité en eau douce et stress hydrique.....	7
Figure 3 : Schéma réactionnel de la minéralisation de l'azote.....	24
Figure 4 : Schéma illustrant le procédé de coagulation-floculation.....	29
Figure 5 : Potentiel électrique de particules colloïdales.....	32
Figure 6 : Mécanismes et produits dérivés du sulfate d'aluminium lors de la coagulation.....	36
Figure 7 : Distribution de <i>Moringa oleifera</i> dans le monde.....	44
Figure 8 : Différentes parties de <i>Moringa oleifera</i> : (i) l'arbre de plein champ. (ii) ensemble de feuillage, (iii) Fleurs et (iv) fruits.....	46
Figure 9 : Graines (A), amandes (B) et racines(C) de <i>M. Oleifera</i>	47
Figure 10 : localisation de la région d'étude, du barrage de TychiHaf et de la station de traitement des eaux.....	54
Figure 11 : photo Barrage de Tichy-Haf.....	55
Figure 12 : Photographie de l'intérieur de la station.....	56
Figure 13 : Schéma de Technologie de traitement des eaux au niveau de barrage de Tichy-Haf.....	56
Figure 14 : Localisation des deux points de prélèvement d'eau au niveau de la station (A et B).....	57
Figure 15 : Schéma des analyses physico-chimiques effectuées au laboratoire de la station de traitement de Tichy-Haf.....	59
Figure 16 : Photos des étapes de la dilution de la poudre de <i>Moringa Oleifera</i> dans l'eau....	60
Figure 17 : photo d'un dispositif Jar-Test.....	61
Figure 18 : Photo d'un pH-mètre type HANA.....	62

Liste des figures

Figure 19 : Photo de multi-paramètre model Consort C6030 de laboratoire.....	63
Figure 20 : Photo de turbidimètre de type HANAHI 88713.....	64
Figure 21 : Photo spectrophotomètre UV-Visible.....	69
Figure 22 : Maquette de la STEP de Souk-El-Tenine.....	71
Figure 23 : Schéma de fonctionnement de la STEP de Souk-El-Tenine.....	72
Figure 24 : Schéma de méthode et Analyses effectuées au laboratoire de la STEP.....	75
Figure 25 : Schéma de méthode et Analyses effectuées aux laboratoires de l'université.....	76
Figure 26 : DBO mètre de type OxiTop® IS12.....	78
Figure 27 : photo d'un distillateur (A) et un titroLine (B).....	80

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I	Classification des eaux selon la conductivité	11
Tableau II	Classes de turbidités usuelles (NTU, néphélocimétrie turbidité unit)	11
Tableau III	Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO_3	16
Tableau IV	Normes des eaux de surfaces (l'eau brute) (OMS, RF)	17
Tableau V	Dérivés des sels d'aluminium et sels de fer	34
Tableau VI	Systématique de <i>Moringa oleifera</i>	45
Tableau VII	Principales exigences écologiques de <i>Moringa oleifera</i>	45
Tableau VIII	Comparaison du contenu nutritionnel des feuilles de <i>Moringa</i> avec d'autres aliments (100g)	47
Tableau IX	Composition biochimique de la graine de <i>Moringa oleifera</i>	48
Tableau X	Normes de rejets de la STEP	72
Tableau XI	Résultats des paramètres physicochimiques des eaux traitées avec les sulfates d'aluminium et le <i>M. Oleifera</i>	81
Tableau XII	Résultats des éléments trace métalliques pour les eaux traitées avec le <i>M. Oleifera</i>	81
Tableau XIII	Résultats chimiques des cations des eaux traitées avec les sulfates et le <i>M. Oleifera</i>	82
Tableau XIV	Résultats chimiques des anions des eaux traitées avec les sulfates d'aluminium et le <i>M. Oleifera</i>	82
Tableau XV	Résultats des paramètres physicochimiques des eaux traitées à l'entrée de la STEP et avec le <i>M. Oleifera</i>	90
Tableau XVI	Résultats des paramètres physicochimiques des eaux traitées à la sortie de la STEP et avec le <i>M. Oleifera</i>	91

Liste des abréviations

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius
°F : Degré français
Abs : Absorbance
Ca (OH)₂ : Chaux
Cl⁻ : Chlorure
cm : Centimètre
EDTA-Na₂ : Ethylène diamine tétra acétique disodique
Fe Cl₃ : Chlorure ferrique
H₂ : Gaz d'hydrogène
KMnO₄ : Permanganate de Potassium
Na₂CO₃ : Carbonate de sodium
NaOH : Hydroxyde de sodium
mg/l : Milligramme par litre
min : Minute
ml : Millilitre
nm : Nanomètre
NTU : Néphélométric Turbidity Unity
μS/cm : Microsiemens par centimètre
Eq/H : Equation par Habitants
MO : Matière organique
NET : Noir erriochrome
OMS : Organisation mondiale de la santé
PET : Polyéthylène téréphtalate
pH : Potentiel d'Hydrogène
T° : Température
RS : Résidus Secs
MVS : Matière volatiles en suspension.
MES : Matière en suspension
CE : Conductivité Electrique
TA : Titre alcalimétrique

Liste des abréviations

TAC : Titre alcalimétrique complet.

TDS : Total dissolved solids

TH : Titre hydrométrique

TH_{ca} : Titre hydrométrique calcique

TH_{Mg} : Titre hydrométrique magnésien

DBO5 : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

CV : Coefficient de Variation

UV-visible : Ultra-violet visible

SAA : Spectrophotométrie d'adsorption atomique

I : Particule colloïdale

II : Couche adhérente de Stern

III : Couche diffuse de Gouy-Chapman

pZ : Potentiel zéta.

Φ : Potentiel total à l'interface

Φ_o : Potentiel différentiel dans la couche adsorbée

STEP : Station d'épuration.

CF : Coagulation-floculation

EU : Eau Usée

M.O : *Moringa oleifera*

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste abréviation

Table des matières

Synthèse bibliographique

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la pollution des eaux et les méthodes de traitements	
Introduction.....	4
I.1.Sources et origines des eaux.....	4
I.1.1. Eau de pluie.....	4
I.1.2. Eau de mer.....	4
I.1.3. Eau souterraines.....	4
I.1.4. Eau de surface.....	5
I.2. Cycle de l'eau.....	5
I.3. Disponibilité de l'eau en Algérie.....	6
I.4. Pollution de l'eau.....	7
I.4.1.Définition d'une eau usée (EU).....	7
I.4.2.Origines et compositions des EU.....	7
I.4.2.1. Eaux usées domestiques.....	7
I.4.2.2.Eaux usées industriels.....	8
I.4.2.3. Eaux usées pluviales.....	8
I.4.2.4. Eaux usées agricoles.....	8
I.4.3. Type de pollution des eaux.....	8
I.4.3.1. Pollution physique.....	8
I.4.3.2. Pollution chimique.....	8
I.4.3.2.1. Pollution organique.....	9
I.4.3.2.2. Pollution minérale.....	9
I.4.3.3. Pollution microbiologique.....	9
I.4.4. Paramètres de mesure de la pollution de l'eau.....	9
I.4.4.1. Paramètres organoleptiques.....	9
I.4.4.2. Paramètres physico-chimiques.....	10

I.4.4.3. Paramètres microbiologiques.....	14
I.4.4.4. Autres éléments.....	14
I.4.4.5. Paramètres de qualités.....	16
I.5. Normes fixées par OMS.....	17
I.6. Épuration des eaux usées en Algérie.....	18
I.7. Traitement des eaux usées.....	18
I.7.1. Objectifs du traitement des eaux usées.....	18
I.7.2. Étapes du traitement des eaux usées.....	18
I.7.2.1. Pré-traitement.....	18
I.7.2.2. Traitement primaire.....	20
I.7.2.2.1. Clarification.....	20
I.7.2.3. Traitement secondaire.....	22
I.7.2.4. Traitement tertiaire.....	23
I.7.2.5. Traitement des boues.....	25
I.8. Modes de réutilisation d'eaux usées.....	26
Conclusion.....	26

Chapitre II : Processus de coagulation-floculation en traitement des eaux

Introduction.....	28
II.1. Coagulation-floculation (CF).....	28
II.2. But de la coagulation-floculation.....	29
II.3. Particules mises en jeu.....	30
II.3.1. Matières en suspension.....	30
II.3.2. Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres).....	30
II.3.3. Particules colloïdales.....	30
II.3.3.1. Classification des suspensions colloïdales.....	30
II.3.3.2. Modes de déstabilisation des particules colloïdales.....	31
II.4. Théorie de la double couche.....	31
II.4.1. Théorie de Helmholtz.....	31
II.4.2. Théorie de Gouy-Chapman.....	31
II.4.3. Théorie de Stern.....	32
II.5. Jar-Test.....	32
II.6. Phénomène de coagulation.....	33

II.6.1. Principe de phénomène.....	33
II.6.2. Coagulant.....	33
II.6.3. Choix du coagulant.....	34
II.6.4. Coagulants utilisés.....	34
II.6.4.1. Coagulants de type sels métalliques.....	34
II.6.4.1.1. Alun – $Al_2(SO_4)_3 \times 14H_2O$	35
II.6.4.1.2. Coagulant naturel.....	36
II.6.4.1.2.1. Moringa Oleifera.....	36
II.6.5. Facteurs influençant la coagulation.....	38
II.6.5.1. pH.....	38
II.6.5.2. Température.....	38
II.6.5.3. Turbidité.....	38
II.6.5.4. Type et la concentration du coagulant.....	38
II.6.5.5. Sels dissous.....	39
II.6.5.6. Temps de mélange.....	39
II.6.5.7. Grosseurs et concentration des particules colloïdales.....	39
II.6.5.8. Valence des colloïdes.....	39
II.6.5.9. Etat d'hydratation.....	39
II.6.5.10. Electrifications des particules.....	40
II.7. Phénomène de floculation.....	40
II.7.1. Principe de phénomène.....	40
II.7.1.1. Floculation péricinétique.....	40
II.7.1.2. Floculation orthocinétique.....	40
II.7.2. Flocculant.....	41
II.7.3. Flocculant utilisé.....	41
II.7.3.1. Flocculant minéraux.....	41
II.7.3.2. Flocculants organiques.....	41
II.7.3.3. Flocculants de synthèse.....	42
II.8. Avantages et inconvénients.....	42
II.8.1. Avantages.....	42
II.8.2. Inconvénients.....	43
II.9. Domaines d'application de CF.....	43

Conclusion.....	43
-----------------	----

Chapitre III : Généralités sur Moringa oleifera

Introduction.....	44
III.1. Origine et répartition géographique.....	44
III.2. Systématique et nomenclature.....	44
III.3.Exigences environnementales.....	45
III.4. Morphologie et caractéristiques physiologiques.....	45
III.4.1. Feuilles.....	46
III.4.2. Fleurs.....	46
III.4.3. Fruits.....	46
III.4.4. Graines.....	46
III.4.5. Racine.....	47
III.5. Composition nutritionnelle de Moringa oleifera.....	47
III.5.1. Comparaison nutritionnelles de Moringa oleifera avec quelques aliments.....	47
III.5.2. Composition physicochimique de la graine de Moringa oleifera.....	48
III.5.3. Composition chimique des feuilles de Moringa Oleifera.....	48
III.5.4. Composition chimique de l'huile de graines de Moringa oleifera.....	48
III.6.Utilisations.....	48
III.6.1. Utilisation alimentaires.....	48
III.6.1.1. Alimentation humaine.....	48
III.6.1.2. Alimentation animale.....	49
III.6.2. Domaine médicinal et pharmacologique.....	49
III.6.2.1. Activité antibactérienne.....	50
III.6.3.2. Activité antioxydante.....	50
III.6.3. Purification de l'eau.....	50
III.6.3.1. Avantages, inconvénients et perspectives.....	50
III.6.4. Accélérateurs de croissance végétale.....	52
III.6.5. Utilisations industrielles.....	52
III.6.6.Autres utilisations.....	52
Conclusion.....	52

Partie pratique

Chapitre IV : Materilel et methodes

IV.1. Présentation du sujet.....	53
IV.2. Présentation de la région d'étude.....	54
IV.2.1. Délimitation du bassin versant de l'oued Boussella.....	54
IV.2.2. Présentation du barrage Tichy-Haf.....	55
IV.3. Présentation de la station de potabilisation des eaux de Tichy-Haf.....	56
IV.4. Echantillonnage.....	57
IV.4.1. Méthodologie.....	57
IV.4.2. Techniques de prélèvement.....	57
IV.4.3. Flaconnage.....	58
IV.4.4. Points de prélèvement.....	58
IV.5. Analyses physico-chimiques des eaux de surface au laboratoire de la station de traitement de Tichy-Haf.....	59
IV.6. Méthodes d'analyse effectuées au laboratoire de la station de traitement de Tichy-Haf.....	59
IV.6.1. Analyses effectuées aux laboratoires de l'université.....	59
IV.6.1.1. Extraction de la poudre de Moringa Oleifera.....	60
IV.6.2. Dispositifs expérimentaux (Jar-Test).....	61
IV.7. Méthodes d'analyse.....	61
IV.7.1. Potentiel d'hydrogène (pH) et de la température.....	62
IV.7.2. Température.....	62
IV.7.3. Conductivité électrique.....	63
IV.7.4. TDS.....	63
IV.7.5. Salinité.....	63
IV.7.6. Turbidité.....	63
IV.7.7. Résidu sec.....	64
IV.7.8. Dosage volumétrique.....	65
IV.7.8.1. Dureté totale (TH).....	65
IV.7.8.2. Dureté calcique ($TH_{Ca^{2+}}$).....	66
IV.7.8.3. Dureté magnésienne (TH_{Mg}).....	66
IV.7.8.4. Titre alcalimétrique (TA).....	66
IV.7.8.5. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	67

IV.7.8.6. Dosage des chlorures (Cl ⁻) par la méthode de « MOHR ».....	67
IV.7.9. Détermination des nitrates (NO ₃ ⁻).....	68
IV.7.10. Détermination des sulfates.....	68
IV.7.11. Analyse spectrophotométrique UV- Visible.....	69
IV.7.12. Méthode de la courbe d'étalonnage.....	69
IV.7.13. Analyse par spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA).....	70
VI.8. Présentation de la zone d'étude.....	70
VI.9. Description de la STEP de Souk-El-Tenine.....	70
VI.9.1. Présentation de la STEP.....	70
VI.9.2. Historique de la STEP de Souk-El-Tenine.....	71
VI.9.3. Situation géographique de la STEP.....	71
VI.9.4. Caractéristiques de base de la STEP.....	71
VI.9.5. Caractéristiques des eaux usées épurées de la STEP.....	72
VI.9.6. Processus d'épuration des eaux usées de la STEP.....	72
VI.10. Echantillonnage.....	73
VI.10.1. Prélèvement des échantillons.....	74
VI.10.2. Lieu du prélèvement.....	74
VI.11. Analyses effectuées au laboratoire de la STEP de Souk-El-Tenine.....	74
VI.12. Méthodes d'analyse.....	75
VI.13. Analyses effectuées aux laboratoires de l'université.....	75
VI.13.1. Méthodes d'analyse.....	75
VI.13.2. Analyses physico-chimiques.....	76
VI.13.2.1. Détermination des matières en suspension (MES).....	76
IV.13.2.2. Oxygène dissous (O ₂ dissous).....	77
IV.13.2.3. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	78
IV.13.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO).....	78
IV.13.2.5. Dosage des phosphates (PO ₄ ³⁻).....	79
IV.13.2.6. Dosage de l'azote totale Kjeldahl par acidimétrie après distillation.....	80

Chapitre V : Resultas et discussions

V.1. Présentation des résultats.....	81
V.2. Discussions des analyses physico-chimiques des eaux de la station de traitement des eaux du barrage Tichy-Haf.....	83
V.2.1. Paramètres physicochimiques.....	83

V.2.1.1. Potentiel hydrogène (pH).....	83
V.2.1.2. Température.....	83
V.2.1.3. Conductivité.....	83
V.2.1.4. Turbidité.....	84
V.2.1.5. Salinité.....	84
V.2.1.6. Taux des sels dissous (TDS).....	85
V.2.1.7. Résidu sec (RS).....	85
V.2.1.8. Dureté totale (TH).....	85
V.2.1.9. Titre alcalimétrique (TA).....	85
V.2.1.10. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	86
V.2.2. Discussions des résultats physicochimiques des éléments traces métalliques.....	86
V.2.2.1. Zinc (Zn).....	86
V.2.2.2. Cadmium (Cd).....	86
V.2.2.3. Plomb (Pb).....	87
V.2.3. Discussions des résultats physicochimiques des éléments cationiques.....	87
V.2.3.1. Dureté calcique.....	87
V.2.3.2. Dureté magnésique.....	87
V.2.4. Discussions des résultats physicochimiques des éléments anioniques.....	88
V.2.4.1. Chlorures (Cl ⁻).....	88
V.2.4.2. Concentration en hydrogénocarbonate (HCO ₃ ⁻).....	88
V.2.4.3. Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	88
V.2.4.4. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	89
V.3. Présentation des résultats.....	90
V.4. Résultats et discussions des analyses des échantillons de la STEP de Souk-El-Tenine.....	92
V.4.1. Potentiel hydrogène (pH).....	92
V.4.2. Température.....	92
V.4.3. Conductivité électrique (CE).....	93
V.4.4. Salinité.....	93
V.4.5. Taux des sels dissous (TDS).....	93
V.4.6. Oxygène dissous (O ₂ ^{dissous}).....	94
V.4.7. Turbidité.....	94

V.4.8. Azote totale kjeldal (NTK).....	95
V.4.9. Phosphates (PO_4^{3-}).....	95
V.4.10. Nitrates (NO_3^{2-}).....	96
V.4.11. Demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5).....	97
V.4.12. Demande chimique on oxygène (DCO).....	97
V.4.13. Matières en suspensions (MES).....	98
V.4.14. Coefficient de biodégradabilité (K).....	98
V.4.15. Matières organiques (MO).....	99
Conclusion générale	100

Références bibliographiques

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale indispensable à toute forme de vie. L'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines. C'est un facteur de production déterminant dans le développement durable. Elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques. Il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité (**Reggam et al., 2015**).

A la fin du siècle dernier, le nombre de personnes qui n'avaient pas accès à l'eau potable était estimé à 1,1 milliards soit 1/6 de la population mondiale (**Lakhdari, 2011**).

Les besoins en eau potable augmentent régulièrement avec l'accroissement démographique et l'industrialisation dans de nombreux pays émergents. Souvent réputée être liée au tiers monde, la problématique de l'eau potable s'est généralisée au point que les pays développés comme les États-Unis et l'Australie commencent à ne plus négliger la préservation de cette ressource naturelle (**Khemsî, 2005**).

Selon les prévisions de croissance démographique de l'OCDE, on estime qu'en 2025, ils se partageront 70% des ressources accessibles et pourraient même utiliser plus de 90% de toutes les ressources en eau douce disponibles d'ici 2030.

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle ne sera que de 430 m³ en 2020. La disponibilité en eau potable en Algérie en m³/Habitant/An dépassera légèrement le seuil des 400 m³/ha (norme OMS) (**Hassani et al., 2009**).

De ce fait l'Algérie a enrichi sa politique nationale de l'eau en l'adaptant à toutes les mutations nées aussi bien des changements climatiques, de l'évolution, des enjeux et des besoins sociaux-économiques ainsi que d'une perception du coût réel de l'eau et des conséquences économiques (**Bouchedja, 2012**).

Les ressources en eau se raréfient et leurs traitements deviennent de plus en plus difficiles et coûteux. Les maladies, l'insalubrité et bien d'autres maux freinent la marche rigoureuse vers le développement (**Boursalil, 2011**).

Introduction générale

Les réserves souterraines, nappes ou gisements n'existent pas partout où elles sont surexploitées ou même pollués. Les besoins actuels ne sont donc assurés que par le recours à autres ressources en eaux, les eaux superficielles, les eaux de mer et les eaux saumâtres qui sont plus ou moins polluées et salées (**Lakhdari, 2011**).

L'eau de consommation ne doit contenir ni de germes pathogènes ni de substances toxique susceptibles de provoquer de graves contaminations chez le consommateur. Et afin d'utiliser les différents catégories d'eaux et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement (**Cherif, 2012**).

Les procédés mécaniques et physiques comme le dégrillage, le dessablage et les traitement biologiques par boue activées ont permis d'éliminer une grande partie des matières contenues dans l'eau. Mais après ces opérations l'eau contient toujours une quantité des substances composées de matières en suspension, des colloïdes et de des particules très fines difficilement décantables.

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes et peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres (**Lakhdari, 2011**).

Pour éliminer ces particules nous avons recours aux procédés de coagulation-floculation et décantation (**Bensadokk, 2009**).

Le coagulant le plus couramment utilisé est le sulfate d'alumine ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (**Diop et Loseille, 2015**). Outre ces substances chimiques, des études ont montré l'efficacité de certaines substances organiques en tant que coagulant. Ainsi, l'efficacité des graines de *Moringa Oleifera* dans la clarification des eaux et l'élimination des microorganismes pathogènes (**Jahn, 1988 ; Faby et Eleli, 1993 ; Kabore, 2011**).

L'objectif général de notre travail est de voir l'efficacité de la coagulation-floculation pour l'élimination des matières en suspension d'une eau de surface à la fois avec le sulfate d'aluminium et le *M. Oleifera* et faire une étude comparative sur l'influence des concentrations de ces deux composantes, et du temps de décantation pour un traitement optimum en fonction de différentes caractéristiques physico-chimiques. L'étude vise aussi à évaluer l'effet du traitement sur certains paramètres physico-chimiques d'intérêt sanitaire, notamment les nitrates et nitrites ainsi que sur la qualité organoleptique de cette eau. Nous allons d'abord trouver la concentration optimale du coagulant et du floculant utilisé à l'aide de Jar-Test puis appliqué les résultats obtenus sur un échantillon d'eau prélevée du barrage de Tichy Haft, Bejaia, Algérie.

Introduction générale

Ce mémoire est structuré en deux parties, la première présente une synthèse bibliographique et est scindée en trois chapitres : Le premier englobe des généralités sur les eaux résiduaires, et les différents procédés de traitements. Dans le deuxième chapitre, nous présentons le processus de coagulation-floculation en traitement des eaux. Ainsi de présenter son principe, les facteurs influençant ce procédé, ces avantages et ces inconvénients tandis que le dernier expose une étude bibliographique des propriétés de la plante *Moringa oleifera*.

La deuxième partie du travail est réservée à l'étude expérimentale qui englobe : Dans le premier chapitre, l'identification de la zone d'étude et la description de la station de traitement choisie, le matériel et méthodes d'analyses adoptées et la mise en place du protocole expérimental. Ainsi les résultats obtenus et leurs interprétations ont été présenté dans le second chapitre.

Une conclusion générale est donnée à la fin de ce manuscrit, et fait ressortir l'essentiel des aboutissements de cette étude.

Chapitre I :
Généralités sur la pollution
des eaux et les méthodes de
traitements

Introduction

Lorsque l'homme utilise l'eau il ne fait pas que la consommer, mais il en rejette une partie dans l'environnement. C'est ce que l'on appelle l'eau usée. Cette eau usée peut contenir différents polluants. Au XIX^{ème} siècle les premiers systèmes de traitement de ces eaux ont vu le jour. Les premiers objectifs étaient alors sanitaires, hygiéniques et l'amélioration du confort. La prise de conscience écologiste des années 70-80 a permis de prendre en compte l'impact environnemental des eaux usées (**Moulin *et al.*, 2013**).

I.1. Sources et origines des eaux

I.1.1. Eau de pluie

Les eaux de pluie sont saturées en oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium, elles sont donc très douces. Elles sont de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques dans les régions industrialisées (**Desjardins, 1997**).

I.1.2. Eau de mer

La mer est considérée comme un réservoir d'eau. Celle-ci est très fortement minéralisée, caractérisée par une grande salinité. Elle contient près de 3,5% de sels, dont le plus important est le chlorure de sodium (**De Franceschi, 1996**).

Les eaux de mer sont considérées comme une source d'eau brute en cas d'absence des eaux conventionnelles (**Bachi et Abdelli, 2005**).

I.1.3. Eau souterraines

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre et aussi sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, et qui transitent plus ou moins rapidement (**Bordet, 2007**), dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles sont souvent contenues dans des couches aquifères. Ces aquifères souterrains sont la réserve majeure (97%) de l'eau douce exploitable sur les terres émergées (**Schoeller, 1975**).

Ces eaux présentent généralement une bonne qualité bactériologique, une température et une composition chimique constante (**Villagine, 2003**).

I.1.4. Eau de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement, généralement polluées bactériologiquement (**Kettab, 1992**). On peut repartir les eaux de surface en trois catégories :

- Les eaux de rivière partie amont ;
- Les eaux de rivière partie aval ;
- Les eaux de lac comme réserves naturelles ou artificielles (retenues, barrages) (**Kettab,1992 ; Desjardin, 1997**).

Elles contiennent des impuretés qui ont pour origine (**Potelon et Zysman, 1998**) :

- La dissolution des encaissantes (roches, terrains traversés), ces encaissants sont responsables du pH et de la conductivité.
- Les colloïdes minéraux (argiles) qui sont responsables de la turbidité.
- Des matières organiques.

I.2. Cycle de l'eau

La quantité d'eau formée avec l'univers n'a pas changé. Par contre, elle s'est considérablement dégradée à cause de la pollution. Cette eau qui se trouve sous forme liquide, solide ou vapeur est en mouvement perpétuel la **figure 1** représente le cycle de l'eau (**Adjim, 2004**). Entre les cinq grands réservoirs d'eau de l'hydrosphère que sont les mers et océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère, la biosphère et les glaciers, l'échange d'eau est permanent et forme ce qu'on appelle le cycle externe de l'eau. Le moteur de ce cycle est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement. Ce cycle se divise en deux parties intimement liées (www.cap-sciences.net, consulté le 12/05/2019).

- Une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement.
- Une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain.

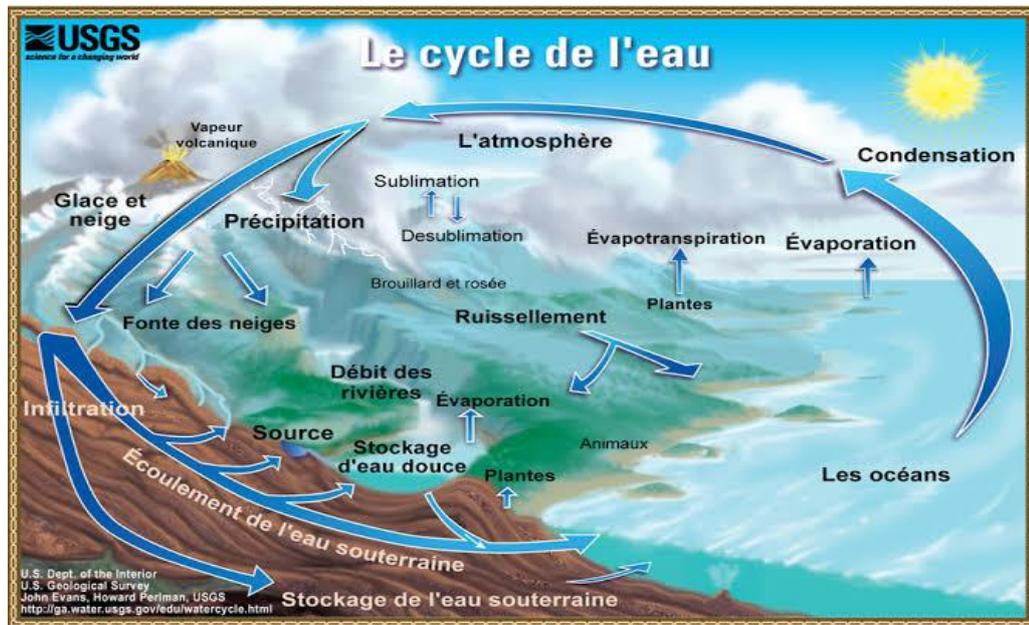


Figure 1 : cycle de l'eau (Anonyme 1).

I.3. Disponibilité de l'eau en Algérie

L'eau en Algérie, comme dans la plupart des pays du Sud de la Méditerranée, est un facteur limitant du développement et source de tensions sociales. Sa rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec les changements climatiques. Son stockage devient par conséquent vital tant pour l'agriculture que pour l'approvisionnement en eau potable.

En terme de besoins, l'Algérie aura, en 2020, une consommation en eau potable et industrielle de l'ordre de 5 milliards de m³/an. Face à ce défi d'assurer la couverture des besoins sans cesse croissants en eau, la banque mondiale a classé l'Algérie parmi les pays pauvres en eau avec moins de 600 m³ par habitant et par an, alors que le seuil de rareté fixé par la Banque à 1 000 m³ par habitant et par an (Abdelkrim, 2012).

Il est clair que la disponibilité de cette ressource vitale est menacée. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025 (Touati, 2010). La figure 2 représente la disponibilité en eau douce et stress hydrique.

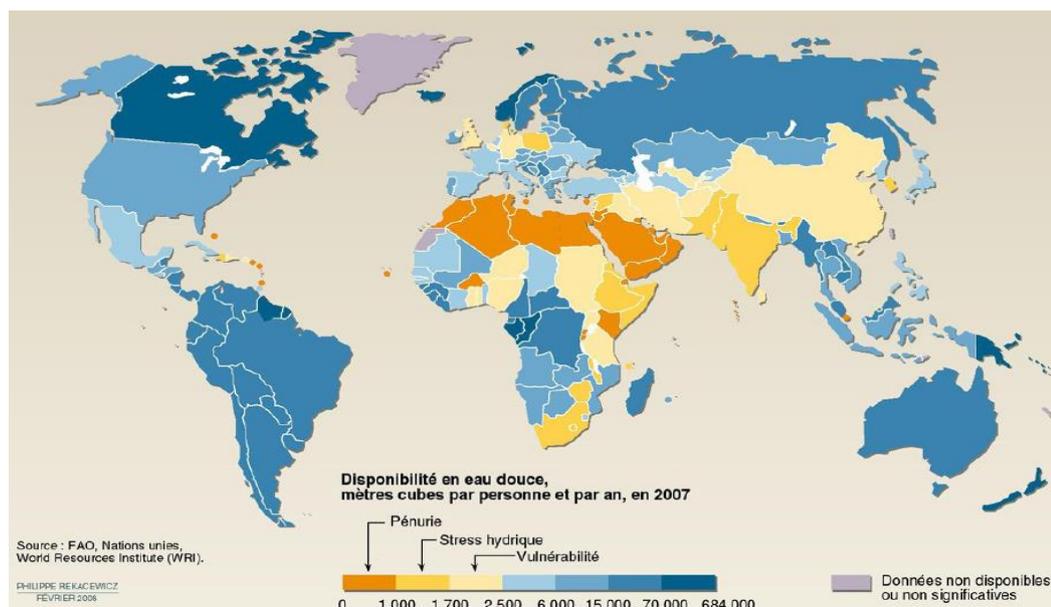


Figure 2 : Disponibilité en eau douce et stress hydrique (Margat et Andréassian, 2008).

I.4. Pollution de l'eau

I.4.1. Définition d'une eau usée (EU)

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent, est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme «Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines»(Anonyme 2, 2004).

I.4.2. Origines et compositions des EU

Les charges polluantes contenues dans les eaux résiduaires ont des origines diverses. Lerejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux etplus généralement tout le milieu naturel. Ces substances polluantes peuvent avoir différentes origines (Gomella et Guerrée, 1986).

I.4.2.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers (Baumont *et al.*, 2005). Elles comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales). Ces eaux contiennent des matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que

les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.) (**Baumont *et al.*, 2004**).

I.4.2.2. Eaux usées industriels

Elles sont représentées par les rejets des exploitations industrielles et semi-industrielles (station de lavage et graissage, station d'essences etc ...), qui sont caractérisés par une grande diversité de la composition chimique, présentant ainsi un risque potentiel de pollution (**Khadraoui et Talab, 2008**). Ces eaux contiennent également des matières dissoutes, des solides en suspension et des graisses (**Michel, 2003**).

I.4.2.3. Eaux usées pluviales

Ces eaux proviennent des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation (**Richard, 1996**). Elles englobent les impuretés de l'air et ruisselle sur des surfaces terrestres contenant des résidus d'hydrocarbures, de métaux lourds, d'huiles...etc. (**Elalaoui et Taoussi, 2013**).

I.4.2.4. Eaux usées agricoles

Il s'agit de rejets liquides et agricoles issus du ruissellement d'eaux d'irrigation qui entraîne des engrais et des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important (**Richard, 1996**).

I.4.3. Type de pollution des eaux

Dans le domaine de l'eau, nous distinguons trois types de pollution à savoir :

I.4.3.1. Pollution physique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau) (**Bouziani, 2000**). La pollution physique désigne l'autre type de pollution, telle que la pollution thermique due aux températures élevées qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz (**Boudjeal et Djoudi, 2003**) et la pollution radioactive (**Bouziani, 2000**).

I.4.3.2. Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories.

I.4.3.2.1. Pollution organique

Ce sont les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (Biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...), et par les effluents domestiques (déjections humaines, graisses, ...etc.). La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques ce sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures (**Encyclopédie, 1995**).

I.4.3.2.2. Pollution minérale

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Les polluants minéraux sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs (**Mayet, 1994**).

Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse (**Boudeal et Djouid, 2003**).

I.4.3.3. Pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (**Baumont et al., 2004**). Elle est notamment la conséquence de mauvais raccordements d'habitations aux réseaux d'assainissement, de débordements des réseaux d'eaux usées, de rejets des stations d'épurations, d'eaux résiduaire et du ruissellement sur les sols lors des pluies importantes (**Elskens, 2010**).

I.4.4. Paramètres de mesure de la pollution de l'eau

I.4.4.1. Paramètres organoleptiques

I.4.4.1.1. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (**Degrement, 2005**). Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. Elle est généralement due à la présence de certaines impuretés minérales (fer, manganèse) mais également à certaines matières organiques comme les substances humiques provenant de la décomposition de la matière

végétale, et en particulier des algues pouvant aussi donner une coloration variable selon leur pigmentation (Rodier, 2005).

I.4.4.1.2. Goûts et odeurs

Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre (SO₂) ou le sulfure d'hydrogène (H₂S) ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution (Monique Henry, 1991).

A l'état naturel, une concentration de minéral donne un goût plus ou moins accentué à l'eau.

- S'il y a absence des sels habituels et d'anhydride carbonique, la saveur de l'eau est fade (Tardat et Beaudr, 1993).
- Si elle renferme une grande quantité de chlorures et de sodium, l'eau aura une saveur saumâtre.
- Si elle contient de fortes quantités de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer (Kettab, 1992).

I.4.4.2. Paramètres physico-chimiques

I.4.4.2.1. Potentiel Hydrogène pH

Le pH, mesurant l'acidité d'une solution, est défini par l'expression $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ où (H⁺) est l'activité de l'ion hydrogène H⁺ dans la solution (Ramade, 1998). Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité et la température. Habituellement, il varie entre 7,2 et 7,6 (Bremond et Vuichard, 1973).

Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (Rodier, 2009).

I.4.4.2.2. Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique) (Gaujous, 1995). Elle joue un rôle important dans (Khimoud et Khennane, 2011) :

- La solubilité des sels et d'autres matières, elle influe sur la conductivité et le pH.

- La solubilité des gaz : l'augmentation de la température s'accompagne d'une diminution de la concentration de l'oxygène dissous, préjudiciable à la flore et aux processus d'autoépuration.

I.4.4.2.3. Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Rejsek, 2002**).

Une concentration élevée traduit soit des pH anormaux soit le plus souvent une salinité élevée. Comme elle conduira à un entartrage des conduites si l'excès est dû aux ions de calcium (**Loup, 1974**).

Tableau I : Classification des eaux selon la conductivité (**SARI, 2014**).

Type d'eaux	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	Résistivité ($\Omega. \text{m}$)
Eau pure	< 23	> 30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	400 à 1000

I.4.4.2.4. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (**Rejsek, 2005**).

Tableaux II : Classes de turbidités usuelles (NTU, néphélométric turbidity unity) (**Joel, 2003**).

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

I.4.4.2.5. Matières en suspension (MES)

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques(MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

❖ Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau.

❖ Les matières minérales (MMS)

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son «extrait sec» constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates,...etc.

L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène (**Duguet et al., 2006**).

Les MES se classent en (**Monique Tardat et Beaudr,1993**) :

- Matières décantables qui se séparent naturellement, sans un apport de réactifs, quand l'eau est au repos (2mm à 200µm).
- Colloïdales trop fines pour décanter par gravité, mais éliminables par matières coagulation (< 0,12 µm).

I.4.4.2.6. Résidus Secs (RS)

Reliquat obtenu à partir d'un prélèvement d'échantillon après dessiccation totale au four à 105°C. C'est un indicateur qui exprime le taux de minéraux.

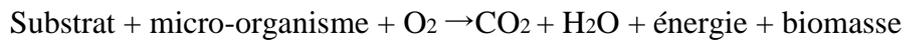
I.4.4.2.7. Oxygène dissous

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utiles pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (**Kahoul et TouhamI, 2014**). La teneur en oxygène de l'eau ne dépasse rarement 10 mg/l. Elle est fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l (**Ladjel, 2006**).

I.4.4.2.8. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader, par oxydation et par l'intervention des bactéries aérobies, les matières organiques de l'eau usée. Elle s'exprime en mg d'O₂/l. Par convention la DBO₅ est la valeur obtenue après cinq

jours d'incubation à une température de 20°C (Bourier, 2008). Plus la valeur de la DBO₅ est faible, plus est meilleure la qualité de l'eau (Anonyme, 2003). Elle se résume à la réaction chimique suivante (Suschka et Ferreira, 1986) :



I.4.4.2.9. Demande chimique en oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent. Il permet aussi de définir son origine (Suschka et Ferreira, 1986). Généralement la valeur de la DCO est :

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines.
- DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires.
- DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante (Metahri, 2012) :

$$\text{MO} = (2 \text{ DBO}_5 + \text{DCO}) / 3$$

I.4.4.2.10. Biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que $K = \text{DCO}/\text{DBO}_5$

- ❖ Si $K < 1.5$, cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables.
- ❖ Si $1.5 < K < 2.5$, cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- ❖ Si $2.5 < K < 3$, cela signifie que les matières oxydables sont peu biodégradables.
- ❖ Si $K > 3$, cela signifie que les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures ... etc. La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter. Si l'effluent est biodégradable, on applique un traitement biologique. Sinon on applique un traitement physico-chimique (Metahri, 2012).

I.4.4.2.11. Carbone organique total (COT)

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

Certaines matières organiques échappent à ces mesures, dans ce cas le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO.

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (celluloses, sucres, huiles, etc.). Suivant que l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (DCO) ou le carbone organique total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO (**Tarmoul, 2007**).

I.4.4.3. Paramètres microbiologiques

Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes (champignons, helminthes, protozoaires, bactéries et virus) dont certains sont pathogènes. La présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif d'épurer pour préserver le milieu naturel (**Tarmoul et al., 2007 ; Attab, 2011**).

Certaines maladies infectieuses sont transmises à l'homme par absorption d'eau ou d'aliments pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes. Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, responsables de la fièvre typhoïde et le vibron cholérique responsable du choléra (**Leyral et al., 2002**).

I.4.4.4. Autres éléments

I.4.4.4.1. Métaux lourds

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel. Leur présence est nuisible pour l'activité des micro-organismes dont elle perturbe le processus d'épuration biologique (**Tchiomogo, 2001**).

I.4.4.4.2. Azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniac, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (**Rodier, 2005**).

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH_3 et l'ammonium NH_4^+ , dont les proportions relatives dépendent du pH et de la température. L'ammonium est souvent dominant, c'est pourquoi, ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal ; en milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène (**Tarmoul, 2007**).

I.4.4.4.3. Phosphore

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, poly-phosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...) (**Bremond et Vuichard, 1973**). Le contenu en phosphore total comprend non seulement les ortho-phosphates mais également les poly-phosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 $\mu\text{g P/l}$) (**De Villers et al., 2005**).

I.4.4.4.4. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel reste un danger néanmoins relatif à leur réduction en nitrates (**Rodier, 2009**).

I.4.4.4.5. Sulfate

La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation. Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de déchloration (**Rodier, 2005**).

I.4.4.4.6. Fer

C'est un métal que l'on rencontre fréquemment dans les eaux naturelles. Sa présence résulte de l'altération des roches contenant du fer, ou des rejets domestiques et industriels. Le fer de l'eau présente certes quelques inconvénients du point de vue physiologique et nuit à la santé à des teneurs assez élevées (>0.3mg/L) (diarrhées, infections gastroentérites, coliques, maux de tête), et à des teneurs très importantes, il influe aussi sur la qualité organoleptique de l'eau (Mauvais goût, couleur et saveur (**Loup,1974**)).

I.4.4.5. Paramètres de qualités

I.4.4.5.1. Dureté totale (TH)

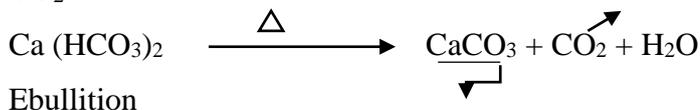
La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium.

Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage CaCO₃ (excès calcaire) du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume (**Hawa, 2001**).

Dans la nature, on peut distinguer différents types de dureté (**Bremond et Vuichard, 1973**) :

- ❖ Dureté totale (TH) : somme des concentrations en calcium et en magnésium
- ❖ Dureté calcique (TH_{Ca}) : concentration globale en calcium.
- ❖ Dureté magnésienne (TH_{Mg}) : concentration globale en magnésium.

- ❖ Dureté temporaire : due au bicarbonate de calcium et de magnésium, ainsi dite par ce que l'ébullition la fait disparaître par précipitation du calcaire (CaCO₃) et dégagement du CO₂ selon la relation



- ❖ Dureté permanente : est due principalement aux chlorures, aux nitrates et aux sulfates de calcium et magnésium qui ne précipitent pas lors de l'ébullition.

Tableau III : Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO₃.

Dureté de l'eau	Concentration en mg/l
Eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	180

I.4.4.5.2. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydroxydes (OH^-), de carbonates (CO_3^{2-}) et de bicarbonates (HCO_3^-) et dans une moindre mesure aux ions phosphates (PO_3^{4-}) et silicates (HSi_3^-) ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles étroitement liées à la dureté. Sa valeur est généralement proche lorsqu'elle est due à la présence de (CO_3^{2-}) et de (HCO_3^-). Dans les eaux naturelles, l'alcalinité exprimée en (HCO_3^-) varie de 10 à 350mg/l (**Bremond et Vuichard, 1973**).

❖ Titre alcalimétrique (TA)

La teneur en hydroxyde (OH^-) est la moitié de la teneur en carbonate CO_3^{2-} et un tiers environ des phosphates présents (**Menad, 2012**).

❖ Titre alcalimétrique complet (TAC)

Il correspond à la teneur en ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieurs, à 8.3, la teneur en ions OH^- et CO_3^{2-} est négligeable ($\text{TA}=0$). Dans ce cas, la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls (**Menad, 2012**).

Une eau contenant un mélange carbonate/hydrogencarbonates (**Bremond et Vuichard, 1973**) :

$$\text{TA} = [\text{HCO}_3^-] / 2 = (\text{TAC} - 2\text{TA}) / 2$$

I.5. Normes fixées par OMS

Le **tableau IV** ci dessous représente les des eaux de surfaces de l'eau brute.

Tableau IV : Normes des eaux de surfaces (l'eau brute) (**OMS, RF**).

Paramètres	Unités	Valeur guide	Valeur limite
Température	°C	22	25
pH	-	5.5	9
Conductivité électrique	$\mu\text{s}/\text{cm}$	1500	2800
TDS	mg/l	-	-
Salinité	%	-	1.5
Turbidité	NTU	-	140
Germes aérobies à 37°C	Germe/ml	3000	-
Germes aérobies à 22°C	Germe/ml	3000	-
Coliformes totaux	Germe/100ml	5000	-
Coliformes thermo-tolérantes	Germe/100ml	2000	-
Escherichia coli	Germe/100ml	2000	-
Streptocoques	Germe/100ml	1000	-
Clostridium sulfito-réducteurs	Germe/20ml	-	-

I.6. Épuration des eaux usées en Algérie

En Algérie, peu d'importance est accordée à la couverture des services d'assainissement, comparée à la couverture des services d'approvisionnement en eau et encore moins d'importance est accordée à l'épuration. En effet, pour un taux de couverture du réseau d'assainissement de l'ordre de 85 %, seules 20 % des eaux usées collectées en Algérie sont traitées. Le volume annuel des eaux usées est estimé à 600 millions de m³, dont quelques 550 millions de m³ correspondent aux agglomérations de taille supérieure à 50 000 habitants (**Hartani, 2004**). Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) a entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation de 84 stations d'épuration (STEP) et la réhabilitation de 15 autres, dont deux en exploitation (**DAPE, 2006**).

I.7. Traitement des eaux usées

C'est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable (**Anonyme, 2004**).

I.7.1. Objectifs du traitement des eaux usées

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de réduire ou éliminer les contaminants présents dans les effluents avant leur rejet dans le milieu récepteur et respecter ainsi les exigences de rejet environnemental. Selon l'origine des eaux usées, une chaîne de traitement sera mise en place afin d'atteindre des cibles préétablies. Typiquement, le procédé de traitement des eaux usées sera composé de plusieurs niveaux : prétraitement, primaire, secondaire et tertiaire, et lorsque c'est nécessaire un niveau avancé peut s'ajouter (**Meziani, 2013**).

I.7.2. Étapes du traitement des eaux usées

I.7.2.1. Pré-traitement

Le prétraitement est un ensemble d'opérations physiques et mécaniques destinées à extraire de l'eau brute. Ils ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs. S'il s'agit de déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) (**Badia-Gondard, 2003**) qui fournissent chacun un sous-produit spécifique appelé refus de dégrillage et sables (**Canler et Perret, 2004**) et des graisses (dégraisage-déshuilage) (**Badia-Gondard, 2003**).

I.7.2.1.1. Dégrillage

Le dégrillage est une opération indispensable pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval. Il permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses, amenées par l'effluent à traiter. L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de trois types (**Satin et Selmi, 2006**).

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm).
- Dégrillage moyenne (écartement 10 à 25 mm).
- Dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm).

I.7.2.1.2. Dessablage

Le dessablage consiste en l'élimination des sables présents dans l'effluent brute pour éviter leur dépôt dans les canalisations induisant leur bouchage et permet de réduire la production des boues et d'éviter de perturber les autres étapes de traitement, en particulier, le réacteur biologique (**Satin et al., 2010**).

La technique consiste à faire circuler l'eau brute à traiter dans des bassins dans lesquelles la vitesse de circulation est environ de 0,3 m/s pour éliminer les sables et les graviers. La vitesse de sédimentation des particules est fonction de leur nature, de leur diamètre et de la viscosité du liquide dans lequel elles se trouvent (**Boumediene, 2011**).

I.7.2.1.3. Déshuilage et dégraissage

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (**Degrement, 1989**). C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface. Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface (**Degrement, 2005**). Elle a pour but d'éviter divers problèmes au cours du traitement (**Boursali, 2011**) :

- Les boues graisseuses, diminution des transferts d'oxygène, apparition de bactéries filamenteuses.
- L'endommagement des équipements et des pompes.
- La surconsommation des produits chimiques lors de la préchloration et coagulation-floculation.

I.7.2.1.4. Tamisage

Cette opération constitue un dégrillage fin, elle est mise en œuvre dans le cas d'eaux résiduaires chargées de matières en suspension de petites taille (**Boursali, 2011**).

Le tamisage est une filtration sur toile utilisable dans de nombreux domaines du traitement de l'eau. Suivant la dimension des mailles de la toile, on distingue (**Degrement, 1972**) :

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

I.7.2.2. Traitement primaire

Les traitements primaires regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension (**Adjim, 2011**). Les matières décantables se déposent au fond ou flottent à la surface par différence de densité ou après l'adjonction de produit agglomérant les matières, accélérant leur flottation ou leurs sédimentation (**Satin et Selmi, 2006**). Le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension jusqu'à 60% et de la matière organique de l'ordre de tiers de la DBO_5 entrante (**Degrement, 1989**).

I.7.2.2.1. Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi que des matières organiques dissoutes (**Andriamirado et al., 2005**). Suivant les concentrations de l'un et de l'autre des différents polluants, on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes qui vont de la simple filtration avec ou sans réactif jusqu'à la coagulation – floculation – décantation ou flottation – filtration (**Masschelein, 1999**). La clarification comprend les opérations suivantes :

I.7.2.2.1.1. Coagulation – Floculation

Dans le traitement des eaux, la coagulation-floculation est procédé chimique souvent confondu (**Bachi et Abdelli, 2005**). Ils permettent l'élimination des colloïdes (**Cardot, 1999**). La coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico-chimique des eaux. Elle consiste essentiellement à neutraliser, à diminuer la charge électrique et favoriser ainsi le

rapprochement des particules en vue de leur agglomération (**Boursali, 2011**). La réduction de la turbidité et la concentration en polluants dissous par précipitation (**Gregorio et al., 2007**). La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration (**Cardot, 1999**). D'après **Mouchet (2000)**, la formation du floc étant amorcée par l'introduction du coagulant. Il est nécessaire d'accroître son volume, sa masse et sa cohésion.

La DCO et la concentration en azote peuvent également être réduits durant cette phase de traitement. Les matières solides extraites représentent ce que l'on appelle les boues primaires (**Bassompierre, 2007**).

I.7.2.2.1.2. Décantation (processus physique)

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblés sous forme de floc après une étape de coagulation-floculation). Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité impérieuse du phénomène de coagulation-floculation (**Degrement, 2005**).

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage (**Vilaginés, 2010**).

I.7.2.2.1.3. Flottation

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient (**Vilaginés, 2010**). Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau (**Satin et al., 2010**).

Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30% de la DBO5 et de la DCO (**Vilaginés, 2000**).

I.7.2.2.1.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire (le plus courant est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée). Si ces matières à retenir sont de dimensions supérieures à celle des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite «en surface», ou en «gâteau» ou encore «sur support». Dans le cas contraire, les MES sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, et la filtration est dite «en

volume» ou en «profondeur» ou encore «sur lit filtrant» (Kemmer, 1984; Desjardin, 1997 Degrement, 2005).

Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente. La filtration habituellement précédée de décantation permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs (Cardot, 2005)

I.7.2.3. Traitement secondaire

Le traitement biologique consiste à l'utilisation de la flore bactérienne dans les eaux usées pour dégrader les matières organiques polluantes. Il constitue le second grand stade de l'épuration des eaux de raffinage. Ce stade est destiné initialement à éliminer la DBO₅ et la DCO qui subsiste après l'épuration physico-chimique (Koller, 2009).

Les procédés de traitement secondaires sont fondés sur la digestion microbienne à la fois en présence ou en absence d'oxygène pour réduire la concentration en matières organique (Madigan et Martinko, 2007). Plusieurs techniques peuvent être distinguées. Le choix de l'une ou l'autre est fonction de l'emplacement disponible pour le procédé de traitement, de la charge de l'effluent et de la quantité de pollution à traiter.

Plusieurs types de bassins ou réacteurs sont utilisés, selon que les micro-organismes sont fixés sur un support ou en suspension dans l'eau. On parle de (Vilagines, 2003) :

- Culture libres ou boues activées lorsque la biomasse est en suspension : ici on reproduit en accéléré les mécanismes d'autoépuration des milieux aquatiques.
- Cultures fixées ou lits bactériens lorsque la biomasse est fixée sur un support : ici on reproduit en accéléré le mécanisme de biofiltration par le sol.

Du fait que les micro-organismes, les plus actifs, sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, les procédés biologiques de traitement, peuvent être classées en procédés aérobie et anaérobies.

▪ Traitements secondaires aérobie

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène. Deux grandes familles peuvent être distinguées : les procédés à cultures fixes (microorganismes fixés sur des supports), les procédés à culture libre (micro-organismes maintenus en suspension dans le mélange à épurer) (Dégrémont, 2005).

▪ Traitements secondaires anaérobies

Le traitement secondaire anaérobie est un processus microbiologique de conversion de la matière organique, faisant intervenir essentiellement des bactériennes (bactérie et d'Archaea,) ainsi que des protozoaires et quelques champignons anaérobies. Le principe de la digestion anaérobie est décrit comme la conversion de la matière organique en biomasse et en biogaz, composé essentiellement de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2). La digestion anaérobie d'un produit organique complexe comporte quatre étapes différentes, à savoir : l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène et la méthanogène (**Effebi, 2009**).

L'épuration biologique des eaux usées peut être mise en œuvre dans les microorganismes qui se développent en suspension dans l'eau (boues activées), ou encore dans réacteurs à biomasse fixée dans lesquelles les micro-organismes se développent sur un support grossier ou sur garnissage plastique (lit bactérien), sur de disque (disques biologiques) (**Pernin, 2003**).

I.7.2.4. Traitement tertiaire

Appelé aussi traitement complémentaire qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée, ainsi que la pollution biologique des eaux usées, ayant déjà subi des traitements primaires et secondaires, afin d'améliorer la qualité générale de l'eau. Les traitements tertiaires s'imposent et deviennent plus que nécessaires pour assurer une protection complémentaire de l'environnement récepteur ou une réutilisation de l'effluent en agriculture ou en industrie (**Metahri, 2012**).

I.7.2.4.1. Élimination de l'azote

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des procédés physiques et physico-chimiques complémentaires permettent l'élimination de l'azote par : électrodialyse, résines échangeuses d'ions (**Franck, 2002**).

La nitrification est le processus biologique résultant de l'activité de micro-organismes qui oxydent séquentiellement l'azote ammoniacal (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-) puis en nitrate (NO_3^-).

L'élimination de l'azote par voie biologique requiert des bactéries aux types trophiques très différents, les différentes formes de l'azote servant tour à tour de source d'azote, de source d'énergie et d'accepteur final d'électrons et de protons (**Kouakou, 2007**). Le processus peut être schématisé ainsi (**fig. 3**) :

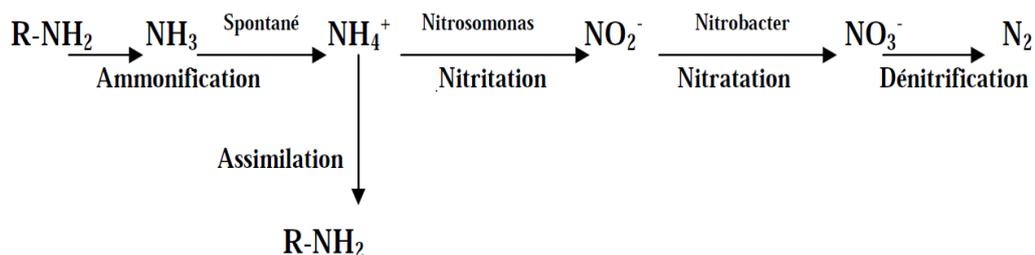


Figure 3 : Schéma réactionnel de la minéralisation de l'azote (Kouakou, 2007).

I.7.2.4.2. Élimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues (Prescott *et al.*, 2007).

I.7.2.4.3. Désinfection

La désinfection est un traitement visant à éliminer les microorganismes pathogènes, bactérie, virus et parasite ainsi que la majorité des germes moins résistants (Hernandez De Leon, 2006).

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée (Madigan et Martinko, 2007).

- Les traitements chimiques de désinfection

a) **Le chlore** est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore. D'autant plus que le coût de la déchloration, qui permet de limiter considérablement l'effet toxique de certains produits dérivés formés lors du traitement, est élevé.

b) **L'ozone** est un procédé de désinfection utilisé aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient essentiellement. En France, seule la station d'épuration de Saint-Michel-en-Grèves (Côtes d'Armor) en est équipée à notre connaissance. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus (Lazarova, 2003).

▪ Les traitements physiques de désinfection par les ultraviolets

Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées (**Rose *et al.*, 1999**).

Les eaux usées bénéficiant d'un traitement tertiaire contiennent si peu de nutriments qu'elles ne peuvent permettre une forte croissance microbienne. Le traitement tertiaire est la méthode la plus complète pour traiter les eaux d'égouts, mais elle n'a été généralisée en raison de son coût (**Madigan et Martinko, 2007**).

I.7.2.5. Traitement des boues

I.7.2.5.1. Traitements de stabilisation des boues

Le traitement de stabilisation des boues réside essentiellement dans l'élimination ou la réduction du pouvoir fermentescible des boues organiques, notamment des matières à évolution bactérienne rapide afin d'éviter l'émission d'odeurs désagréables (**Koller, 2009**).

L'empêchement de la fermentation des matières organiques des boues se fait par l'addition de la chaux pour maintenir un pH supérieur à 12 en inhibant toute activité microbienne (**Molleta, 2006**).

I.7.2.5.2. Traitement de l'épaississement et de concentration des boues

L'épaississement est la première étape pour réduire le volume des boues tout en augmentant la concentration pour permettre la déshydratation. Le concentrateur statique présente deux phases de fonctionnement : La clarification permet d'obtenir un surnageant pauvre en matière en suspension, l'épaississeur est alors considéré comme un décanteur, puis sous l'action de la pesanteur, la teneur des boues en matière en suspension progresse (**Cardot, 1999**).

I.7.2.5.3. Conditionnement des boues

Après l'épaississement, les boues contiennent encore une très forte proportion d'eau, ce qui rend difficile la réduction de leur volume. Elles sont intimement liées à la masse colloïdale de nature hydrophile. Un conditionnement est indispensable pour rendre son exploitation dans les différents équipements (**Dégremont, 1978**).

I.7.2.5.4. Déshydratation

Les procédés de déshydratation ont pour objectif de faire passer la boue de l'état liquide à une consistance plus ou moins solide, qui devra évidemment répondre aux exigences de la destination finale choisie (Koller, 2009).

I.7.2.5.5. Séchage

Le séchage consiste à évacuer par évaporation l'eau interstitielle présente dans les boues. Dans le cas d'un séchage total, le produit final se réduit pratiquement en matière sèche. Il se réalise avec l'utilisation du lit de séchage qui est constitué par une couche de 30 à 40 cm de sable, reposant sur une couche de gravier. Les boues sont déposées à la surface du sable dans un premier temps, l'eau interstitielle percole rapidement à travers le sable. Un système de drainage permet de la récupérer et de la renvoyer dans le bassin d'aération. Les boues restent à la surface du lit de sable et sèche au cours de temps. Ces boues sèches peuvent être enlevées soit manuellement soit mécaniquement (Molleta, 2007).

I.7.2.5.6. Elimination finale des boues

L'élimination finale des boues issues du traitement des effluents des industries agroalimentaires semble être utile à la valorisation en agriculture car ils sont riches en élément fertilisants (Molleta, 2006).

I.8. Modes de réutilisation d'eaux usées

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisations. Il existe des milliers de projets de réutilisations des eaux usées (Boxio *et al.*, 2008).

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- Réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraichères, céréales, prairies, etc.... ;
- Réutilisation industrielle : circuits de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc.
- Réutilisation en zone urbaine : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs cimetières, etc.
- La production d'eau potable.
- La recharge de la nappe phréatique (Dégremont, 2005).

Théoriquement, on peut réutiliser les effluents épurés des villes pour de nombreux usages comme l'agriculture irriguée, les besoins industriels, la réutilisation en zone urbaine, la réutilisation en aquaculture et en pisciculture.

En Algérie, 60% des eaux traitées sont rejetées soit loin des périmètres d'irrigation et des barrages soit en mer, ce qui rend leur réutilisation en irrigation peu rentable. Ainsi, seulement 240 millions de m³ sont potentiellement utilisables en irrigation en raison de la localisation des points de rejet (**Hartani, 2004**).

Conclusion

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines (domestiques, industrielles et agricoles et phénomènes naturels) constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre d'une part, les origines, caractéristiques, et l'importance de la charge polluante des eaux usées, et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour leurs épurations, ainsi il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sous toutes leurs formes, à des niveaux qui sont actuellement considérés comme non dangereux.

Chapitre II :
**Processus de coagulation-
floculation en traitement des
eaux**

Introduction

L'un des objectifs majeurs du traitement de l'eau, c'est de la clarifier, c'est-à-dire d'éliminer les matières en suspension qui la troublent. La décantation préliminaire peut contribuer à un degré non négligeable à cette clarification, mais elle ne supprime pas toutes les matières aptes à se sédimenter, elle n'élimine ni les colloïdes ni les matières qui confinent au domaine colloïdal. Parmi ces dernières, il faut signaler les matières humiques qui, tout en contribuant à la turbidité de l'eau, lui confèrent les teintes jaunâtres ou brunâtres qu'on observe souvent. Il faut considérer aussi les virus, les bactéries et les autres microorganismes de fine taille dont la suppression est primordiale.

Il est facile d'éliminer quasi entièrement ces diverses substances de nature colloïdale. Pour ce faire, on a souvent recours aux procédés physico-chimiques pour modifier l'état initial des corps présents dans l'eau et créer des conditions favorables à leur décantation, d'où la technique de la coagulation-floculation (**Sefraoui, 2013**), qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration (**Desjardins, 1997 ; Mottot, 2000**).

Dans le cas du traitement des eaux, application principale des coagulants et floculants, de gros efforts de recherche et développement sont nécessaires pour répondre à des exigences de qualités très réglementées imposées par le renforcement permanent des contraintes environnementales. Les études menées dans les laboratoires de recherche permettent d'acquérir une connaissance précise des phénomènes physico-chimiques qui gèrent la mise en œuvre des produits et d'adapter leurs caractéristiques aux évolutions de l'application (**Mottot, 2000**)

II.1. Coagulation-floculation (CF)

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (Matières En Suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floccs dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physique qui permet d'éliminer tous ou une partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales (**Adamczyk, 2003**).

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique. Ce temps va d'un second pour du gravier coagulé ayant un diamètre de 10 mm et une surface spécifique de $6.10^2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ à 20 ans pour du colloïde de $10^{-2} \mu\text{m}$ ayant une surface spécifique de $6.10^8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Degrémont, 2005). Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100 μm . Malheureusement, ces particules exercent entre elles des forces de répulsion de nature électrostatique empêchant leur assemblage (Buffle, 1988 ; Besra, 2002).

La déstabilisation des entités en suspension passe par des phénomènes d'adsorption (Buffle *et al.*, 1990), expliqués par la théorie de la double couche. Elle explique comment les colloïdes sont traités par coagulation (Besra *et al.*, 2002).

II.2. But de la coagulation-floculation

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floes par absorption et agrégation (Valiron, 1989). Les floes ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite (fig. 4).

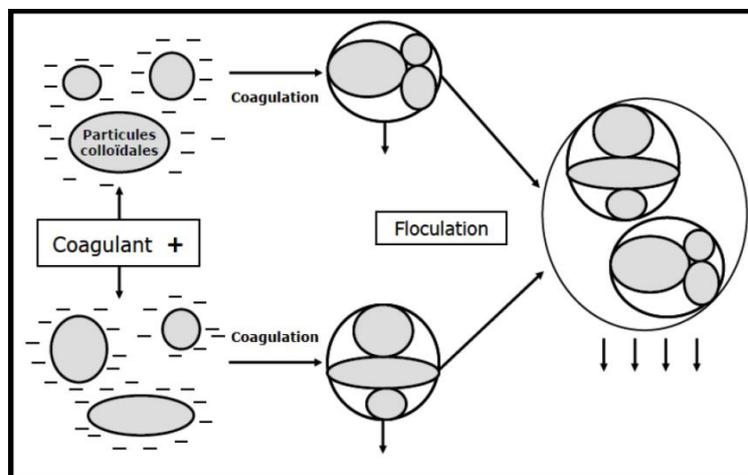


Figure 4 : Schéma illustrant le procédé de coagulation-floculation (Hernández de leon, 2006).

II.3. Particules mises en jeu

II.3.1. Matières en suspension

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 micros - organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus. Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur.

II.3.2. Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres)

Ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz (O_2 , CO_2 , H_2S , ...) (**Dégrement, 1978**).

II.3.3. Particules colloïdales

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, etc....) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1 μ m (**Boursali, 2011**). La plupart de ces particules développent des charges primaires négatives qui engendrent les forces de répulsion inter colloïdales responsables de la grande stabilité de ces particules dans leur milieu aqueuse (**Kabli et Kazouz, 2004**).

II.3.3.1. Classification des suspensions colloïdales

Pour leur étude, les colloïdes sont classés, arbitrairement, en deux groupes principaux :

II.3.3.1.1. Colloïdes hydrophiles

Ils proviennent de substances solubles présentant une affinité pour l'eau, et qui adsorbent une couche d'eau liée, protectrice. Dans ce groupe se trouvent les protéines, les carbohydrates et, d'une façon générale, les produits organiques.

II.3.3.1.2. Colloïdes hydrophobes

Généralement plus gros et n'ont pas de couche protectrice. Ils proviennent de substances peu ou pas soluble tels que les métaux, leurs oxydes et/ou leurs hydroxydes. Plus généralement, ce sont des produits minéraux.

L'existence des systèmes colloïdaux dépend de l'interaction entre deux particules. Elle met en jeu deux forces contraires :

- Une force de répulsion électrostatique qui tend à écarter les particules les unes des autres. Cette force dépend de la charge des particules qui sont de même signe.
- Une force d'attraction (type de Van der Waals) liée à la structure et à la forme des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu (**Dégrément, 1978**).

II.3.3.2. Modes de déstabilisation des particules colloïdales

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

- ❖ Compression de la double couche ;
- ❖ Adsorption et neutralisation des charges ;
- ❖ Emprisonnement des particules dans un précipité ;
- ❖ Adsorption et pontage (**Desjardins, 1997**).

II.4. Théorie de la double couche

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde. Diverses théories expliquent ce phénomène (**Buffle et al., 1998**).

II.4.1. Théorie de Helmholtz : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée)

II.4.2. Théorie de Gouy-Chapman

La couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse).

II.4.3. Théorie de Stern

Qui combine les deux théories précédentes et considère la formation d'une double couche : la première formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant. Comme illustré sur la **figure 5** (courbe 3), le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis diminue plus lentement à mesure que la distance augmente jusqu'à son annulation au point A (**point isoélectrique**). La **figure 5** montre les différentes couches et le potentiel électrique des particules colloïdales.

Un colloïde se caractérise par deux potentiels (**van de Ven, T. G. M. 1989**) :

- Potentiel thermodynamique ou potentiel de Nernst ;
- Potentiel zêta ou potentiel électrocinétique

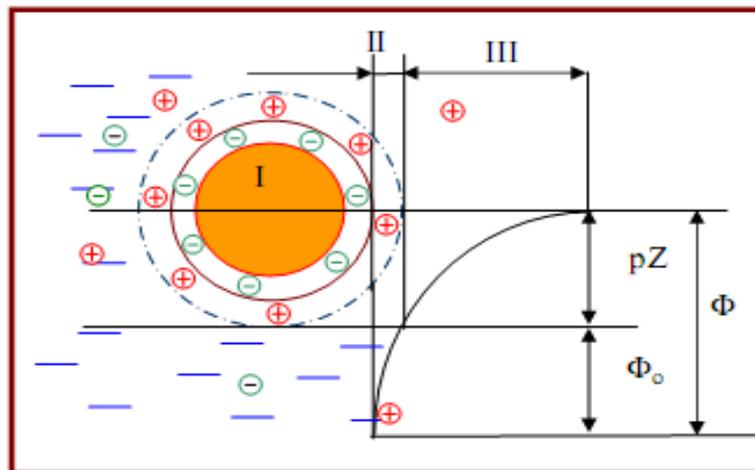


Figure 5 : Potentiel électrique de particules colloïdales (**Bensadok, 2007**).

I : Particule colloïdale

II : Couche adhérente de Stern

III : Couche diffuse de Gouy-Chapman

Φ : Potentiel total à l'interface

Φ_0 : Potentiel différentiel dans la couche adsorbée

pZ : Potentiel zêta

II.5. Jar-Test

Depuis plus de 50 ans, le Jar-Test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de floculants dans le domaine du traitement de l'eau.

Un exemple d'étude permet de présenter des essais expérimentaux de déphosphoration pères au laboratoire. Les jars tests sont réalisés sur un banc d'essai dans des béciers de 1 litre.

Dans chaque bécher, on dépose grâce à un cylindre gradué, 1 litre de la solution à traiter de concentration en phosphore totale connue (**Lafleur et Fortier, 2008**).

La séquence d'ajout des réactifs se fait en deux temps. En premier lieu est d'ajoutée la solution de chitosane et ensuite la solution déchlorure ferrique. Un bécher témoin permet de confirmer la concentration initiale en phosphore total. Une fois les coagulants et floculant ajoutés, la coagulation-floculation est effectuée suivie d'une période de décantation (**Lafleur et Fortier, 2008**).

II.6. Phénomène de coagulation

II.6.1. Principe de phénomène

Le mot coagulation vient du latin ‘’ coagulare’’ qui signifie « agglomérer » (**Masschelein, 1999**). La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. Cette agglomération est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactifs chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements ultérieurs (décantation et/ou filtration) (**Desjardins, 1997, Bessedik, 2014**).

II.6.2. Coagulant

C'est une substance chimique comme l'alun qui cause l'agglomération des particules fines par compensation des charges des substances par apport à des charges opposées positives de cations trivalents (Fe^{3+} , Al^{3+} , ...) et permet de former ainsi un précipité gélatineux dans l'eau pouvant ensuite être filtré (**Lafleur et Fortier, 2008**).

II.6.3. Choix du coagulant

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. On ne peut, néanmoins, négliger les effets secondaires comme les fuites en Fe^{3+} et Al^{3+} . Il faut savoir que le sulfate ferrique contient du manganèse sous forme de Mn^{2+} à raison de 0,057 g pour 100 g de coagulant. Le traitement d'eau chargée en matières organiques exige du sulfate ferrique. Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée très faible en turbidité. La vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre passe par le Jar-Test.

Les sels d'aluminium sont très largement utilisés dans le domaine de l'eau potable. Les sels de fer sont plutôt destinés aux eaux résiduaires et en particulier pour l'élimination physico-chimique du phosphore. Le chlorure ferrique a sa place dans les filières de traitement des boues hydroxydes ou organiques (**Cardot, 1999**).

II.6.4. Coagulants utilisés

II.6.4.1. Coagulants de type sels métalliques

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer (**Lakhdari, 2011**). Ils sont cités dans le tableau suivant (**Tab.V**) :

Tableau V : Dérivés des sels d'aluminium et sels de fer (**Mekhalif, 2009**).

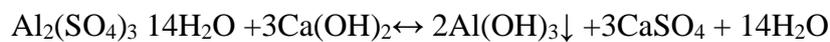
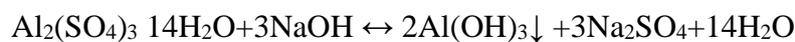
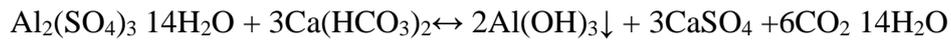
Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Chlorure ferrique	Fe_2Cl_3
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

Ce type de coagulant peut être utilisé pour traiter des eaux usées industrielles et domestiques, mais son applicabilité s'étend aussi à plusieurs autres domaines : l'adoucissement de l'eau, enlèvement des métaux lourds (industrie métallurgique), enlèvement des huiles et des graisses, enlèvement du phosphate des eaux de lavage et de d'autres type d'effluent (**Lafleur et Fortier, 2008**). Ces agents chimiques sont donc d'excellents outils pour réaliser le polissage et la récupération des matières particulières. Plusieurs sels métalliques sont utilisés dans le domaine du traitement des eaux usées, tels que :

II.6.4.1.1. Alun – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14\text{H}_2\text{O}$

Il est utilisé pour réduire la dureté ainsi que la charge en phosphate des eaux usées. En solution, il réagit avec les composés alcalins présents (carbonate, bicarbonate et hydroxyde) ou le phosphate pour former un sel d'aluminium insoluble (**EPA, 2000**). Lorsque l'alun est utilisé, plusieurs radicaux hydroxy-alumineux monomères ou polymères sont formés (**Lengo, 1994**).

Les réactions suivantes décrivent comment est formé le précipité (**Desjardins, 1997**) :



L'hydrolyse de l'alun se traduit par la formation d'espèces différentes susceptibles d'intervenir dans la coagulation. Ces espèces interviennent selon différents mécanismes tels que représentés dans la (**fig. 6**) (**Tardat-Henry, 1989**). Ce schéma décrit les quatre différents mécanismes de la coagulation. En effet, l'hydrolyse de l'alun permet de former des radicaux hydroxy-alumineux (monomères) qui à leur tour forment le précipiter $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou des espèces polycationiques. Les espèces polycationiques agissent sur les particules colloïdales par compression, neutralisation et adsorption ce qui permet la formation de floccs. La formation de précipités $\text{Al}(\text{OH})_3$, voie principale en coagulation, implique des doses élevées d'alun et favorise l'emprisonnement des particules dans un précipité. Parallèlement à la formation de radicaux hydroxy-alumineux, il y a complexation avec des ligands contenus dans l'eau s'ils sont en quantité suffisante. Le degré de complexation varie en fonction du pH. La complexation avec des ligands expliquerait, dans plusieurs cas, la présence d'aluminium résiduel dans l'eau décantée.

Les précipités à base de fer sont formés de la même façon. Ils forment la base des flocs qui emprisonnent les particules colloïdales. L'efficacité de ces coagulants avec ou sans aide coagulant, selon le pH et la température de l'eau (Julien, 1983). La figure 6 représente les mécanismes et produits dérivés du sulfate d'aluminium lors de la coagulation

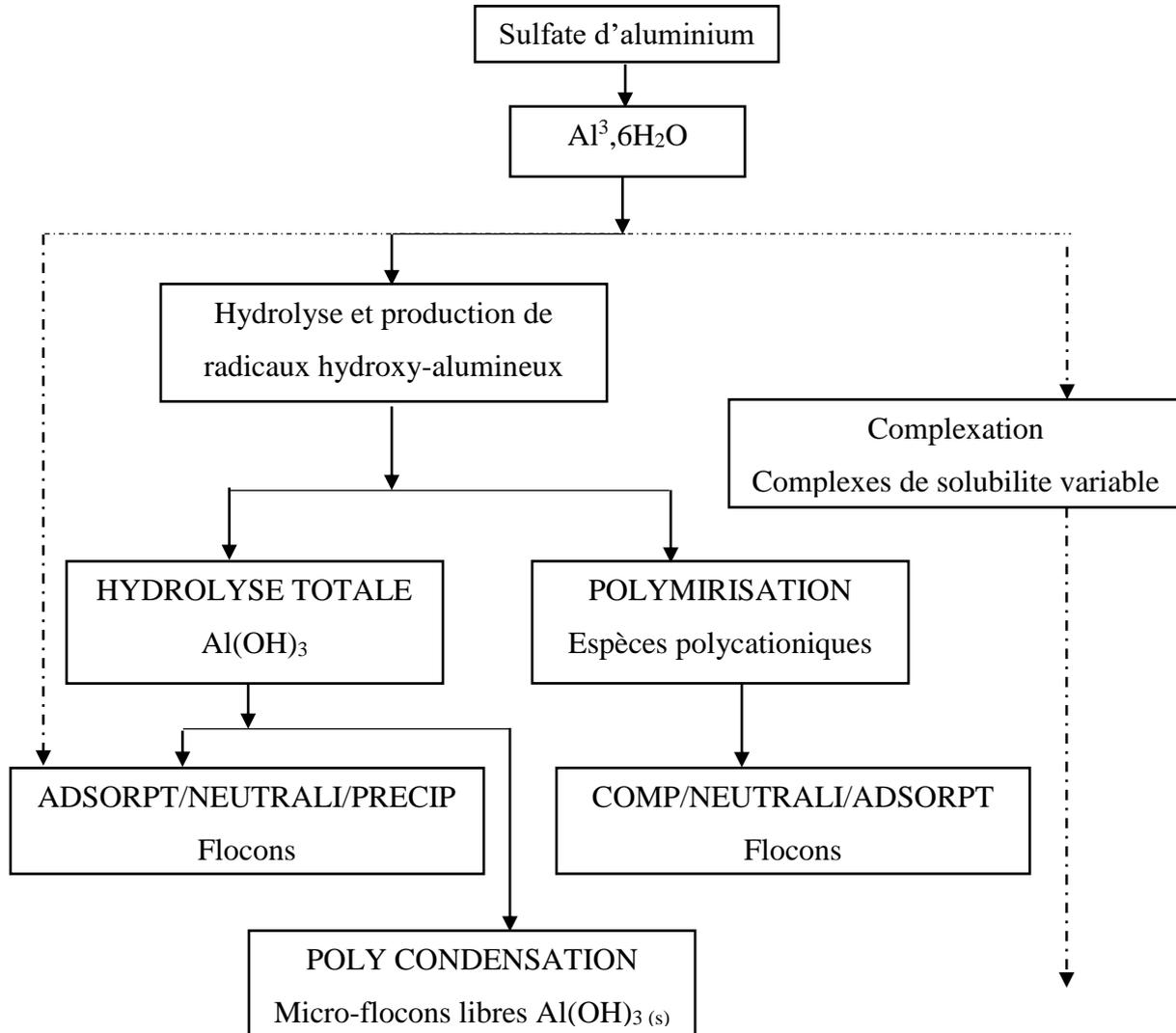


Figure 6 : Mécanismes et produits dérivés du sulfate d'aluminium lors de la coagulation (Tardat-Henry, 1989).

II.6.4.1.2. Coagulant naturel

II.6.4.1.2.1. Moringa Oleifera

Les graines de *Moringa* contiennent 30 à 42 % d'huile, et le tourteau obtenu comme sous-produit lors de l'extraction de l'huile est très riche en protéines. Certaines de ces protéines (environ 1 %) sont des polyélectrolytes cationiques actifs d'un poids moléculaire de

7-17 kDalton. Les polyélectrolytes cationiques neutralisent les matières colloïdales dans les eaux boueuses ou sales, puisque la majorité de ces matières ont une charge électrique négative. Cette protéine peut donc être utilisée comme polypeptide naturel non toxique pour provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques dans les processus de purification de l'eau potable. Elle agit donc comme un coagulant primaire en créant en permanence des ponts naturels entre les particules colloïdales, contrairement aux coagulants industriels qui sont parfois toxiques, si bien que leur utilisation correcte exige une main d'œuvre qualifiée. La majorité des pays en développement n'a pas les moyens de produire ces coagulants industriels, qui sont chers et grèvent lourdement les réserves en devises de ces pays.

Les graines séchées sont d'abord débarrassées de leurs ailes, puis broyées pour obtenir une poudre que l'on mélange avec de l'eau. On agite le mélange pendant cinq minutes, puis on le laisse reposer pendant une heure avant de le filtrer sur un tissu pour obtenir de l'eau pure. Une autre méthode consiste à suspendre dans l'eau une poche en tissu contenant la poudre de graines, généralement pendant une nuit, pour faire coaguler les impuretés. On enlève ensuite la poche de poudre, et l'eau purifiée est décantée pour laisser les particules coagulées au fond du récipient. Il est possible d'éliminer ainsi jusqu'à 99 % des matières colloïdales. Il suffit d'une seule graine pour purifier un litre d'eau légèrement contaminée, et de deux pour un litre d'eau très sale.

A l'université technique de Biomasa, des études ont été menées sur l'utilisation de graines de Moringa pour le traitement final dans des unités d'épuration des eaux usées. Dans les lagons d'oxydation, 80 % de la DBO de l'eau provient d'algues monocellulaires. De plus, ces algues renferment 40 à 60 % de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées avant traitement. Pour éviter l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs par l'écoulement de charges importantes de phosphore et d'azote, les graines peuvent être utilisées pour coaguler les algues et les éliminer par sédimentation. Ce traitement permet d'éliminer jusqu'à 98 % des algues présentes. Après sédimentation, les eaux résiduelles deviennent claires et transparentes. Ce traitement réduit d'autre part la DBO de l'eau d'environ 70%, et sa teneur en phosphore et en azote de 60 %. Les algues récupérées après sédimentation puis séchées et pulvérisées contiennent environ 46 % de protéines et peuvent être utilisées pour compléter les rations protéiques des bovins, des porcs, des poulets et même des crevettes, ce qui réduit considérablement les coûts de leur alimentation (Foidl, 2001).

II.6.5. Facteurs influençant la coagulation

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelations, comme le pH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, les conditions de mélange, la turbidité et la couleur. Ces interrelations complexes interdisent actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants (**Kherifi, 2009**).

II.6.5.1. pH

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant la meilleure coagulation, elle est fonction du coagulant utilisé, de la concentration et de la composition de l'eau à traiter (**Ezziane, 2007**), il doit être compris dans une zone optimale de 4 à 6 pour les sels de fer et entre 5 et 7 pour les sels d'aluminium (**Prévost, 2010**).

II.6.5.2. 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 (**Hernández De León, 2006**).

II.6.5.3. Turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation (**Cardot, 2005**). Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant (**Meghzili et al., 2012**).

II.6.5.4. Type et la concentration du coagulant

Type de coagulant : le choix du coagulant ainsi que de sa dose se fait à l'aide de jar-tests. Généralement les sels de fer sont utilisés pour traiter les eaux riches en matières organiques (**Prévost, 2010**).

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Une dose de coagulant excessive entraîne une ré-stabilisation

des particules colloïdales qui sont susceptibles de la charge de surface et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante (**Gallard et Gunten, 2002**).

II.6.5.5. Sels dissous

La présence de sels dissous modifiera le temps de floculation. La plage de pH optimal et la dose de coagulant requis (**Prévost, 2010**).

II.6.5.6. Temps de mélange

La coagulation nécessite un mélange vigoureux et de courte durée (maximum 120s) afin de disperser de façon uniforme le coagulant, tandis que la floculation nécessiterait un mélange lent d'une durée moyenne de 5 à 60 min (**Prévost, 2010**).

II.6.5.7. Grosseurs et concentration des particules colloïdales

Il existe un seuil propice, pour la coagulation, du point de la vue dimensionnelle. Pour les particules dont les démentions sont inférieures au micron, les forces de surface deviennent prépondérantes vis-à-vis des forces de masse. Dans ces conditions, on constate un état de dispersion stable dû aux effets conjugués du mouvement brownien (**Pattabi et al., 2000**)

II.6.5.8. Valence des colloïdes

Selon la nature des particules colloïdales et leur interaction vers le milieu aqueux, c'est à dire leur facilité d'échange des cations périphériques selon qu'elle s'avère forte ou faible, elle favorise plus ou moins le processus de coagulation (**Pattabi et al., 2000**).

II.6.5.9. Etat d'hydratation

L'hydratation est un phénomène complexe dont les effets se répercutent sur le taux d'agrégation des colloïdes. Dans une solution aqueuse, les particules microscopiques s'hydratent et s'enveloppent de liquide inter-micellaire. Cette monocouche d'eau absorbée chimiquement sur les surfaces des particules (ex : les oxydes métalliques, les argiles et le quartz) produit l'effet d'une gaine isolante protectrice, s'opposant à l'agrégation des particules, par réduction de la tension superficielle à l'interface particule liquide, par conséquent, la stabilité des colloïdes se trouve renforcée.

Aussi, les interactions colloïdes-eau peuvent retarder l'agrégation des systèmes colloïdaux (**Jian-Jun Qin et al., 2006**). Ce phénomène peut être contrarié par l'augmentation de la quantité de coagulant et le prolongement de l'opération.

II.6.5.10. Electrifications des particules

La charge électrique agit par la modification de la tension superficielle si cette tension est positive, les particules s'agglomèrent : si elle est négative, les particules se dispersent (**Pattabi, et al., 2000**).

II.7. Phénomène de floculation

II.7.1. Principe de phénomène

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, pour former des micro-flocs puis des flocs plus volumineux et décantables. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules (**Desjardins, 1997 ; Bessedik, 2014**).

Deux phénomènes de transport régissent la floculation :

II.7.1.1. Floculation péricinétique

Due à l'agitation désordonnée des particules. En cas de floculation péricinétique, F_p , les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien.

II.7.1.2. Floculation orthocinétique

On appelle floculation orthocinétique (FO) la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. L'agitation facilite l'agrégation en augmentant la probabilité des collisions entre les particules (**Desjardins, 1997**).

II.7.2. Flocculant

C'est un polymère qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des floccs (**Lafleur et fortier, 2008**).

II.7.3. Flocculant utilisé

Pour une meilleure efficacité du procédé de CF, on utilise des flocculants. On appelle flocculant, des produits utilisés en quantités plus faibles que les réactifs coagulants permettant d'agglomérer les MES afin d'obtenir une taille plus grande et par conséquent des vitesses de séparation solide liquide plus élevée. Le but étant de former un précipité ou flocc qui soit visible et insoluble. On distingue des flocculants minérale, organique et synthétiques.

II.7.3.1. Flocculant minéraux

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculant connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certains hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et le sable fin (micro sable).

II.7.3.2. Flocculants organiques

Les flocculants organiques sont hydrosolubles et peuvent avoir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer comme exemple l'amidon, les alginate ou les polysaccharides (**Boumediou et Djalali, 2005**).

II.7.3.2.1. Flocculants polymères d'origine naturelle

II.7.3.2.1.1. Amidons

Obtenus de la pomme de terre, du tapioca ou d'autres végétaux, ces polymères de Glucopyran ose non linéaires et ramifiés sont utilisés de préférence avec les sels d'aluminium. Une fois diluée, leur biodégradation peut être rapide.

II.7.3.2.1.2. Autres composés

Plusieurs polysaccharides naturels ont des propriétés flocculants (cellulose, gommes, tanins, xanthanes), mais ils sont très peu utilisés dans le traitement des eaux (**Lafleur et Fortier, 2008**).

II.7.3.2.1.3. Chitosane

Le chitosane est un polysaccharide provenant de la désacétylation de la Chitine, un composé grandement similaire à la cellulose. On retrouve la chitine dans plusieurs écosystèmes puisqu'elle est une composante fondamentale de l'exosquelette des invertébrés marins (crabe, crevette, homard, etc.) et des insectes, en plus d'être une molécule structurante chez les champignons et les levures (**Ruhsing Pan et al., 1999**).

II.7.3.3. Flocculants de synthèse

Sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire (Entre 105 et 107 (g.mol⁻¹)). Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels. Ils sont classés suivant leur ionicité : anionique, neutre(ou non ionique), cationique (**Boumediou et Djalali, 2005**).

II.8. Avantages et inconvénients

II.8.1. Avantages

Le traitement des eaux implique des opérations de très grande échelle. Aucun autre procédé de technique séparative ne met en jeu d'aussi grands volumes. Il est donc nécessaire, compte tenu de la qualité et de la constance du résultat attendu, de disposer d'un procédé performant. Les techniques membranaires se développent dans ce domaine, mais la coagulation floculation reste actuellement le procédé physico-chimique le moins cher par rapport à la quantité de particules éliminées. La sédimentation est en effet le procédé de séparation le plus économique en termes de consommation d'énergie. Les technologies les plus récentes exigent une vitesse de sédimentation minimum d'un mètre par heure. Ce qui correspond - selon la loi de Stokes, qui énonce qu'une particule sphérique isolée, tombant en régime laminaire dans un fluide atteint une vitesse V_0 proportionnelle au carré de son diamètre à la vitesse de sédimentation d'une particule de silice de 1.7 micron dans une eau à 20°C. Il ne serait donc pas possible par exemple de séparer correctement avec les équipements

disponibles dans les stations d'épuration des bactéries isolées (vitesse de sédimentation de cinquante centimètres par heure) et encore moins un virus qui mettrait deux années pour parcourir un mètre. La coagulation-floculation permet d'agréger ces particules colloïdales en floes d'une taille comprise entre 100 microns et quelques millimètres, suffisamment denses pour sédimenter facilement (**Desjardins, 1997**).

II.8.2. Inconvénients

L'un des désavantages de cette méthode est la nécessité d'ajouter des produits chimiques qu'il faut transporter et entreposer, ce qui augmente les coûts d'opération. De plus, le produit chimique ajouté induit également l'ajout d'anions indésirables (ex : sulfates) et la production de boues métalliques n'est pas non plus désirable. D'autre part si le coagulant est sous-dosé, la clarification est défectueuse ; s'il est surdose, la clarification est tout aussi défectueuse et ceci de façon quasiment irréversible. On perd ainsi à la fois de l'eau et du réactif qui coûte cher (**Moise Desire, 2007**).

II.9. Domaines d'application de CF

Les applications industrielles de la coagulation et de la floculation sont nombreuses. On cite la séparation de la caséine du lait qui est l'une des premières étapes de la fabrication de nombreuses spécialités fromagères. Toujours dans l'industrie agroalimentaire, on trouve également des étapes de coagulation ou floculation dans la clarification de boissons. Dans un autre secteur industriel, la fabrication du papier, des coagulants et floculants sont utilisés pour retenir les pigments minéraux opacifiants au sein des fibres de cellulose lors de la formation des feuilles. Mais la principale application des coagulants et floculants est le traitement des eaux (**Mottot, 2000**).

Conclusion

Pour arriver à la transparence de ces eaux pendant une courte durée, nous avons recours aux procédés de coagulation-floculation.

Ce chapitre montre l'intérêt de ces processus qui sont généralement utilisées pour éliminer les matières en suspensions ainsi que les matières colloïdales dans l'eau aussi il présente les différents coagulant et floculant utilisé, et détaille, plus particulièrement, ce phénomène sur la lesquels porte spécifiquement notre étude.

Chapitre III :
Généralités sur *Moringa*
oleifera

Introduction

Moringa oleifera Lam est un arbre des régions tropicales. Il est passé, en une décennie, du statut de plante marginale à celui de nouvelle ressource alimentaire et économique permettant ainsi une utilisation multiple (Atakpama *et al.*, 2014). L'introduction de cette plante au sein d'une ferme dans un environnement riche en biodiversité peut être bénéfique à la fois pour l'exploitant et pour l'écosystème environnement.

III.1. Origine et répartition géographique

Moringa oleifera est un arbre tropical dicotylédone pérenne. Cet arbre est originaire de l'Inde, dans les Vallées au sud de l'Himalaya (Leone *et al.*, 2015). Il était utilisé par les anciens romains, les grecques et les égyptiens (Mishra *et al.*, 2012).

Cet arbre se rencontre à l'état naturel jusqu'à 1000 m d'altitude. Il pousse relativement bien sur les versants mais est plus répandu dans les zones de pâturages et les bassins des rivières. Il pousse rapidement jusqu'à 6 ou 7 mètres en un an même dans des zones recevant moins de 400mm de précipitations annuelles.

Moringa oleifera est aujourd'hui cultivé à travers le Moyen-Orient, ainsi que tout le long de la ceinture tropicale (fig. 7). Il a été introduit en Afrique de l'Est au début du 20^{ème} siècle (Farooq *et al.*, 2007).



Figure 7 : Distribution de *Moringa oleifera* dans le monde (Rolloff *et al.*, 2009).

III.2. Systématique et nomenclature

Moringa oleifera Lam (synonyme : *M. pterigosperma* gaetner) appartient à une famille monogénérique d'arbres et arbustes. Les Moringacées (Jed *et al.*, 2005 ; Abdul *et al.*,

2014). Les *Moringacées* comprennent 13 espèces. Les douze espèces sont bien connues *M. arborea*, *M. borziana*, *M. concanensis*, *M. drauhardii*, *M. hildebrandtii*, *M. longituba*, *M. ovalifolia*, *M. peregrina*, *M. pygmaea*, *M. rival*, *M. uspoloniana*, *M. stenopetala* (Hedji et al., 2014).

Cet arbre porte différents noms vernaculaires selon les régions : *Malunggay* ou *meilleure amie des mères* (aux Philippines), *Rawag*, *Shagara al Rawag* (pays arabes), *Radish tree*, *Never die tree*, *Drumstick tree* (Pays anglophones), *Ben ailé*, *Noix de behen*, *Moringoa* ou *Moringa*, etc. (Paiva et al., 2011).

Tableau VI : Systématique de *Moringa oleifera* (Laleye et al., 2015).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Capparales
Famille	Moringaceae
Division	Magnoliopyte
Genre	<i>Moringa</i>
Espèce	<i>oleifera</i>

III.3. Exigences environnementales

Le *Moringa oleifera* est une plante qui s'adapte à des milieux différents. Cependant, certaines conditions du milieu favorisent son épanouissement (Tab. VII).

Tableau VII : Principales exigences écologiques de *Moringa oleifera*.

Paramètres	Optimal	Sources
Climat	Tropical ou subtropical	-
Température	25-35°C	(Melesse Steingass et al., 2012)
Altitude	0-1800 m	-
Pluviométrie	250mm-3000 mm	-
Type de sol	Limoneux, sableux ou sablo-limoneux	(Kafuku et Mbarawa, 2010).
PH du sol	Acide à alcalin (PH : 5 à 9)	

La meilleure croissance est observée dans des sols sablonneux et secs grâce à ses capacités de résistance à la sécheresse (Noumo Ngangmou et al., 2013).

III.4. Morphologie et caractéristiques physiologiques

Avec une taille de près de 10 mètres, le *Moringa* est un arbre à écorce grise ou chamois pâle, lisse ou rarement rugueuse (Fig. 8 (i)) (Iréneé, 2016).

Une fois qu'il atteint la maturité, si les branches ne sont pas coupées pour récolter les feuilles, les arbres de *Moringa* fleurissent et produisent une grande quantité de fruits chaque année.

Une fois que les fruits se dessèchent, les graines peuvent être facilement récoltées et pressées pour leur huile (Lalas et Tsaknis, 2002).

III.4.1. Feuilles

Feuilles alternes, de 6.5-60cm de long, 2-3 pennées, munies de 4-6 paires de pennes ; stipules absents, mais pétiole à glandes stipitées à la base, folioles elliptiques, arrondies à cunéiformes à la base, apex arrondi (Fig. 8 (ii)) (Orwa *et al.*, 2009).

III.4.2. Fleurs

Inflorescence panicules étalées de 8-30cm de long, portant un grand nombre de fleurs. Fleurs bisexuées. zygomorphes ; sépales libres. De 7-14mm de long. Souvent inégaux ; pétales libres, oblongs-spatules, de 1-2cm de long, inégaux, le plus grand dressé à pubescence veloutée, blancs ou crème ; étamines 5 filets de 7-8 mm de long, anthères d'un jaune cireux ou orange, alternant avec 3-5 staminodes, ovaire supère, pédonculé, cylindrique de 3-5mm de long, rose à la base, densément poilu. 1-loculaire style mince, glabre, sans lobes stigmastiques (Fig. 8 (iii)) (Olson, 2001 ; Reyes Sanchez *et al.*, 2006).

III.4.3. Fruits

Les gousses (Fig. 8 (iv)) sont des capsules allongées à 3 valves de 10-50 cm de long, à 9 côtes brunes à maturité, et contenant de nombreuses graines (Muhl *et al.*, 2011).



Figure 8 : Différentes parties de *Moringa oleifera* : (i) l'arbre de plein champ. (ii) ensemble de feuillage. (iii) Fleurs et (iv) fruits (Sivanesan *et al.*, 2016).

III.4.4. Graines

Les graines (Fig. 9 (A)) sont rondes, avec une coque marron semi perméable. La coque présente trois ailes blanches et renferme une amande (Fig. 9 (B)) (Verma et Nigam, 2013).

III.4.5. Racine

(Fig. 9 (C)) blanche gonflée, tubéreuse qui a une odeur piquante caractéristique et dotée de racines latérales plutôt clairsemées (Rolaff *et al.*, 2009). Le système racinaire est formé d'un pivot central qui peut s'enfoncer dans le sol jusqu'à 1.30 m de profondeur (Rosa, 1993).



Figure 9 :Graines (A).amandes (B) et racines(C) de *M. oleifera* (www.moringanews.org).

III.5. Composition nutritionnelle de *Moringa oleifera*

Moringa est une plante très appréciée. Selon Ndong *et al.*, (2007), elle possède une haute valeur nutritive. Les différentes parties de cette plante contiennent un profil de minéraux important (calcium, cuivre, fer, potassium, etc.) et une bonne source en protéines, vitamines β -carotène, acides aminés, acides gras et de différents phénols (flavonoïdes, Anthocyanines, pro anthocyanidines et cinnamates). Cette plante dispose d'une combinaison riche et rare en zéatine, quercétine, β -sitostérol, caffeoylquinic et kaempferol (Farooq *et al.*, 2007).

III.5.1. Comparaison nutritionnelles de *Moringa oleifera* avec quelques aliments

La comparaison entre le contenu nutritionnel du *Moringa* et celui d'autres aliments montre comment le *Moringa* est de haute valeur sur le plan nutritionnel. Ce sont généralement les différences énormes observées qui sont au centre de la promotion faite au *Moringa* à travers le monde. La comparaison de la valeur nutritive de la feuille de *Moringa* avec quelques plantes est présentée dans le (Tab.VIII).

Tableau VIII : Comparaison du contenu nutritionnel des feuilles de *Moringa Oleifera* avec d'autres aliments (100g) (anonyme 3).

Éléments nutritifs (mg)	Moringa (mg)	Autres aliments (mg)
Vitamine A	1130	Carotte: 315
Vitamine C	220	Oranges: 30
Calcium	440	Le lait de vache: 120
Potassium	250	Banane : 88
Protéines	6700	Le lait de vache: 3.200

III.5.2. Composition physicochimique de la graine de *Moringa oleifera*

La composition biochimique de la graine de *Moringa Oleifera* est donnée dans le **Tableau IX**

Tableau IX : Composition biochimique de la graine de *Moringa Oleifera*.

Composition biochimique de la graine	Duke et Atchley (1984)	Makkar et Backer (1997)	Anwar et Bangher (2003)	Abdulkarim <i>et al.</i> , (2005)
Humidité (%)	-	-	5.7	-
Cendre (%)	3.2	3.8	6.6	6.5
Protéine (%)	38.4	36.7	29.36	38.3
Matière grasse(%)	34.7	41.7	40.39	30.8
Fibre (%)	34.7	4.8	7.20	4.5
Sucres totaux(%)	-	-	-	-

III.5.3. Composition chimique des feuilles de *Moringa Oleifera*

Les feuilles de *Moringa oleifera* sont considérées comme un légume de bonne qualité nutritionnelle. Elles sont riches en protéines, vitamines (A et C) et certains minéraux (et en particulier le fer). Elles contiennent aussi les acides aminés et les acides gras essentiels (Musa *et al.*, 2015).

III.5.4. Composition chimique de l'huile de graines de *Moringa oleifera*

La teneur en huile des graines décortiquées. C'est-à-dire des amandes est d'environ 42% (Ferrao et Mendez Ferroa, 1970 ; Ramachandran *et al.*, 1980). L'huile des graines de *Moringa* contient environ 13% d'acides gras saturés et 82% d'acides gras insaturés (Tsaknis *et al.*, 2002). Les principaux acides gras saturés présents dans les graines sont les acides palmitique, stéarique, arachidique et bénin. L'acide oléique est l'acide gras insaturé principal (72.9%), dont la concentration élevée est souhaitable en terme de nutrition et de stabilité pendant la cuisson et la friture (Abdulkarim *et al.*, 2005).

III.6. Utilisations

III.6.1. Utilisation alimentaires

III.6.1.1. Alimentation humaine

La plante *Moringa* a été consommée par les humains tout au long du siècle dans diverses manières culinaires. Presque toutes les parties de la plante sont utilisées pour sa valeur nutritionnelle. Les prétendues propriétés médicinales pour le goût et la saveur en tant que légume et graine (Iqbal *et al.*, 2006).

❖ Feuilles

Se consomment en salade ou cuites, en soupes et dans des sauces (*Azeez et al., 2013*). Elles se révèlent riches en protéines dont la carence est responsable du gros ventre des enfants souffrants de malnutrition. Elles sont pour compléter le régime alimentaire des nourrissons et des femmes enceintes et allaitantes.

❖ Fleurs

Se consomment aussi comme légume ou dans des sauces. Au Soudan, elles sont écrasées en une pâte que l'on fait frire.

❖ Graines

Sont consommées au Nigeria et auraient le même goût que les cacahuètes. Dans certains endroits, les graines sont ajoutées aux sauces pour leur saveur amère.

❖ Huile des graines

Connue sous le nom d'huile de ben ou huile de behen qui est particulièrement riche en acide oléique (70%). Elle peut être aussi employée en cuisine tandis que les huiles végétales classiques contiennent généralement de l'ordre de 40% de cet acide (*Abdulkarim et al., 2005*). Les graines sèches peuvent être réduites en poudre et utilisées pour assaisonner les sauces.

❖ Racines

Des jeunes plants peuvent également être séchées et réduites en poudre pour relever l'assaisonnement avec un goût proche de celui du raifort. Une sauce épicée et goûteuse peut aussi être préparée en les cuisinant au vinaigre.

❖ Jeunes gousses

Vertes sont très goûteuses et peuvent être consommées bouillies comme des haricots. Elles sont riches en leucine libre (*Foidl et al., 2001*).

III.6.1.2. Alimentation animale

Les agriculteurs ont ajouté les feuilles de *Moringa* à l'alimentation animale pour maintenir un cheptel sain (*Sarwatt et al., 2002 ; Fahey, 2005*) en utilisant le fumier et les légumes compostés pour la croissance des cultures (*Fahey, 2005*).

III.6.2. Domaine médical et pharmacologique

Toutes les parties (feuilles, Fleurs, fruits, écorces et racines) de *Moringa oleifera* ont de vertus médicinales confirmées par des années de recherches et d'études expérimentales dans les différents pays africains. Asiatiques et panaméricains (*Kooltheat et al., 2014*).

Aux Philippines, il est connu comme le « meilleur ami de la mère » en raison de son utilisation pour augmenter la production de lait des femmes et est parfois prescrit pour l'anémie (Estrella *et al.*, 2000 ; Siddhuraju et Becker, 2003).

Les métabolites secondaires sont connus par leurs activités biologiques nombreuses qui comprennent une activité antibactérienne, anticancéreuse, antifongique, analgésique, anti-inflammatoire, diurétique gastro-intestinale et antioxydant (Harborne, 1998 ; Bruneton, 1999).

III.6.2.1. Activité antibactérienne

Doughari *et al.*, (2007) ont rapporté une activité antibactérienne à partir des extraits aqueux, cétonique et éthanolique des feuilles de *Moringa oleifera*. Parmi les trois extraits utilisés, l'activité la plus élevée est obtenue avec l'extrait éthanolique et l'extrait aqueux a montré la moindre activité à 100mg/ml.

III.6.2.2. Activité antioxydante

L'extrait des feuilles de *Moringa oleifera* possède une activité antioxydant liée à la présence des différentes variétés d'antioxydants comme l'acide ascorbique, les flavonoïdes, et des caroténoïdes (Laleye *et al.*, 2015).

III.6. 3. Purification de l'eau

Les graines sont utilisées dans les procédés traditionnels de purification de l'eau. Ces graines contiennent en effet 30 à 40% d'une protéine de réserve chargée positivement et soluble dans l'eau : il s'agit d'un poly électrolyte naturel. Cette protéine est responsable d'un phénomène de réticulation et forme une sorte de maillage où sont piégées les bactéries, virus et matières organiques. Lesté de la sorte, ce maillage sédimente au fond, l'eau de surface devenant limpide et pure (Kabor *et al.*, 2013).

Les amandes de *Moringa* peuvent être broyées et l'extrait aqueux est utilisé pour purifier l'eau. Dans les pays en développement cet extrait aqueux peut substituer de façon viable les coagulants chimiques tels que le sulfate d'aluminium (Foidl *et al.*, 2001).

III.6. 3.1. Avantages, inconvénients et perspectives

La synthèse ci-dessous provient en grande partie des questionnaires renvoyés à PROPAGE par les participants à l'atelier international « Potentiel de développement pour les produits du *Moringa* ».

III.6. 3.1.1. Avantages

- Le coût de la graine de *Moringa* peut dans certains cas être compétitif par rapport aux flocculants industriels. Cependant on manque de recul et d'études économiques sur ce point.
- C'est un produit d'origine tropicale, intéressant pour les pays du Sud car ne faisant pas l'objet de taxes d'importation et ne nécessitant pas de paiement en devises.
- Les coagulants métalliques induisent une pollution qu'il faut contrôler, le *Moringa* ne contient pas de produits chimiques nocifs laissant des traces dans les boues et les eaux.
- L'utilisation de l'huile permet de rentabiliser l'épuration et la floculation serait meilleure après extraction de l'huile.
- L'efficacité du *Moringa* comme flocculant ne dépend pas du pH de l'eau, ce qui évite d'avoir à utiliser des rectificateurs d'acidité.
- Les erreurs de dosages n'induisent pas de toxicité.

III.6. 3.1.2. Inconvénients

- Les graines mises en solution relèguent de la matière organique, ce qui facilite la croissance bactérienne.
- Approvisionnement dépendant d'une production agricole, nécessité de constituer des stocks pour parer aux fluctuations. Les conditions de stockage optimales doivent être déterminées.
- Les concentrations en coagulant sont supérieures à celles requises avec le sulfate d'alumine.
- La décantation à des températures basses est difficile, les floes d'alun sont plus solides.

III.6. 3.1.3. Propositions pour encourager l'utilisation du *M. Oleifera* comme flocculant

- Déterminer les conditions dans lesquelles le *Moringa* est économiquement compétitif : le flocculant doit être suffisamment bon marché pour les utilisateurs d'eau mais aussi rentable à produire pour l'agriculteur.
- Créer des réseaux de commercialisation.
- Améliorer la technologie de transformation des graines, de conservation de la poudre.
- Créer un système de traitement à grande échelle.
- Standardiser le produit.

- Stériliser le produit.
- Extraire le composant actif pour diminuer le volume.
- Améliorer la diffusion et la qualité de l'information sur le traitement de l'eau avec Moringa.

III.6.4. Accélérateurs de croissance végétale

L'extrait à l'éthanol à 80% obtenu à partir des feuilles de Moringa contient des facteurs de croissance (hormones de type cytokinine). Cet extrait peut être utilisé en aspersion sur les feuilles pour accélérer la croissance des jeunes plantes. Cette phytohormone augmente aussi la robustesse des plantes et leur résistance aux maladies.

Par ce traitement, les fruits sont plus abondants et plus gros. Ce qui augmente le rendement des arbres lors de la récolte. L'utilisation de cet extrait permet d'augmenter globalement les rendements de 20 à 35% (Foidl *et al.*, 2001).

III.6.5. Utilisations industrielles

L'huile de graine est utilisée dans les arts et pour la lubrification des montres et autres machines délicates et est utile dans la fabrication de parfums et de coiffures. Les utilisations industrielles de l'arbre de la baguette incluent l'utilisation de son bois dans les industries du papier et du textile. L'écorce est utilisée dans l'industrie du tannage (Foidl *et al.*, 2001).

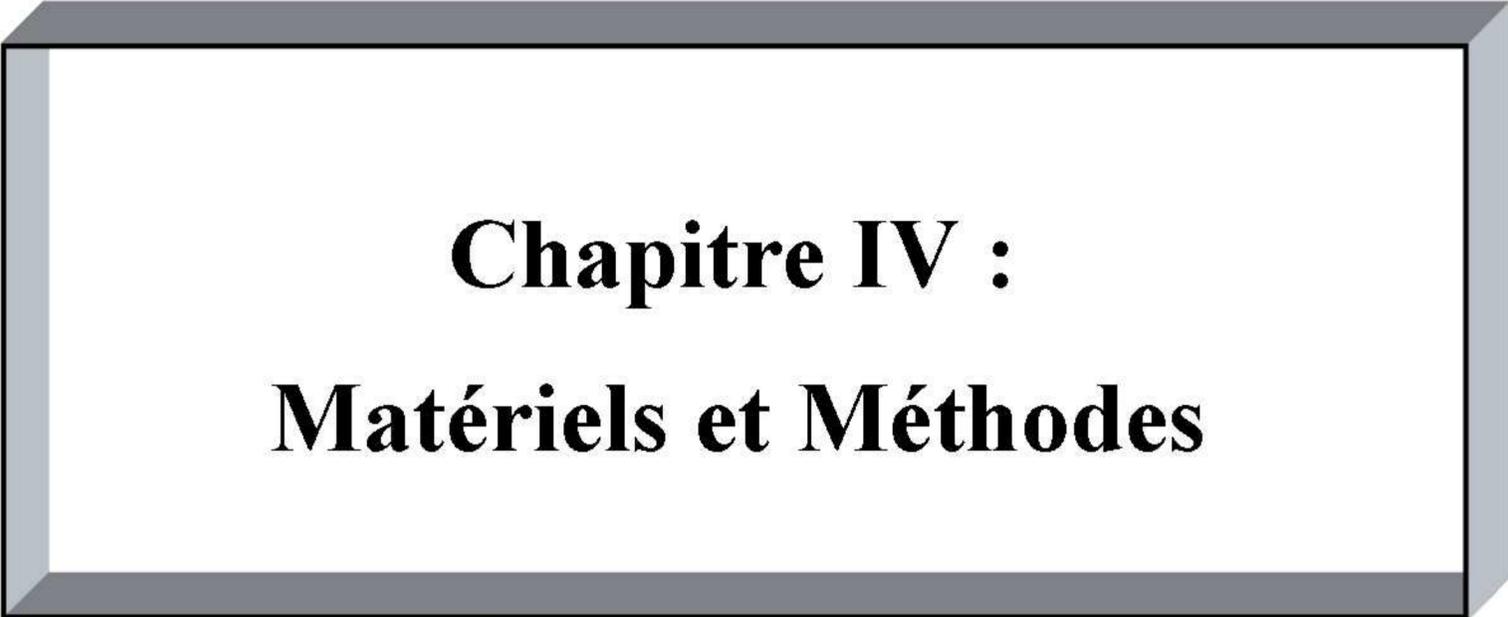
III.6.6. Autres utilisations

M. Oleifera possède d'autres pouvoirs ; ses graines sont utilisées pour purifier le lait et le miel. En raison de sa teneur en composés phytohormones de type cytokinines. Elle peut être utilisée comme un engrais pour activer la croissance des arbres et les rendements des plantes (Pamo Tendonkeng *et al.*, 2002 ; Gnangle *et al.*, 2010).

Conclusion

Pour mieux connaître la plante que nous utilisons pour la suite de notre travail nous avons réservé ce chapitre pour définir le *Moringa Oleifera* en citant sa prévenance, les parties dont elle se compose (feuilles, grains, amandes, racine, fleurs ...) nous présentant ainsi leurs compositions nutritionnelles.

Cette plante miraculeuse comme clarifiant de l'eau (coagulant) présente des avantages indispensables mis à part qu'elle soit d'origine naturelle, qui ne présente aucun danger pour l'environnement.



Chapitre IV :
Matériels et Méthodes

IV.1. Présentation du sujet

Les eaux susceptibles d'être utilisées comme eaux potables sont les eaux souterraines mais également, et de plus en plus, les eaux superficielles. Si les premières ne nécessitent par le passé qu'un simple traitement de désinfection, il n'en est pas toujours ainsi actuellement ; quant aux secondes, elles ne sont rendues potables que par des traitements longs et coûteux. En effet, les eaux de surface contiennent, a des concentrations très différentes, de nombreux composés organiques et minéraux dissous et en suspension (**Achour, 2001**).

Dans le présent travail nous avons effectué deux types d'essais, les premiers concernant la coagulation-floculation chimique, qui sont effectués au niveau de la station de traitement de l'eau du barrage Tichy-Haf ainsi celle de la STEP de Souk-El-Tenine, les seconds (coagulation-floculation) avec un bio-coagulant (M.O), dans le but de choisir le coagulant adéquat ainsi que la concentration optimale de ce dernier qui nous permet l'élimination de certains polluant pour le choix de traitements. Les paramètres physico-chimiques sont mesurés afin d'évaluer le rendement des traitements...etc

Le choix du coagulant est la clé pour une opération réussite, c'est la raison pour laquelle les graines de *M.O* a été achetée fraîche au marché local et choisie d'une façon homogène, pièce par pièce en utilisant trois critères qui sont : la dimension, le degré de maturation (ni crue ni trop mure), et la morphologie externe (surface sainte).

Comment peut-on obtenir une poudre à partir des grains de *Moringa Oleifera* ?

Quelle est le coagulant le plus adéquat pour le traitement des eaux de surface et des eaux usées ?

IV.2. Présentation de la région d'étude

L'eau superficielle acquiert les caractéristiques du milieu dans lequel elle circule. Cette présentation de la région d'étude nous explique la provenance des eaux emmagasinées dans le lac du barrage qui sont ensuite traitées au niveau de la station de traitement.

IV.2.1. Délimitation du bassin versant de l'oued Bousellam

L'oued Bousellam représente l'axe hydrographique le plus important du bassin versant de la Soummam. Il constitue, avec l'oued Sahel à l'Ouest, l'un des deux principaux affluents de la Soummam ; il draine 54.9 % de la superficie totale du bassin à la mer (signalé en rouge sur la figure 4.1). La Superficie du bassin versant est de 4300 km², avec une longueur de 159 km et un volume régularisable annuellement de près de 38 Hm³. Il est constitué par la réunion de l'oued Gassar qui longe le piémont Sud du djebel Meghris (altitude 1737m) et l'oued Ouricia qui se trouve dans la partie Sud de ce djebel.

Il prend sa source à une altitude de 1100 m environ à cinq kilomètres au Nord-ouest de la ville de Sétif. Il s'étale approximativement entre les longitudes : 5° 20' 00'' et 5° 25' 00'' Est et 36° 10' 00" et 36°15' 00" Nord (**fig. 10**).

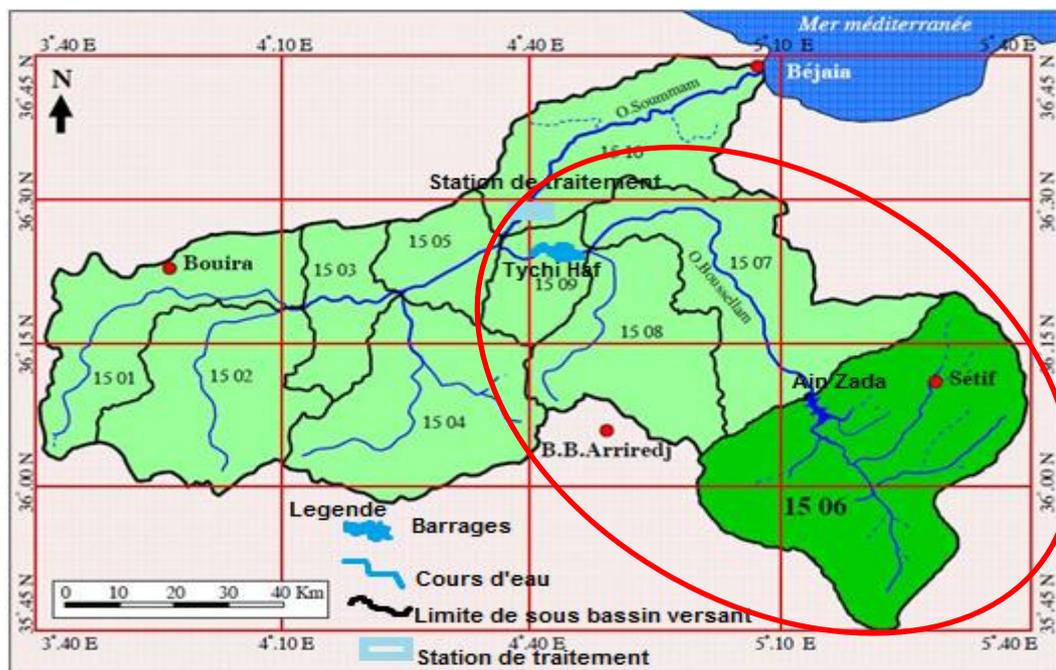


Figure 10 : localisation de la région d'étude, du barrage de Tychi-Haf et de la station de traitement des eaux (Djenba, 2015).

L'Oued Bousselam passe par plusieurs agglomérations dans la région Nord de Sétif (Bougaâ, Hammam Gergour, Oued Sebt, Charchar et Béni Ourtillene) et la région Sud (Farmatou, Sidi el khier, Mezloug et Hammam Ouled Yelles). Historiquement, cet Oued a de tout temps été considéré comme un milieu humide de premier plan par les riverains et notamment par les habitants de la ville de Sétif. Il était exploité aussi bien pour la baignade, la pêche, le loisir et même les villégiatures. L'eau du barrage est transportée avec une conduite métallique et l'eau s'écoule par gravité pour arriver à la station de traitement située à 18 Km du barrage au lieu-dit Ichoukar, commune d'Ait-R'Zine (Smail et Touati, 2018).

IV.2.2. Présentation du barrage Tichy-Haf

Le barrage hydraulique en béton (type voûte/poids) est situé dans le village de Mahfouda, commune de Bouhamza dans la wilaya de Bejaïa Algérie. Sa réalisation a débuté dans la fin des années 1990 par l'entreprise Hydrotchnika (Ex. Yougoslavie). Mais il a connu beaucoup de retard jusqu'à l'intervention, pour sa finition, de l'entreprise COSIDER (Travaux Publics). Mis en service en 2009, le barrage de Tichy-Haf produit 47 millions de m³/an destinés à l'alimentation en eau potable du couloir Akbou-Béjaïa et 43 millions de m³/an pour l'irrigation. Il est composé essentiellement de quatre ouvrages, à savoir un barrage-voûte de 90 mètres de hauteur et d'une capacité de 80 millions de m³. La **Figure 11** représentant une vue du barrage de Tichy-Haf

Le barrage a créé une réserve d'eau sur le bas oued Boussellam qui vise l'allégement des contraintes hydriques sur la vallée du sahel et de la basse Soummam. Le barrage représente l'une des sources les plus importantes pour l'alimentation en eau potable et industrielle du couloir Akbou-Bejaïa (Smaili et Touati, 2018). Il est équipé d'une station de traitement qui débite 120 000 m³/j. La conduite de transfert est constituée de deux tronçons. Le tronçon amont d'une longueur de 12.6 Km, de diamètre 1800 mm et le tronçon aval avec une longueur de 65 Km et d'un diamètre qui varie entre 900 à 1200 mm (Ksouri, 2008).



Figure 11 : Photos représentant une vue du barrage de Tichy-Haf (Belkhiar, 2019).

IV.3. Présentation de la station de potabilisation des eaux de Tichy-Haf

L'approvisionnement en eau potable et industrielle du couloir d'Akbou –Bejaia est assuré à partir du barrage de Tichy-Haf dont l'eau brute est acheminée vers une station de traitement des eaux potables pour subir les traitements appropriés avant sa distribution (Smali et Touati, 2018).



Figure 12 : Photographie de l'intérieur de la station de Tichy-Haf (Smali et Touati, 2018).

La station de Tichy-Haf est située à Ichoukar commune d'Ait R'zine, daïra d'ighill Ali. Elle a été mise en fonctionnement en 2010, et est gérée par L'ADE (Algérienne des eaux).

La station de potabilisation, d'une capacité de 120 000 m³/jour, est approvisionnée en eau brute à partir du barrage de Tichy-Haf, grâce à une conduite de 14 km de longueur et de 1m de diamètre. L'eau brute subit les traitements appropriés avant distribution. Elle est destinée à l'alimentation de 23 communes : Akbou, Tamoukra, Amalou, Ouezellagen, Bouhamza, Chemini, Seddouk, Souk Oufela, Tibane, M'Cisna, Sidi Ayad, El Flay, Timezrit, Tinebdar, BeniDjelil, Sidi-Aich, Semaoun, Ilmaten, Amizour, El kseur, Oued Ghir, Barbacha, Bejaia (Algérienne Des Eaux, 2019). La figure 13 montre le schéma du processus de traitement des eaux au niveau de barrage de Tichy-Haf.

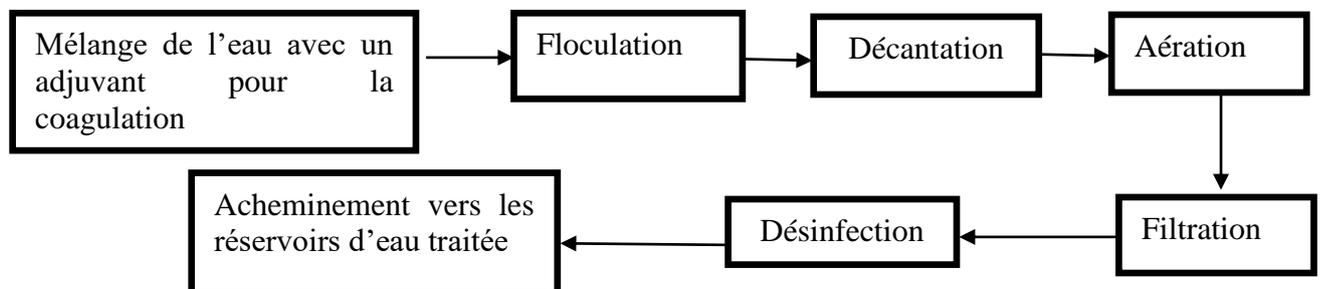


Figure 13 : Schéma du processus de traitement des eaux au niveau de barrage de Tichy-Haf (Ahmane et Bouzarari, 2005).

IV.4. Echantillonnage

IV.4.1. Méthodologie

Notre étude consiste en une comparaison de deux coagulants, chimique et naturel (sulfate d'alumine et poudre de graines de *Moringa oléifera*) en vue de déterminer l'efficacité du traitement sur la qualité de l'eau superficielle emmagasinée dans le barrage Tichy-Haf. L'approche utilisée est la caractérisation physico-chimique des eaux avant et après traitement par les deux coagulants cités. Une comparaison des résultats d'analyses obtenus nous permettra d'identifier lequel des deux coagulants est le plus efficace dans le traitement de l'eau.

Dans la première partie du travail, nous avons suivi la qualité de l'eau traitée avec le sulfate d'aluminium utilisé à des concentrations de 5mg/l, 8mg/l, 10mg/l, 15mg/l, 20mg/l et 25mg/l. Des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées sur l'eau brute, à l'entrée de la station, et l'eau traitée, à la sortie de la station. Ces analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ADE situé à la station de traitement durant notre période de stage (allant de 18/03 au 13/05).

La seconde partie du travail, consiste à effectuées les analyses physico-chimiques au niveau des laboratoires de l'université de Bejaia (Bloc 11 de la faculté de technologie et bloc 12 de la faculté des sciences de la nature et de la vie). Il s'agit d'un traitement de l'eau du barrage avec la poudre de graines de *Moringa oleifera*, comme coagulant, préparée selon un protocole préétabli (**Saint Sauveur et Chantelle, 2005**) à des concentrations volumiques de 10ml, 20ml, 30ml, 40ml et 50ml. Pour cela, nous avons utilisé la méthode dite « Jar-test ». L'eau traitée est ensuite analysée pour déterminer sa composition physico-chimique.

IV.4.2. Techniques de prélèvement

La technique de l'échantillonnage est primordiale car il conditionne la pertinence et la fiabilité des résultats de l'analyse. Il doit être précis mais également le mieux planifié dans le temps et dans l'espace pour qu'il soit le plus représentatif de l'échantillon d'eau à étudier.

Dans notre cas, l'échantillonnage a été fait au niveau de la station de traitement de Tichy-Haf :

- Prélèvement : le 13/05/2019 à 8 :00 heures.

IV.4.3. Flaconnage

Pour éviter certaines réactions avec l'eau à analyser, l'utilisation des flacons bien rincés plusieurs fois avec l'eau distillée, puis avec l'eau à analyser est très importante, sans oublier de fermer hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon. Dans notre cas, nous avons utilisé des glacières pour le transport des échantillons prélevés de la station de traitement de Tichy-Haf jusqu'au laboratoire d'écologie situé au Bloc n°12 de l'université Abderrahman Mira de Bejaia où ils sont stockés dans un frigidaire.

IV.4.4. Points de prélèvement

Dans notre travail, le prélèvement se fait dans deux points distinct : le premier est le point «A» situé à l'entrée de la station, point d'arrivée de l'eau brute. Le deuxième point de prélèvement est le point «B» représentant la sortie de l'eau traitée. Nous avons prélevé de l'eau filtrée à la sortie de la station dans des conditions réglementaires d'hygiène et d'asepsie (Fig. 14).



Figure 14 : Localisation des deux points de prélèvement d'eau au niveau de la station (A et B).

IV.5. Analyses physico-chimiques des eaux de surface au laboratoire de la station de traitement de Tichy-Haf

Les paramètres analysés sont :

- **Paramètres physico-chimiques** : Température, pH, turbidité, conductivité, salinité, teneur en sel dessous et résidu sec.
- **Paramètres de minéralisation globale** : Dureté totale, titre alcalimétrique, titre alcalimétrique complet, chlorures, calcium, magnésium et sulfates.
- **Paramètres de pollution** : Nitrates et phosphates.

IV.6. Méthodes d'analyse effectuées au laboratoire de la station de traitement de Tichy-Haf.

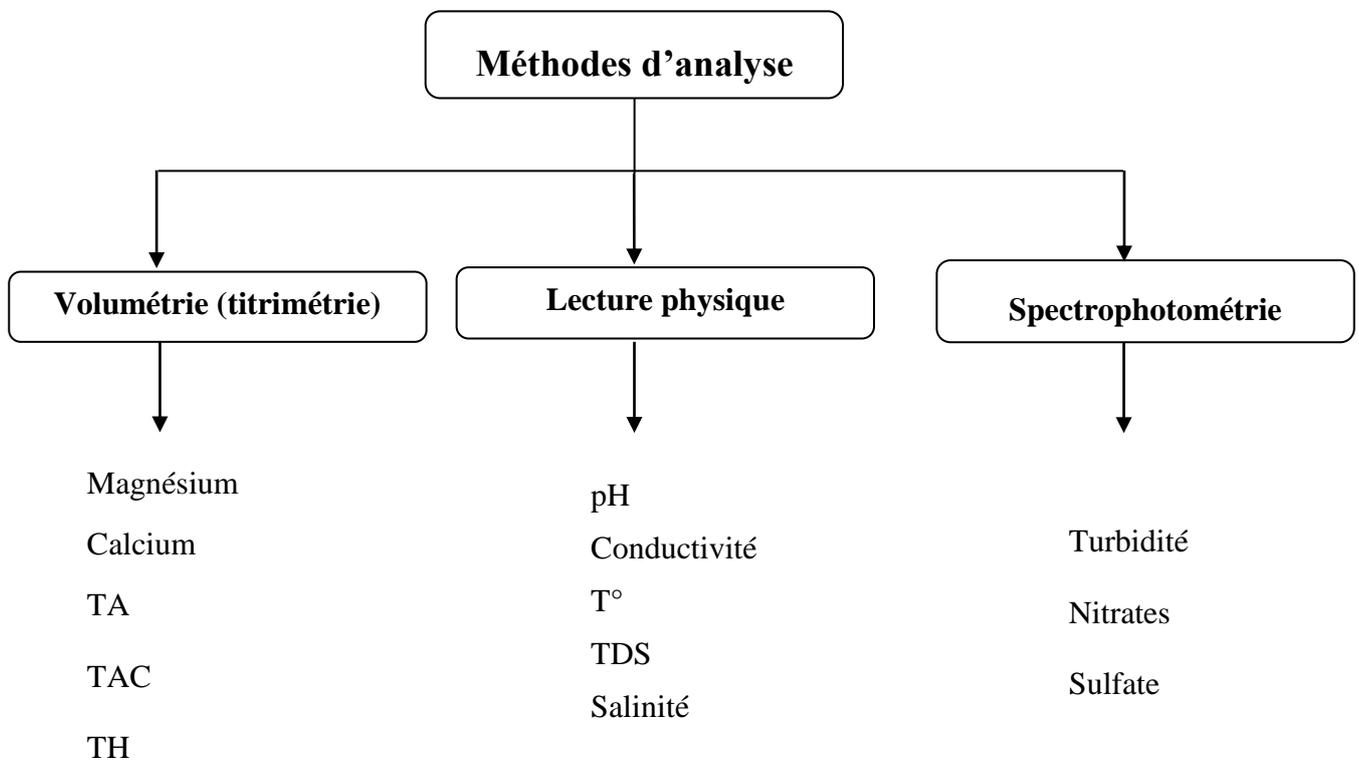


Figure 15 : Schéma des méthodes d'analyses physico-chimiques effectuées au laboratoire de la station de traitement de Tichy-Haf.

IV.6.1. Analyses effectuées aux laboratoires de l'université

Par manque de réactifs et de matériels à l'université, nous n'avons pu analyser que quelques paramètres. Afin de pouvoir faire une comparaison des deux modes de traitement, chimique et biologique, nous avons ciblé quelques paramètres indicateurs de pollution tels que :

- **Paramètres physico-chimiques** : Température, le pH, la turbidité, la conductivité, la salinité et la teneur en sel dessous.

- **Paramètres de minéralisation globale** : Dureté totale, titre alcalimétrique, titre alcalimétrique complet, chlorures, calcium, magnésium et les sulfates.
- **Paramètres de pollution** : Nitrates, Zinc, Plomb, cadmium.

IV.6.1.1. Extraction de la poudre de *Moringa Oleifera*

Dans cette partie du travail, nous avons pu préparer une dilution à base de la poudre de *Moringa oleifera* comme la montre la figure ci-dessus, au niveau du laboratoire d'écologie situé au Bloc n°12 de l'université de Bejaia.

- **Protocole a suivre**

1. Décortiquer les graines (retirées les ailes et l'enveloppe autour de l'amande) pour avoir des graines blanches ou jaunâtre (amandes).
2. Broyer les amandes et tamiser la poudre avec un tamis de 0.8mm.
3. Mélanger la poudre obtenue avec de l'eau propre pour former une pâte.
4. Diluer la pâte avec une eau propre pour avoir une solution mère à 2% brasser vigoureusement la solution durant 5 minutes pour faire réagir les éléments chimiques de la poudre.
5. Filtrer à travers un tissu de mousseline, pour retirer le matériel insoluble, pour avoir la solution mère qui a une apparence laiteuse (Saint Sauveur et Chantelle, 2005) (Fig. 16)



Figure 16 : Photos représentant les étapes de la dilution de la poudre de *Moringa Oleifera* dans l'eau (Belkhiar, 2019).

- 1) Graines de M.O non décortiquées ; 2) Graines de M.O. Décortiquées ; 3) broyage des graines d M.O ; 4) Tamis contenant de la poudre de M.O; 5) peser de 20g de la poudre

de M.O ;6) pâte formée à partir de la poudre de M.O. ; 7) Filtration à traverser un tissu de mousseline ; 8) Solution mère laiteuse de la poudre de M.O

IV.6.2. Dispositifs expérimentaux (Jar-Test)

But

Le Jar-test est un appareil qui permet de déterminer la concentration optimale du coagulant pour le processus de coagulation-floculation. Toutes les doses sont exprimées en poids de produits (solution ou poudre).

Déroulement de l'expérience

Le mode de travail de cet appareil se fait selon le protocole suivant :

- 1) On lave bien les béchers et s'assurer qu'il ne reste aucune trace de détergent. On remplit les béchers avec l'eau à tester (1000ml). On place chaque bécher sous l'agitateur et on submerge les palettes ;
- 2) On met le moteur en route à la vitesse de 120 tr/min. On injecte le coagulant le plus rapidement possible dans chacun des béchers. Les doses sont
- 3) Après un temps total d'agitation rapide de 5 mn ; on réduit la vitesse à une vitesse lente de 30 tr/mn pendant 15 mn ;
- 4) On cesse toute agitation ; et on retire les palettes ;
- 5) Après 1 h et 30 min de décantation de l'eau brute traitée avec le *Moringa oleifera*, ce dernier est récupéré, filtré sur papier filtre puis stocké dans des bouteilles de 500ml est conservé au frais.



Figure 17 : photo d'un dispositif Jar-Test (Belkhiar, 2019).

IV.7. Méthodes d'analyse

Les analyses physico-chimiques sont toutes effectuées aux laboratoires en utilisant des appareils appropriés. Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons de 500 ml afin de mesurer les paramètres, à savoir la turbidité (FTU), la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), les TDS (mg/l), la

salinité (mg/l) et le pH, résidu sec à 105°C, MES, NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , TH, TA, TAC, Zn, Pb, Cd.

IV.7.1. Potentiel d'hydrogène (pH) et de la température

- **But** : C'est un paramètre physique qui correspond à la concentration d'ions hydrogènes (H^+) présents en solution dans l'eau. Il détermine l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. (Lafleur et Fortier, 2008) sur une échelle de 0 à 14. La valeur 7 étant le pH neutre.
- **Principe** : La détermination électro-métrique du pH s'effectue par mesure de la différence du potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution. Cette différence de potentiel est une fonction linéaire du pH de la solution.
- **Appareillage** : La mesure est réalisée à l'aide d'un pH-mètre de marque Hanna muni d'une cellule en verre avec deux électrodes combinées, étalonné avec des solutions tampon pH = 4 puis pH = 7 (**fig. 17**).



Figure 18 : Photo d'un pH-mètre type HANA (Belkhiar, 2019).

IV.7.2. Température

- **But** : La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).
- **Principe** : La température est déterminée en même temps que la conductivité électrique en utilisant le multi-paramètre dévoiler dans la **figure18**.

IV.7.3. Conductivité électrique

- **But :** Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.
- **Principe :** La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre d'un cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique ; l'unité de mesure est le micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Degrément, 2005).

IV.7.4. TDS

C'est l'abréviation anglophone de « Total dissolved solid-equivalent » en français « solides dissous totaux » (SDT) pour mesurer les matières dissoutes dans une solution, notamment pour déterminer le degré de pureté d'une eau, de l'eau pure ou de l'eau ultra pure.

IV.7.5. Salinité

C'est la masse de sels (composée ioniques) dissous dans 1 l d'eau, c'est-à-dire leur teneur globale en sels. Elle s'exprime en g par kg d'eau. L'eau douce et l'eau salée contiennent de nombreux sels minéraux, présents en concentration différentes.

- **Appareillage :** Nous utilisons un appareil multi-paramètres pour mesurer les trois paramètres (Température, conductivité électrique, TDS, salinité). Cette appareil est représenté dans la **figure 19**.



Figure 19 : Photo de multi-paramètre model Consort C6030de laboratoire (Belkhiar, 2019).

IV.7.6. Turbidité

- **But :** La turbidité est une notion d'optique qui dépend de la diffusion de la lumière dans un milieu liquide le plus souvent l'eau. Elle est en relation avec la mesure des matières en

suspension. Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales, d'origine minérale et permet de juger la qualité des eaux épurées.

- **Principe :** La turbidité d'une eau est causée par des matières non dissoutes (limon, argile, algue, grain de silice, micro-flocs ...). Celles-ci atténuent la radiation incidente et les particules insolubles diffusent la radiation de façon inégale. L'appareil employé fonctionne sur le principe de la mesure diffusée. La longueur d'onde de la radiation incidente est de 860nm comme recommandé dans la méthode ISO 7027 et ce, afin d'éviter l'influence des matières dissoutes absorbant la lumière. La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.
- **Appareillage :** La turbidité a été mesurée avec un turbidimètre de type HANNA HI 88713 représentée par la **Figure 19**.



Figure 20 : Photo du turbidimètre de type HANNA 88713 (Belkhiar, 2019).

IV.7.7. Résidu sec

- **But :** La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu de l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée, le résidu correspond alors aux matières dissoutes.
- **Principe :** l'évaporation au bain d'eau bouillante d'un volume d'eau choisie en fonction des quantités de matières fixes présentes, dessiccation à l'étuve à température donnée et pesée du résidu. Le résidu sec représente le taux des éléments minéraux recueillis après évaporation d'un échantillon d'eau à 105°C. Selon les quantités recueillies, elles sont classifiées comme suit :
 - Résidu sec > 1500 mg/l : eau riche en sels minéraux ;
 - 1500mg/l > résidu sec >500mg/l : eau moyennement minéralisée ;
 - 500mg/l > résidu sec >50mg/l : eau faiblement minéralisée ;
 - Résidu sec < 50mg/l : eau très faiblement minéralisée.

- **Expression des résultats**

Les résultats sont donnés en mg/l :

$$R_s = [(P_p - P_v)/V_{ech}] \times 1000 \text{ mg/l}$$

Où :

P_p : poids plein de la capsule après évaporation totale de l'eau et séchage à 105°C.

P_v : poids vide de la capsule.

V_{ech} : volume de l'échantillon d'eau.

IV.7.8. Dosage volumétrique

La titrimétrie ou titrage volumétrique est une méthode de dosage utilisée en chimie analytique afin de déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution (ou titre d'une solution). Elle consiste à utiliser une solution de concentration connue (appelée titrant) qui permet de neutraliser une espèce contenue dans la solution inconnue (appelée analyte ou espèce titrée). D'autres méthodes sont rarement utilisées, comme le titrage gravimétrique.

IV.7.8.1. Dureté totale (TH)

- **But** : Cette méthode d'essai a pour objet de déterminer la somme des concentrations en calcium et magnésium d'une eau.
- **Principe** : Le titre hydrotimétrique (T.H. ou G.H. en allemand pour GesamtHärte), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en ppm m/V (ou mg/l) de CaCO_3 ou en degrés français (symbole °F) en France.

Généralement, l'eau est souvent simplement classifiée comme l'eau « douce » ou « dure ». En général, les valeurs suivantes s'appliquent à ces termes :

- $\text{TH} < 5^\circ\text{F}$ (50 mg/l de CaCO_3) eau très douce ;
- De 5 à 12°F (50 – 120 mg/l de CaCO_3) eau douce ;
- De 12 à 24°F (120 – 240 mg/l de CaCO_3) eau dure moyenne ;
- De 24 à 36°F (240 – 360 mg/l de CaCO_3) eau dure ;
- $\text{TH} > 36^\circ\text{F}$ (360 mg/l de CaCO_3) eau très dure.

- **Expression des résultats**

$$\text{TH} = \frac{0.02 \cdot (a - b)}{V_{ech}} \cdot 50 \cdot 1000 \text{ mg de } \text{CaCO}_3$$

a : volume de l'EDTA versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de l'EDTA versé pour le blanc (eau distillée) ;

V_{ech} : Volume d'eau a analysé.

(10mg/l de $CaCO_3 = 1^\circ F$)

IV.7.8.2. Dureté calcique ($TH_{Ca^{2+}}$)

- **But** : Cette méthode d'essai a pour objet la détermination du dosage du calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA.
- **Principe** : Le titrage des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet

- **Expression des résultats**

$$TH_{Ca} = [Ca^{2+}] = \frac{0.02 * (a - b)}{V_{ech}} * 50 * \frac{1000mg/l}{V_{ech}} \text{ de } CaCO_3$$

a : volume de l'EDTA versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de l'EDTA versé pour le blanc (eau distillée) ;

V_{ech} : volume d'eau a analysé.

(10mg/l de $CaCO_3 = 1^\circ F$).

IV.7.8.3. Dureté magnésienne (TH_{Mg})

On fait précipiter au préalable les ions calcium par l'oxalate de sodium à chaud, puis on titre les ions Mg^{2+} seuls avec l'EDTA en milieu tampon ammoniacal.

- **Expression des résultats**

$$TH_{Mg} = [Mg^{2+}] = \frac{0.02 * (a - b)}{V_{ech}} * 50 * 1000mg/l \text{ de } CaCO_3$$

a : volume de l'EDTA versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de l'EDTA versé pour le blanc (eau distillée) ;

V_{ech} : Volume d'eau a analysé.

(10mg/l de $CaCO_3 = 1^\circ F$).

IV.7.8.4. Titre alcalimétrique (TA)

- **Principe** : Il permet de connaître les teneurs de l'eau en carbonates et en bases fortes présentes dans l'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphtaléine qui vire du rose

fuchsia à l'incolore à un pH de 8,2. Le titre alcalimétrique s'exprime en ppm m/V (ou mg/l) de CaCO₃ ou en degrés français (°F).

IV.7.8.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)

- **Principe :** Il permet de connaître les teneurs de l'eau en bicarbonates HCO₃⁻ et en bases fortes (carbonates CO₃²⁻ et OH⁻) présents dans l'eau. Le dosage se fait d'abord en présence de phénolphtaléine, qui vire du rose-fuchsia à l'incolore à un pH de 8,2 (1er virage), puis on poursuit le titrage des bicarbonates en ajoutant le méthylorange comme indicateur coloré (2ème virage pH=4,3), la fin du titrage est indiquée par changement de la couleur du jaune à l'orange. Le titre alcalimétrique s'exprime en ppm m/V (ou mg/l) de CaCO₃ ou en degrés français (°F).
- **Expression des résultats**

$$\text{TAC} = \frac{0.02 * (a - b)}{V_{\text{ech}}} * 50 * 1000 \text{mg/l de CaCO}_3$$

D'où :

a : volume total de H₂SO₄ versé au deux virages pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de H₂SO₄ versé pour le blanc (eau distillée) ;

V_{ech} : Volume d'eau a analysé.

(10mg/l de CaCO₃ = 1°F).

IV.7.8.6. Dosage des chlorures (Cl⁻) par la méthode de « MOHR »

L'objet de la présente prescrit une méthode titrimétrique pour le dosage des chlorures dissous dans l'eau (méthode de Mohr).

- **But :** La détermination des chlorures se fait par la méthode de Mohr, en milieu neutre (le pH de l'eau à analyser doit être entre 5 à 9). Lors de notre étude, nous avons utilisé : une solution de nitrate d'argent AgNO₃ (0,1 N) et conservée dans l'obscurité et une solution indicatrice K₂CrO₄ (10 %).
- **Principe :** Les chlorures sont précipités en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge-marron caractéristique du chromate d'argent. Solution de chromate de potassium (indicateur coloré de la réaction de précipitation) (2.55*10⁻³N).

- **Expression des résultats**

$$[\text{Cl}^-] = \frac{0.2 * (a - b)}{V_{\text{ech}}} * 35450 \text{mg/l}$$

a : volume total de AgNO₃ versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de AgNO₃ versé pour le blanc (eau distillée) ;

V_{ech} : Volume d'eau a analysé.

IV.7.9. Détermination des nitrates (NO₃⁻)

- **But** : Cette méthode d'essai a pour objet le dosage spectrométrique des nitrates par la méthode au salicylate de sodium. Ce paramètre permet de montrer l'efficacité du traitement.
- **Principe** : En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique à 514 nm.
- **Expression des résultats**

En appliquant la loi de Beer-Lambert $A = l \cdot \epsilon \cdot C$, nous pouvons, par comparaison de l'absorbance de l'échantillon d'eau naturelle avec celle de l'étalon de nitrates, obtenir la relation exprimant la concentration en nitrates dans l'eau naturelle,

$$[\text{NO}_3^-] \text{ (mg/l)} = \frac{A_i}{A_e} * 10 \text{mg/l}$$

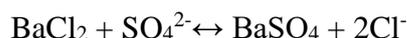
A_i : absorbance d'eau a analysé.

A_e : absorbance de la solution étalon.

- **Appareillage** : Spectrophotomètre UV-Visible (**Fig. 21**).

IV.7.10. Détermination des sulfates

- **But** : L'objet de la présente est de décrire la détermination des sulfates par spectroscopie.
- **Principe** : Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction :



Le dosage est effectué par spectrophotométrie à la longueur d'onde 420nm.

- **Appareillage** : nous utilisons un spectrophotomètre UV-V pour cette analyse (**Fig. 21**).



Figure 21 : Photo spectrophotomètre UV-Visible (Belkhiar, 2019).

IV.7.11. Analyse spectrophotométrique UV- Visible

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative et qualitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert. La densité optique des échantillons est déterminée à la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier, par un spectrophotomètre préalablement étalonné (Belhoucine et Azzi, 2016).

- **Principe** : Il est fondé sur la détermination de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde. On utilise donc un système de type monochromateur pour fixer la longueur d'onde et un photomultiplicateur vient enregistrer l'absorbance correspondante. Il suffit de faire varier la longueur d'onde sur une plage adéquate pour obtenir un spectre. Une source de lumière est rendue monochromatique à travers un système dispersant (prisme) ou un système diffractant (réseau). Le faisceau est dédoublé. Un faisceau traverse la cuve et l'autre sert de référence (passe à travers une cuve de solvant). Un photomultiplicateur enregistre le spectre de transmission $T = I / I_0$ puis traite l'information de façon à donner l'absorption. Le spectre est ensuite affiché et traité par un ordinateur qui détermine les différentes les longueurs d'onde d'absorption maximale ainsi que les absorptions correspondantes.

IV.7.12. Méthode de la courbe d'étalonnage

C'est une méthode universelle graphique appliquée en UV-Visible. Elle est basée sur la mesure des absorbances d'une série de solutions étalons dont les concentrations sont connues, et qui permettent de tracer la courbe étalonnage $A = f(C)$.

IV.7.13. Analyse par spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA)

- **But :** Les analyses effectuées par SAA afin de déterminé la composition de nos enchantions en traces métalliques suivants Cd, Zn et le Pb.
- **Principe :** En chimie analytique, la spectrométrie d'absorption atomique (Atomic absorption spectroscopy en anglais ou AAS) est une technique de spectroscopie atomique servant à déterminer la concentration de certains métaux dans un échantillon. Elle peut servir à mesurer la concentration de plus de 60 métaux différents en solution. Elle fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur le principe de la spectrophotométrie, elle conduit beaucoup plus à des données quantitatives. L'absorption est utilisée généralement pour faire un dosage, l'élément est connu, on détermine sa concentration par rapport à des étalons. L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, et on utilise à cet effet en général des solutions sauf dans le cas des hydrures. La détermination spectroscopique d'espèces atomiques peut seulement être réalisée à partir d'un échantillon à l'état gazeux, dans lequel les atomes individuels comme Cd, Zn et le Pb sont nettement séparés les uns des autres.

VI.8. Présentation de la zone d'étude de Souk-El-Tenine

Souk-El-Tenine est une daïra côtière de la Wilaya de Béjaïa en Algérie. Elle est située à 35 km à l'Est de la ville de Béjaïa, à 60 km à l'Ouest de la ville de Jijel et à 75 km au Nord-ouest de la ville de Sétif, installée au débouché de l'Oued Agrioun sur le littoral, au croisement des RN9 et RN43. L'agglomération est bâtie en plaine et s'étend sur le piémont des monts des Babors.

VI.9. Description de la STEP de Souk-El-Tenine

VI.9.1. Présentation de la STEP

La Station d'épuration de Souk-El-Tenine traite les eaux usées provenant du chef-lieu de Souk-El-Tenine et quelques villages limitrophes ainsi que la commune de Melbou. Les eaux brutes de la ville de Souk-El-Tenine sont issues d'un réseau de type unitaire et le dimensionnement de la capacité maximale hydraulique se base sur le débit de pointe du temps sec. La construction et la mise en place des équipements électromécaniques de cette station devaient se faire en deux phases permettant de traiter la pollution résultante d'une population équivalente de 47 580 en 2020 d'une capacité de 5710 m³ /j et une estimation de 62 500 Eqhen 2030 (AroucheetTouil, 2018). La **figure 22** représente la maquette de la STEP de Souk-El-Tenine.



Figure 22 : Maquette de la STEP de Souk-El-Tenine (Arouche et Touil, 2018).

VI.9.2. Historique de la STEP de Souk-El-Tenine

La STEP de Souk-El-Tenine a été réalisée dans le cadre de la modernisation et de la protection de l'environnement. La mise en service de la station était en 2012- 2013 par l'entreprise VATEC WABAG. Le suivi des travaux est assuré par la direction de l'hydraulique et enfin le suivie et la gestion par l'office national d'assainissement (ONA) de Béjaia de Janvier 2014 à ce jour.

VI.9.3. Situation géographique de la STEP

La STEP est située à 35Km Est de la ville de Bejaia et à 60Km à l'Ouest de la ville de Jijel à 75Km en Nord-ouest de la ville de Sétif, installée au débouché de l'oued Agrioune sur le littoral, au croisement des RN9 et RN43. Implantée dans une zone plus basse de la ville et à un niveau zéro d'altitude par rapport à la mer (Arouche et Touil, 2018).

VI.9.4. Caractéristiques de base de la STEP

Pour un bon fonctionnement et une fiabilité du traitement des eaux usées de la station d'épuration de Souk-El-Tenine une référence de données de normes est conçue à suivre.

a. Données générale

- Superficie de la STEP : deux (02) hectares
- Nature des eaux brutes : Domestiques, urbaines.
- Capacité équivalent habitant : 47 580 EqH
- Débit journalier : $5\,710\text{ m}^3/\text{jrs}$

b. Rendement de la station

En termes de performances, les rendements suivants sont généralement atteints (**Arouche et Touil, 2018**) :

- 98 % en DBO₅
- 97 % en MES
- 96 % en DCO.

VI.9.5. Caractéristiques des eaux usées épurées de la STEP

Les caractéristiques des effluents en sortie telles que définies dans le cahier des charges sont représentées dans le **tableau X**.

Tableau X : Normes de rejets de la STEP (**Ladjel, 2006**).

Paramètres	Données
MES	30 mg/l
DBO ₅	20 mg/l
DCO	120 mg/l
Azote ammonium (NH ₄ -N)	3 - 5 mg/l
Azote nitrates (NO ₃ -N)	8 - 10 mg/l
Huiles et graisses végétales	20 mg/l
Coliformes totaux	< 20 000 par 100 ml
Coliformes fécaux	< 12 000 par 100 ml
Streptocoques fécaux	< 2 000 par 100 ml

VI.9.6. Processus d'épuration des eaux usées de la STEP

Parmi les étapes de la dépollution, trois niveaux principaux sont définis : le prétraitement, le traitement physico-chimique et le traitement biologique. Le schéma de fonctionnement de la STEP de Souk-El-Tenine est représenté dans la **figure 23**.

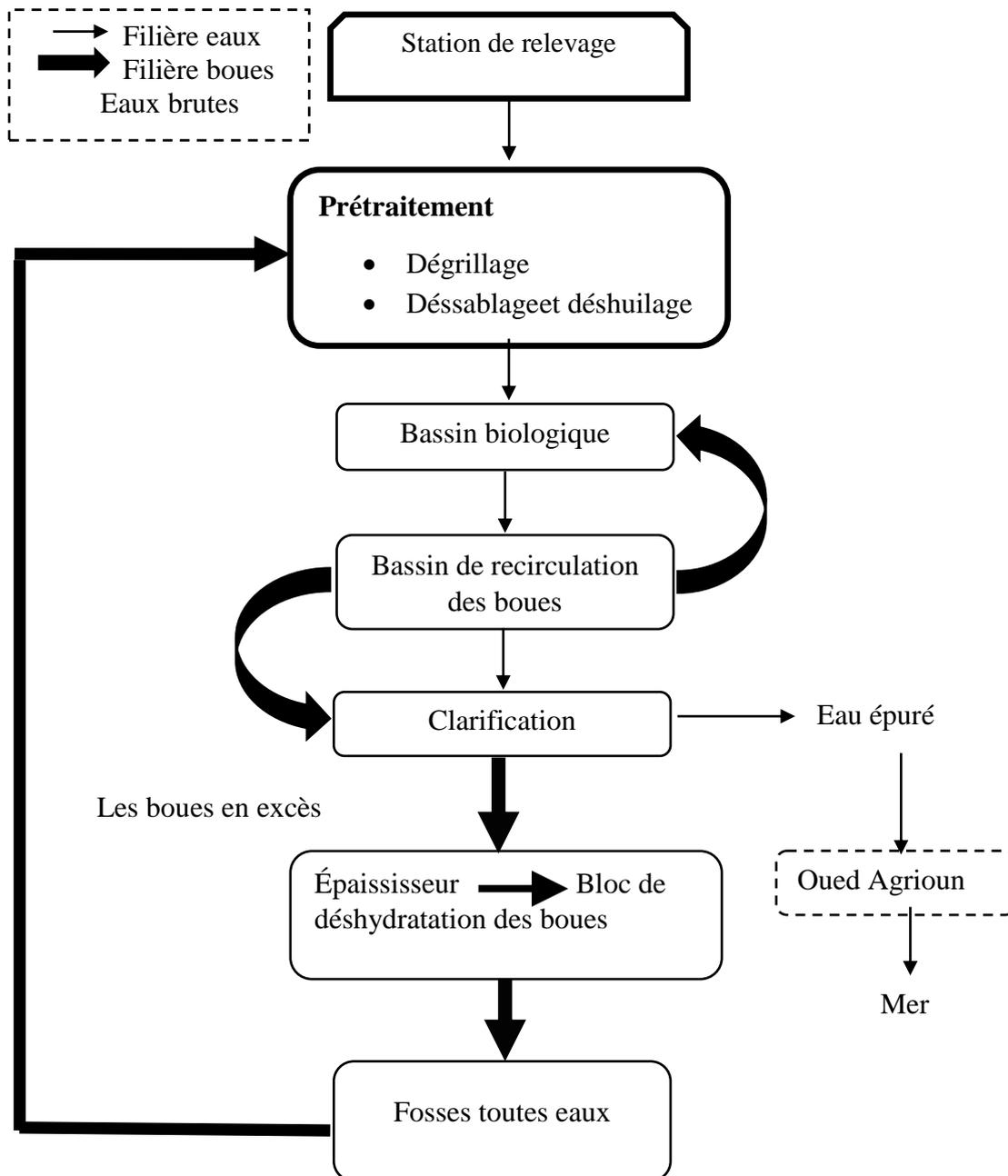


Figure 23 : Schéma de fonctionnement de la STEP de Souk-El-Tenine (Belkhiar, 2019).

VI.10. Echantillonnage

Dans toute station d'épuration des eaux usées, il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute (l'entrée) et de l'eau traitée (la sortie) afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement et le rendement d'élimination des pollutions pour donner une bonne

appréciation des performances épuratoires de la STEP. Nous avons suivi les paramétrées suivant : T°, pH, CE, turbidité, DBO₅, DCO, O₂dissous, MES, NO₃²⁻, PO₄³⁻, NTK, K et MO.

VI.10.1. Prélèvement des échantillons

Dans la station d'épuration de Souk-El-Tenine, l'échantillonnage des effluents liquides s'effectuent automatiquement et en continu à l'aide d'un dispositif automatique d'extraction. Nos prélèvements sont ceux de vingt-quatre heures.

VI.10.2. Lieu du prélèvement

Nous avons effectué deux prélèvements : le premier à partir du dispositif automatique d'extraction au niveau de l'entrée de la STEP et le deuxième, à partir du dispositif automatique d'extraction à la sortie de la STEP.

VI.11. Analyses effectuées au laboratoire de la STEP de Souk-El-Tenine.

La station de traitement des eaux usées de Souk El Tenine effectue quotidiennement ou chaque semaine des analyses de plusieurs paramètres qui sont :

a. Paramètres physicochimiques

- Température ;
- pH ;
- Conductivité ; suivi journalier
- Oxygène dissous (O₂ (dissous)) ;

b. Paramètres de pollution

- MES ;
- Turbidité ;
- DBO₅ en mg/l ;
- DCO en mg/l ;
- Azote total ;
- Azote nitrique (nitrates) ;
- Ortho-Phosphate ;
- Coefficient de biodégradabilité ;
- M.O

VI.12. Méthodes d'analyse

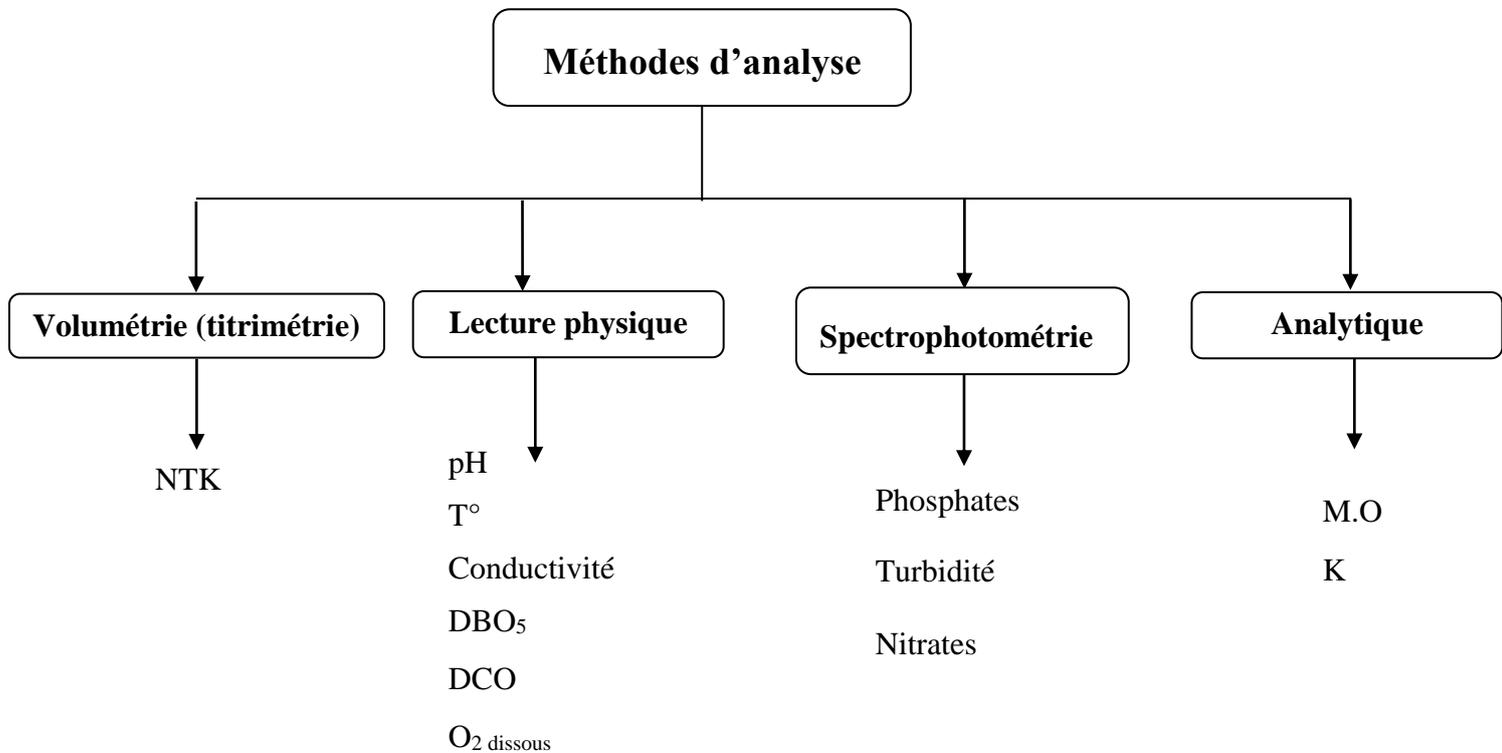


Figure 24 : Schéma de méthode et Analyses effectuées au laboratoire de la STEP.

VI.13. Analyses effectuées aux laboratoires de l'université

Nous avons ciblé la plupart des paramètres déjà effectuée au laboratoire de la STEP.

- **Paramètres physico-chimiques :** Température, pH, conductivité, TDS, salinité et $O_{2dissous}$.

- **Paramètres de pollutions :** Turbidité, MES, NO_3^{2-} , PO_4^{3-} , NTK, DBO_5 , DCO, K et MO.

Les principes des analyses de quelques paramètres ont été décrits précédemment (Etude expérimentale d'eaux de la station de traitement des eaux de barrage Tichy-Haft). Pour cela, nous ne présenterons ici que les principes des analyses non évoquées précédemment (MES, PO_4^{3-} , NTK, DBO_5 , DCO, K et MO).

VI.13.3. Méthodes d'analyse

Les analyses physico-chimiques sont toutes effectuées aux laboratoires du bloc 11 et 12 de l'université en utilisant des appareils appropriés. Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons de 500mL afin de mesurer les paramètres physico-chimiques.

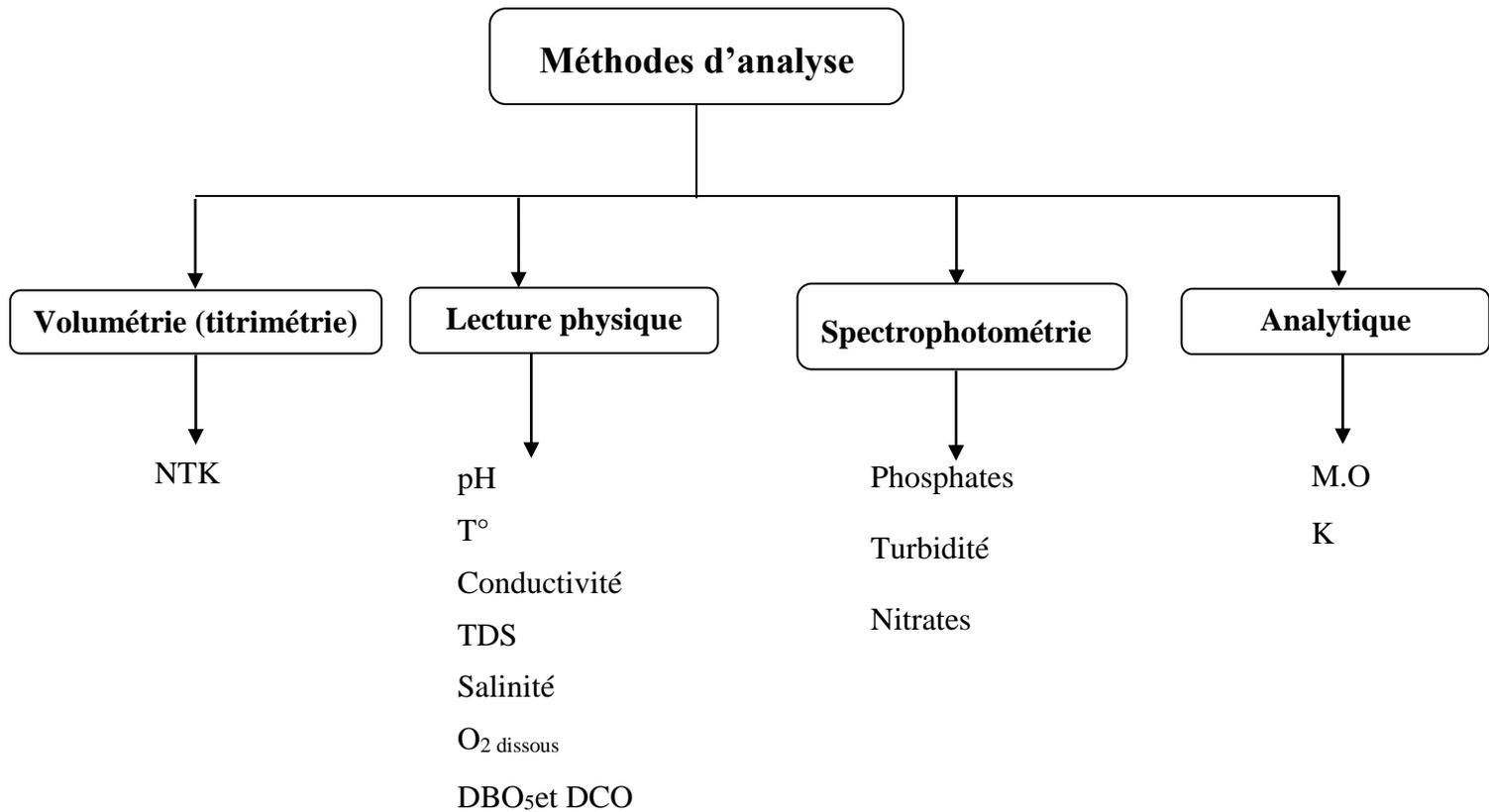


Figure 25 : Schéma de méthode et Analyses effectuées au laboratoire de l'université.

VI.13.4. Analyses physico-chimiques

VI.13.4.1. Détermination des matières en suspension (MES)

- **But** : Elle permet de déterminer la turbidité de l'eau, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique et donne une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau.
- **Principe** : L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé après séchage à 105°C par pesés différentielles jusqu'à masse constante.

- **Expression des résultats**

$$\text{MES} = \left[\frac{(P_p - P_v)}{V_{\text{ech}}} \right] * 1000 \text{mg/l}$$

D'où :

P_p : poids plein (filtre + MES) à 105°C.

P_v : poids vide (filtre) à 105°C.

V_{ech} : volume d'eau.

IV.13.4.2. Oxygène dissous (O₂dissous)

- **But** : La concentration en O₂ d'une eau peut donner lieu à diverses interprétations :
 - Indicateur de pollution : Les matières organiques ou minérales réduites sont oxydées biologiquement ou chimiquement dans l'eau, entraînant consommation de dioxygène et diminution de la concentration ;
 - Indicateur d'activité biologique : Le taux d'O₂ dissous dans l'eau peut être interprété comme résultat de l'activité photosynthétique ou respiratoire des organismes aquatiques ou comme potentialité de développement d'organismes aérobies ou anaérobies.
- **Principe** : Le système de mesure courant pour l'oxygène dissous consiste en un instrument de mesure et d'une sonde polarographique. La sonde constitue la pièce la plus importante et délicate du système. Cette sonde comprend une anode d'argent (Ag) enveloppée d'un fil de platine (Pt) qui agit comme cathode. Ceux-ci sont insérés dans une cartouche remplie d'une solution électrolytique de chlorure de potassium (KCl). L'extrémité de la cartouche comporte une membrane en téflon, matériau perméable au gaz, qui permet uniquement le passage de l'oxygène présent dans la solution. Par l'application de potentiel de 790 mV, l'oxygène présent dans la cellule est réduit en ion d'hydroxyde (OH) dans la cathode, et le chlorure d'argent (AgCl) est déposé sur l'anode. Cette réaction provoque un flux de courant dont l'intensité est proportionnelle à la quantité d'oxygène, convertit le courant en concentration correspondante à l'oxygène dissous.
- **Appareillage** : l'appareil utilisé est un Multi-paramètre (**Fig. 19**).

IV.13.4.3. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

- **But** : Elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées.
- **Principe** : L'effet principal d'un rejet de matières organiques biodégradables dans le milieu naturel est la consommation d'oxygène qui en résulte. La détermination de la DBO₅ a donc pour but d'évaluer cette nuisance et d'en estimer les effets.

La détermination de la DBO₅ consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à température constante de 20°C. Pendant un temps limité, par convention à 5 jours et à l'obscurité à l'aide d'un système de mesure Oxi Top. Ce système est plus pratique, rapide et donne des résultats représentatifs.

- **Expression des résultats**
 - Calculs des échantillons non inoculés

$$DBO_5(\text{mgo}_2/\text{l}) = A * d$$

Avec :

A : valeur par lecture directe sur l'appareil au bout de 5.25 jours d'incubation de l'échantillon.

d : facteur de dilution de l'échantillon.

- Les échantillons avec une d'inoculation

$$DBO_5(\text{mgo}_2/\text{l}) = (A - B) * f * d$$

Avec

B : lecture directe sur le DBO-mètre au bout de 5.25. Jours d'incubation du contrôle inoculé parallèle.

f : Facteur de multiplication dépend du volume de l'échantillon utilisé.

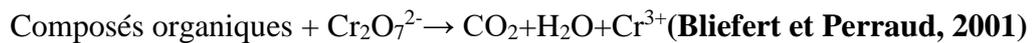
Appareille : La détermination de la demande en oxygène DBO₅ sur 5 jours se fait par une méthode instrumentale DBO mètre de marque OxiTop® IS12 (**fig. 26**).



Figure 26 : DBO mètre de type OxiTop® IS12 (Belkhiar, 2019).

IV.13.4.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

- **But :** La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organique avant et après un traitement physique, chimique ou biologique. D'une manière générale, on peut décrire ce phénomène par la réaction suivante :



- **Principe :** La détermination de la DCO comprend deux étapes :
 - **Etape 1 :** oxydation chimique de la matière organique réductrice contenue dans l'eau, par un excès de dichromate de potassium. ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure (HgSO_4), à ébullition à reflux pendant 1h30 dans un ballon muni d'un réfrigérant.
 - **Etape 2 :** après refroidissement, dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr (Norme NF T 90-101).
- **Appareillage :** nous utilisons un multi-paramètre de laboratoire pour déterminer ($\text{O}_{2\text{dissous}}$, DCO) (Fig. 19).

IV.13.4.5. Dosage des phosphates (PO_4^{3-})

- **But :** Détermination de l'efficacité du traitement.
- **Principe :** Les ions ortho-phosphates peuvent être dosés avec précision par colorimétrie, ils réagissent avec le Molybdate d'ammonium pour donner de l'acide molybdophosphorique. Cet acide donne lieu à diverses réactions colorées. La réduction bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique à une longueur d'onde de $\lambda = 690$ nm (Rodier, 2005).
- **Expression des résultats :** Tenir compte de la valeur lue pour le témoin et tracer la courbe d'étalonnage, les concentrations des échantillons en phosphates sont obtenues à partir de cette courbe d'étalonnage.

$$[\text{PO}_4^{3-}](\text{mg/l}) = \frac{C}{V_{\text{Ech}}} * 50\text{mg/l}$$

D'où :

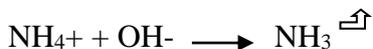
C : concentration obtenue à partir de la courbe d'étalonnage.

V_{Ech} : volume d'échantillon.

IV.13.4.6. Dosage de l'azote totale Kjeldahl par acidimétrie après distillation

- **But** : détermination de la concentration de l'azote totale présent dans l'eau
- **Principe** : le principe peut se décomposer en plusieurs étape :

1^{er} étape : libération du gaz ammoniac (NH₃) à partir des ion ammonium en milieu basique :



2^e étape : entrainement à la vapeur de l'ammoniac par distillation.

3^e étape : condensation des vapeurs ; l'ammoniac est piégé dans une solution d'acide borique :



4^eétape : dosage des ions ammonium par acidimétrie avec de l'acide sulfurique :



- **Expression des résultats**

$$[\text{NTK}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(\text{V}_i - \text{V}_e) * 0.02 * 14}{\text{V}_{\text{ech}}} * 1000 \text{mg/l}$$

Avec :

V_i : volume total de HCl versé au deux virages pour l'échantillon d'eau ;

V_e : volume de HCl versé pour le blanc (eau distillée) ;

V_{ech} : Volume d'eau a analysé.

Appareille : appareil de distillation et un titro-Line (**Fig. 27**)

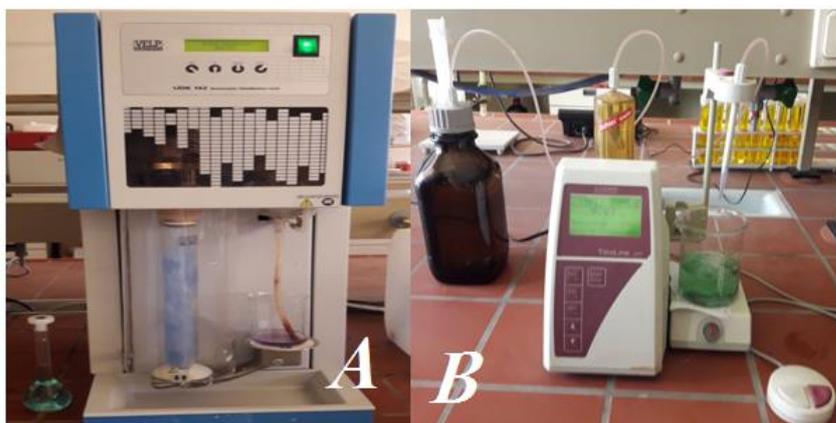
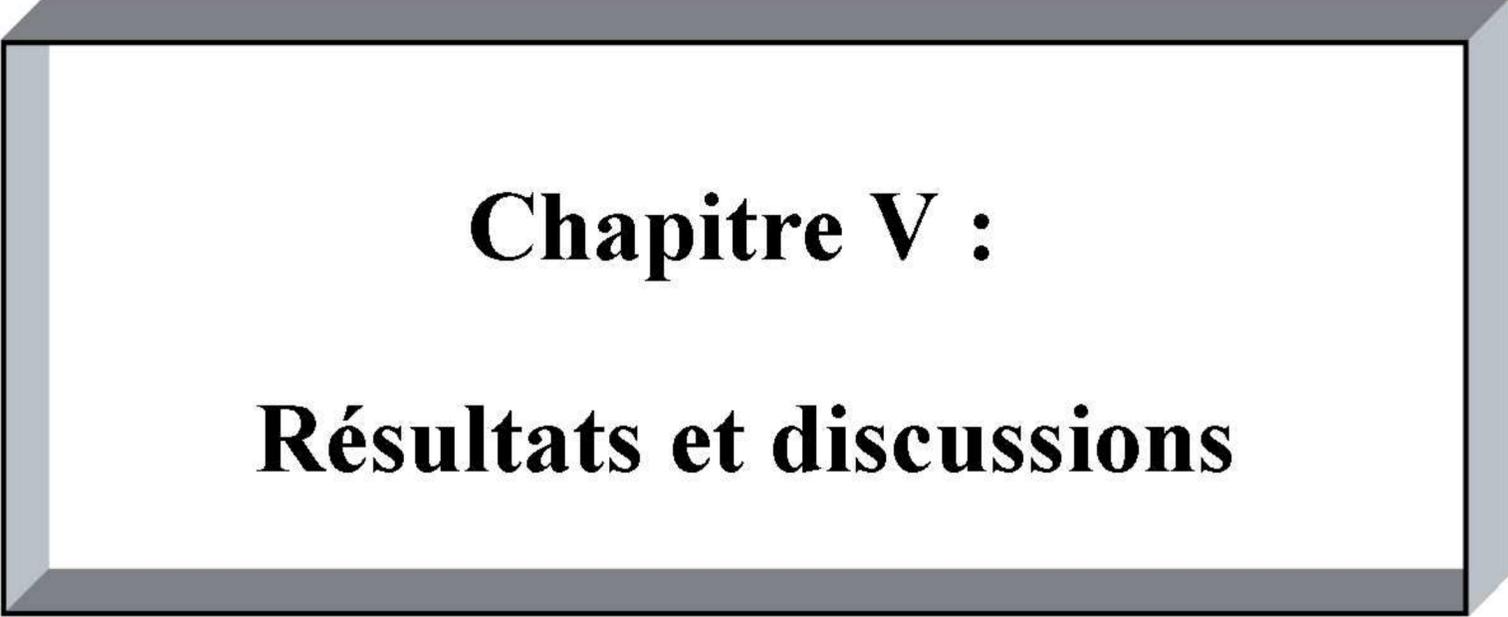


Figure 27: photo d'un appareil de distillation (A) et un titroLine (B) (**Belkhiar, 2019**)



Chapitre V :
Résultats et discussions

V.1. Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de la station de traitement des eaux de barrage Tichy-Haf

Tableau XI : Résultats des paramètres physicochimiques des eaux traitées avec les sulfates d'aluminium et le *M. Oleifera*

Paramètres	N.OMS	Unités	E.B.*	Traitement	Traitement avec le <i>M.O.</i>					Moyenne	Ecart type	Coef. de Variation	Maximum	Minimum
				avec sulfates										
				d'aluminium	Ech.	Ech.	Ech.	Ech.	Ech.					
				E.T. **	10 ml	20 ml	30 ml	40 ml	50 ml					
pH	6,5-8,5	/	7,95	8,1	8,1	8,12	8,12	8,09	8,03	8,09	0,04	0,005	8,12	8,03
Température	20-25	°C	13,1	13,1	15	16,9	15,21	16,9	18,6	16,52	1,46	0,09	18,6	15
Conductivité	2800	µS/cm	1255	1257	1062	1046	1010	1031	1037	1037,2	19,15	0,02	1062	1010
Turbidité	5	NTU	0,96	0,1	1,93	2,62	3,4	3,87	2,3	2,82	0,80	0,28	3,87	1,93
Salinité	/	/	0,62	0,63	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,61	0,01	0,02	0,63	0,60
TDS	/	mg/l	620	623	667	665	662	651	650	669	7,97	0,01	667	650
TH	500	mg/lcaco3	456	461	266	250	264	276	280	267,2	11,71	0,04	280	250
TA	/	mg/lcaco3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAC	/	mg/lcaco3	230	230	55,2	55,2	55,2	47,2	47,2	52	4,38	0,08	55,2	47,2
Résidu sec	2000	Mg/l	806	804	200	800	400	400	400	440	219,09	0,5	800	200

*E.B : Eau brute
 **E.T : Eau traitée.
 Ech : Echantillon
 Coef. : Coefficient

Tableau XII : Résultats des éléments traces métalliques pour les eaux traitées avec le *M. Oleifera*

Paramètres	N.OMS	Unités	E.B.*	Traitement	Traitement avec le <i>M.O.</i>					Moyenne	Ecart type	Coef. de Variation	Maximum	Minimum
				avec sulfates										
				d'aluminium	Ech.	Ech.	Ech.	Ech.	Ech.					
				E.T. **	10 ml	20 ml	30 ml	40 ml	50 ml					
Zinc(Zn)	3	mg/l	/	/	0,916	0,425	0,316	0,43	0,03	0,42	0,32	0,76	0,916	0,03
Plomb (Pb)	0,2-0,3	mg/l	/	/	0,004	0,005	0,007	0,005	0,03	0,01	0,011	1,09	0,03	0,004
Cadmium (Cd)	0,003	mg/l	/	/	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,0005	0,03	0,003	0,002

*E.B : Eau brute
 **E.T : Eau traitée.
 Ech. : Echantillon
 Coef. : Coefficient

Tableau XIII : Résultats chimiques des cations des eaux traitées avec les sulfates d'aluminium et le *M. Oleifera*

Paramètres	N.OMS	Unités	E.B.*	Traitement avec sulfates d'aluminium	Traitement avec le M.O.					Moyenne	Ecart type	Coef. de Variation	Maximum	Minimum
				E.T. **	Ech 10 ml	Ech 20 ml	Ech 30 ml	Ech 40 ml	Ech 50 ml					
Ca ²⁺	200	mg/l	144	144	154	134	120	130	110	129.6	16.52	0.13	154	110
Mg ²⁺	150	mg/l	23	24	23.23	31.91	34.84	35.84	41.14	33.39	6.59	0.2	41.14	23.23

*E.B : Eau brute
 **E.T : Eau traitée.
 Ech : Echantillon
 Coef. : Coefficient

Tableau XIV : Résultats chimiques des anions des eaux traitées avec les sulfates d'aluminium et le *M. Oleifera*

Paramètres	N.OMS	Unités	E.B.*	Traitement avec sulfates d'aluminium	Traitement avec le M.O.					Moyenne	Ecart type	Coef. de Variation	Maximum	Minimum
				E.T.**	Ech 10 ml	Ech 20 ml	Ech 30 ml	Ech 40 ml	Ech 50 ml					
Cl ⁻	500	mg/l	110	120	404	353.5	202	101	101	232.3	141.04	0.61	404	101
HCO ₃ ⁻	/	mg/l	281	281	67.34	67.34	67.34	57.58	57.58	63.44	5.345	0.08	67.34	57.58
SO ₄ ²⁻	400	mg/l	304	320	205	215	165	165	157	181.4	26.55	0.15	215	157
NO ₃ ⁻	50	mg/l	4.49	4.3	1.5	2.5	2.8	4.1	4.8	3.14	1.31	0.42	3.14	1.5

*E.B : Eau brute
 **E.T : Eau traitée.
 Ech : Echantillon
 Coef. : Coefficient

V.2. Discussions de résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de la station de traitement des eaux du barrage Tichy-Haf

V.2.1. Paramètres physicochimiques

V.2.1.1. Potentiel hydrogène (pH)

Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (**Rodier, 2009**). La valeur du potentiel d'hydrogène de l'eau traitée par le sulfate d'aluminium donnée dans le **tableau XI** montre qu'elle ne varie pas beaucoup d'un pH minimum égal à 7.95 pour l'eau brute à un pH maximum égal à 8.1. Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin pour les eaux du barrage Tichy-Haft mais elles ne dépassent pas la norme OMS qui se (pH = 6.5-8.5).

Au sujet du traitement par la plante Moringa, il convient de noter que le pH est sensiblement stable pour tous les essais, quel que soit la dose du bio-coagulant utilisé. De ce fait l'ajout du bio-coagulant n'a pas d'influence significative sur le pH de l'eau du barrage Tichy-Haf. Ces résultats confirment en effet ceux trouvés par **Bawa et al., (2008)** ; **Beltran et al., (2009)** ; **Eman et al., (2010)** qui ont souligné que le traitement de l'eau avec *Moringa oleifera* a peu d'influence sur le pH.

V.2.1.2. Température

D'après les résultats de température mentionnés dans le **tableau XI**, nous constatons une stabilisation de la température concernant le traitement chimique des eaux brute et traitée qui est de 13.1°C et qu'elles sont inférieures à la norme fixée par l'OMS qui est de 25°C.

Les valeurs obtenues par le traitement avec le bio-coagulant sont variables. Elles varient entre un maximum de 18.6 et un minimum de 15°C. Il est à noter que l'écart entre la température ambiante (25°C) et les différentes températures obtenues pourraient être expliquées par l'agitation du jar-test et la température ambiante du laboratoire.

V.2.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Desjardins, 1997**).

La conductivité reste stable pour les eaux traitées avec le sulfate d'aluminium pour les eaux brutes et les eaux traitées. Les résultats sont consignés dans le **Tableau XI**.

Pour les eaux traitées avec le *M. Oleifera*, nous remarquons une légère diminution pour un intervalle allant de 1062 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1063 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne et de 1037/2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un écart type de 19.15 et un coefficient de variation de 0.02. Ces valeurs indiquent une minéralisation excessive des eaux brutes et traitées. Une conductivité $>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ veut dire une minéralisation excessive (**Ladjel, 2006**). Ceci serait dû aux lessivages des sols avoisinant le barrage par les eaux de pluies. Néanmoins, celles-ci restent en dessous du seuil maximal fixé par l'OMS (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

V.2.1.4. Turbidité

Les résultats du traitement chimique reportés dans le **tableau XI** montrent une turbidité légèrement faible par rapport aux résultats de l'eau brute qui est de 0.96 à 0.1 NTU. Ce qui montre l'efficacité du coagulant utilisé et cette valeur est strictement inférieure à la norme OMS.

La dose de 10ml du coagulant *M. oleifera* donne la meilleure turbidité qui est de 1.93 NTU. Au-delà de cette concentration, la turbidité de l'eau reste uniformément élevée (**Tab. XI**). Selon **Nacoulma et al., (2000)**, cette augmentation de la turbidité à partir de la dose optimale de *M. Oleifera* est due au remplacement d'une turbidité colloïdale par une turbidité particulaire, et ce, à cause de la présence de la matière organique.

La valeur du coefficient de variation est de 0.28 et la valeur maximum de la turbidité enregistrée est de l'ordre de 3.87 NTU. Néanmoins, elle reste toujours inférieure à la norme OMS d'où la valeur limite est de 5 NTU.

V.2.1.5. Salinité

Techniquement, la salinité est définie comme la masse des substances dissoutes dans l'eau. D'après les résultats du (**Tab. XI**), nous notons une stabilité dans les valeurs pour l'eau brute et l'eau traitée avec l'alun et l'eau traitée avec le *M. Oleifera*. La variation n'est pas statistiquement significative car le coefficient de variation est faible (0.02). Il semble que le traitement par les deux coagulants n'influence pas la concentration en sel de l'eau du barrage Tichy-Haf.

V.2.1.6. Taux des sels dissous (TDS)

D'après les résultats des variations du TDS (**Tab. XI**), nous notons que les valeurs de l'eau brute et de l'eau traitée sont stables (620 mg/l et 623 mg/l) quelle que soit la dose du bio-coagulant utilisé. Il convient de dire que l'ajout de ce dernier n'a pas d'influence significative sur le TDS de l'eau du barrage Tichy-Haf. Les paramètres statistiques calculés le confirment ($C_v = 0.01$).

V.2.1.7. Résidu sec (RS)

C'est un indicateur qui exprime le teneur en minéraux. Les résultats du (**Tab. XI**) montrent que les eaux du barrage Tichy-Haf traitées avec le sulfate d'aluminium présentent des concentrations importantes en résidus secs (environ 800 mg/l). Elles sont égales aux valeurs du résidu des eaux brutes. Néanmoins, elles restent toujours en dessous de la norme fixée par l'OMS (2000 mg/l).

Par contre, le traitement par le *M.O.*, a donné des teneurs inférieures à celles du traitement chimique. Le meilleur résultat est obtenu avec une concentration de la solution de 10 ml/l.

V.2.1.8. Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium (**Hawa, 2001**).

Nous notons que les valeurs de TH reportées dans le (**Tab. XI**) de l'eau brute et celles traitées avec le coagulant chimique sont sensiblement stables et proches de la norme admise de 500 mg/l CaCO_3 . Nous constatons que les traitements effectués au niveau de la station n'affectent pas la dureté de l'eau.

Pour l'eau traitée avec le *M. oleifera*, nous observons que les valeurs du TH varient aléatoirement avec une valeur maximale de 280 mg/l CaCO_3 et une valeur minimale de l'ordre 250 mg/l CaCO_3 avec une valeur moyenne de 267.2 mg/l CaCO_3 et un écart-type de 11.71 et un coefficient de variation est de 0.04. Néanmoins, elles restent inférieures à la norme de l'OMS,

D'après **Bremond et Vuichard, (1973)**, l'eau du barrage de Tichy-Haf est très dure du faite qu'elle soit supérieure à 180 mg/l de CaCO_3 . Ceci serait due à la nature géologique des roches traversées par les eaux.

V.2.1.9. Titre alcalimétrique (TA)

Les résultats obtenus pour le titre alcalimétrique, comme le montre le (**Tab. XI**), révèlent que les valeurs de TA sont nulles pour le prélèvement de l'eau brute et l'eau traitée.

Le titre alcalin représente la concentration en carbonates et en hydroxydes d'une eau. Ce qui signifie qu'il n'y a pas de bases fortes dans l'eau des deux prélèvements.

V.2.1.10. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Il correspond à la teneur en ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieurs à 8.3. La teneur en ions OH^- et CO_3^{2-} est négligeable ($\text{TA}=0$). Dans ce cas, la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls (Menad, 2012).

La valeur du TAC observée dans le (Tab. XI) de l'eau traitée avec l'alun ne différencie pas par rapport à celle de l'eau brute étant donné de 230mg/l de CaCO_3 . Donc le traitement paraît sans effet sur le TAC.

Par contre, les valeurs du TAC, après le traitement de l'eau brute avec le *M. Oleifera*, ont diminué considérablement. Nous notons que la valeur maximum est de 55.2 mg/l de CaCO_3 et la valeur minimum est de l'ordre de 47.2 mg/l de CaCO_3 dénote la qualité douce de l'eau. Nous constatons que l'ajout d'une faible quantité de *M.O* permet de diminuer supérieurement la dureté de l'eau du barrage. Néanmoins, le TAC est au-dessous de la norme de l'OMS pour toutes les concentrations utilisées.

V.2.2. Discussions des résultats physicochimiques des éléments traces métalliques

V.2.2.1. Zinc (Zn)

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou des troubles physiologiques chez les animaux (Mayet, 1994).

Les concentrations en zinc (Tab. XII) diminuent avec l'augmentation de la dose du coagulant injecté pour tous les essais. Ainsi la valeur optimale observée est de 0.03 mg/l à partir de la dose de 50 ml du bio-coagulant. Nous concluons, que pour ce paramètre, le M.O a une efficacité non négligeable. Les eaux du barrage de Tichy-Haf traité sont conformes à la norme fixée par l'OMS qui est de 3 mg/l

V.2.2.2. Cadmium (Cd)

Cette substance exerce un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses (Boudeal et Djouid, 2003).

D'après les résultats du tableau XII, nous notons que les valeurs de ce métal sont sensiblement stables et proches, avec une moyenne de 0.002 et un écart type significatif. Ces teneurs restent conformes à la valeur 0.003 mg/l définis par l'OMS.

V.2.2.3. Plomb (Pb)

Le plomb constitue l'un des métaux toxiques les plus dangereux pour les organismes aquatiques. Les composés solubles sont plus toxiques que les composés non solubles (**Benmessoud, 2007**). D'après le **tableau XII** les résultats de Pb pour l'eau traitée avec M.O augmentent en fonction de la dose du coagulant de 0,004 mg/l à 0,03 mg/l. De ce fait, la valeur optimale pour éliminer le plomb dans l'eau serait d'injecter une dose inférieure à 10 ml de bio coagulant. Toutefois, ces résultats sont conformes aux normes OMS qui ne doit pas dépasser les 0.3 mg/l.

V.2.3. Discussions des résultats physicochimiques des éléments cationiques

V.2.3.1. Dureté calcique

Les résultats obtenus du TH_{Ca} (**Tab. XIII**) pour les eaux brutes et les eaux traitées chimiquement sont équivalents et inférieurs à la norme de l'OMS. De ce fait, cette eau est dure et elle est chargée en ions Ca²⁺.

Tandis qu'après le traitement avec le *M.O*, nous observons une valeur maximale de 154 mg/l pour une dose de 10 ml du coagulant et une valeur minimale de 110 mg/l d'une dose de 50ml. Nous pourrions dire que la teneur des ions calcium diminue en fonction de l'accroissement de la concentration du bio-coagulant injecté. A titre de comparaison, **Fatombiet al., (2007)**, dans leur étude physicochimique sur l'eau du fleuve d'opkara au Sénégal traitée par les graines de *M.O*, ont obtenu des concentrations en ion calcium légèrement élevée par rapport à celle de l'eau brute.

V.2.3.2. Dureté magnésique

Pour un traitement avec l'alun, les concentrations en ion Mg²⁺ augmente légèrement d'une valeur de 24 mg/l comme le montre les résultats du **tableau XIII**. Cette valeur est au-dessous de la norme OMS fixée à 150 mg/l.

Pour les échantillons traités avec le *M. Oleifera*, les résultats des essais de traitement croissent avec les doses de coagulant utilisées. Ce qui pourrait être due au largage du magnésium contenu dans la plante.

V.2.4. Discussions des résultats physicochimiques des éléments anioniques

V.2.4.1. Chlorures (Cl⁻)

Les concentrations en chlorures ne connaissent pas de variations significatives (**Tab. XIV**). En effet les teneurs entre les eaux brutes et traitées avec le sulfate d'aluminium sont proches et varient respectivement entre 110 mg/l et 120 mg/l. L'augmentation dans les teneurs de ces ions dans l'eau traitée ne fait que confirmer ce que nous avons constaté à propos de la dureté de cette eau. Toutefois ces valeurs ne dépassent pas la norme fixée par l'OMS qui est de 500 mg/l.

Dans le cas de l'eau traités avec le *M.O*, nous observons une augmentation des teneurs en chlorures. La valeur maximale est de 404 mg/l. Elles diminuent avec l'augmentation de la concentration du bio-coagulant et leur teneur moyenne en chlorures est de 232.3 mg/l. Cependant, il semblerait que l'ajout d'un volume de 50 ml de bio-coagulant a permis d'atteindre les valeurs optimales qui ont réduit la concentration en Cl⁻ à 101 mg/l. Elles sont inférieures à celle de l'eau brute du barrage de Tichy-Haf avant traitement et celle traité avec l'alun. Par ailleurs, la concentration en chlorures après le traitement reste inférieure à la norme de l'OMS.

V.2.4.2. Concentration en hydrogénocarbonate (HCO₃⁻)

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité exprimée en (HCO₃⁻) varie de 10 à 350 mg/l (**Bremond et Vuichard, 1973**).

La concentration en HCO₃⁻ pour l'eau brute par rapport à l'eau traitée par la voie chimique reste invariante et est de 281mg/l (**Tab. XIV**). Nous notons que le traitement avec l'alun reste sans effet sur la teneur en HCO₃⁻ dans les eaux du barrage de Tichy-Haf.

Par contre les valeurs, après le traitement de l'eau brute avec le *M.O*, ont considérablement diminuées à une valeur minimale de 67.34 avec une moyenne de 63.44 et un écart type 5.34. L'efficacité de ce traitement est à prendre en considération surtout pour les unités des stations, en vue d'évité l'entartrage des canalisations.

V.2.4.3. Sulfates (SO₄²⁻)

La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation (**Rodier, 2005**).

Le **tableau XIV** montre des concentrations en ions sulfates très élevées dans les eaux brutes. Ce paramètre est un indicateur de pollution et s'explique par l'oxydation des minerais

de sulfite telle que le gypse ou l'anhydrite et/ou une activité agricole (Moulai et Allilat, 2016). Néanmoins cette valeur ne précède pas le seuil exigé de la norme OMS.

Après le traitement avec le sulfate d'aluminium une augmentation légère est perçue. Ce qui pourrait être due à l'utilisation du sulfate d'aluminium comme coagulant pour le traitement de cette eau. En aucun cas les concentrations des eaux traitées répondent à la norme OMS dont la valeur est fixée à 400 mg/l.

Pour l'eau traitée avec le *M.O*, nous constatons une diminution des ions sulfates en fonction de la concentration du bio-coagulant injecté jusqu'à une concentration optimale de 157 mg/l. Toutefois, ces valeurs sont toujours conformes aux normes OMS.

V.2.4.4. Nitrates (NO_3^-)

D'après les résultats d'analyse des nitrates par voie chimique représentés dans le **tableau XIV** et en comparant avec ceux de l'eau brute (4.49 mg/l) nous constatons que les concentrations en nitrates sont basses et proches. Dans tous les cas, ils ne dépassent pas les normes recommandées par l'OMS qui est de l'ordre de 50 mg/l. Nous pouvons conclure que le traitement adopté est presque sans effet sur la concentration en nitrates.

Par suite du traitement avec le *M. Oleifera*, les résultats de la concentration en nitrates dans l'eau diminue dans le sens opposé du dosage du bio-coagulant à partir d'une valeur enregistrer de 4.8 mg/l par l'injection d'une concentration de 50ml/l du coagulant a une valeur minimale de 1.5 mg/l obtenus par une dose de 10 ml. D'après **Desjardins, (1997)**, les charges issues d'un surplus de coagulant sont adsorbées à la surface des particules. Les particules colloïdales ainsi rentabilisées possèdent alors une charge inversée. Ce qui est contraire au but recherché. Les teneurs finales de ce paramètre restent toutefois inférieures aux seuils recommandés par l'OMS.

V.3. Présentation des résultats d'analyses physicochimiques des eaux de la STEP de Souk-El-Tenine

Tableau XV : Résultats des paramètres physicochimiques des eaux traitées à l'entrée de la STEP et avec le *M. Oleifera*

Paramètres	N.OMS	Unités	E.T* à la STEP	E.B**	Traitement avec le <i>Moringa Oleifera</i>					Statistiques descriptives				
					V ₁ 60ml	V ₂ 70ml	V ₃ 80ml	V ₄ 90ml	V ₅ 100ml	Minimum	Maximum	Moyenne	e-Type	Cv
pH	6.5-8.5	-	7.3	7.81	7.95	7.92	7.77	7.77	7.87	7.77	7.95	7.86	0.07	0.009
T	<30	(°C)	15.43	21.9	21.8	22.1	21.6	21.7	21.6	21.6	22.1	21.76	0.15	0.007
CE	-	(µS/cm)	1436.09	943	925	925	919	924	916	916	925	921.8	3.44	0.004
Salinité	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0
TDS	-	(mg/l)	-	926	907	910	905	901	898	898	910	904.2	3.76	0.004
O ₂	-	(mg/l)	0.03	30.51	20.5	7.64	4.87	11.69	3.64	3.64	20.5	9.67	5.14	0.532
Turbidité	-	(NTU)	-	1.51	0.39	0.88	0.97	1.09	1.5	0.39	1.5	0.97	0.26	0.273
PO ₄ ³⁻	-	(mg/l)	10.9	2.7	2.525	2.6	3.47	2.675	3.675	2.525	3.675	2.99	0.47	0.156
NTK	-	(mg/l)	38.2	37.8	27.3	21.7	54.6	57.4	36.4	21.7	57.4	39.48	13.22	0.335
N-NO ₃	<1	(mg/l)	1.3	524.04	281.73	112.5	89.42	93.27	84.61	84.61	281.73	132.31	59.77	0.452
DBO ₅	<30	(mg/l)	110	100	240	250	310	340	390	240	390	306	48.8	0.159
DCO	<90	(mg/l)	179	196.25	723.25	550	698.75	813.75	928.75	550	928.75	742.9	102.68	0.138
MES	<20	(mg/l)	158	9000	6875	11750	7125	1500	1162.5	1162.5	11750	5682.5	3481	0.612
K	-	-	1.63	1.96	3.01	2.2	2.25	2.39	2.38	2.2	3.01	2.45	0.22	0.092
MO	-	(mg/l)	133	132.08	401.08	350	439.58	497.92	569.58	350	569.58	451.63	65.69	0.145

*E.T : Eau traitée.

**E.B : Eau brute

V : volume d'échantillon

Cv : coefficient de variation

e-Type : écart-type moyen

Tableau XVI : Résultats des paramètres physicochimiques des eaux traitées à la sortie de la STEP et avec le *M. Oleifera*

Paramètres	N.OMS	Unités	E.T* à la STEP	E.B**	Traitement avec le <i>Moringa Oleifera</i>					Statistiques descriptives				
					V ₁ 40ml	V ₂ 50ml	V ₃ 60ml	V ₄ 70ml	V ₅ 80ml	Minimum	Maximum	Moyenne	e-Type	Cv
pH	6.5-8.5	-	7.56	7.44	7.63	7.64	7.54	7.58	7.61	7.54	7.64	7.6	0.032	0.004
T	<30	(°C)	16.18	21.1	21.2	19.5	19.7	19.8	19.3	19.3	21.2	19.9	0.52	0.026
CE	-	(µS/cm)	1428.86	1312	1221	1213	1198	1181	1147	1147	1221	1192	22.4	0.018
Salinité	-	-	-	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.28	0.032	0.114
TDS	-	(mg/l)	-	938	1033	1026	1021	907	987	907	1033	994.8	38.24	0.038
O ₂	-	(mg/l)	0.1	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.004	0.2
Turbidité	-	(NTU)		1.25	0.35	0.74	1.25	1.25	0.54	0.35	1.25	0.825	0.33	0.411
PO ₄ ³⁻	-	(mg/l)	4.3	18.125	15.66	5.04	3.44	3.18	3.625	3.19	15.66	6.19	3.78	0.612
NTK	-	(mg/l)	10.1	5.6	44.8	30.8	9.8	32.9	37.1	9.8	44.8	31.08	8.62	0.277
N-NO ₃	<1	(mg/l)	0.3	199.04	125	171.15	96.15	71.15	76.92	71.15	171.15	108.07	32	0.296
DBO ₅	<30	(mg/l)	9	25	180	195	210	225	290	180	290	220	30	0.136
DCO	<90	(mg/l)	18	135	472.5	597.5	696.25	735	843.75	472.5	843.75	669	107.2	0.160
MES	<20	(mg/l)	7	3375	6875	3000	625	1125	162.5	162.5	6875	2357.5	2064	0.875
K	-	-	2	5.4	2.62	3.06	3.31	3.27	2.91	2.625	3.31	3.04	0.215	0.070
MO	-	(mg/l)	12	61.67	277.5	329.17	372.08	395	474.58	277.5	474.58	369.67	53.064	0.143

*E.T : Eau traitée.

**E.B : Eau brute

V : volume d'échantillon

Cv : coefficient de variation

e-Type : écart-type moyen

V.4. Discussions de résultats d'analyses physicochimiques des eaux de la STEP de Souk-El-Tenine

V.4.1. Potentiel hydrogène (pH)

D'après le **tableau XV** les résultats des effluents à l'entrée de la station et le **Tableau XVI** concernant les résultats des effluents traités à la sortie de la station, nous remarquons que les valeurs du pH sont respectivement de 7.3 et 7.6 et sont sensiblement stable. Nous notons aussi qu'elles restent toujours dans le seuil normalisé par l'OMS qui est entre 6.5 -8.5.

Dans les deux points de prélèvement de l'eau de la STEP, le traitement avec *Moringa oleifera* nous permet de dire que les valeurs du pH sont presque stables. Il convient de noter que la valeur minimale enregistrée est de l'ordre de 7.77 et la valeur maximale est de 7.95 avec un coefficient de variation de 0.009 pour le traitement de l'eau prélevé à l'entrée de la STEP. Les résultats représentés dans le **tableau XVI** nous donnent des valeurs du pH allant de 7.54 à 7.64 qui dépasse légèrement celle de l'eau brute (7.44).

A partir de ce raisonnement, le traitement avec le bio-coagulant est efficace pour les eaux des deux points de prélèvement et avec un meilleur rendement que le traitement utilisé par la STEP.

V.4.2. Température (T°)

Au sujet des températures de l'effluent de sortie représentée dans le **Tableau XV**, les valeurs sont 15.43 °C. Nous remarquons qu'elles sont légèrement supérieures à celles mesurées au niveau des eaux d'entrée (16.18 °C) car le système renferme des canalisations où le développement des organismes aérobies est favorable. C'est leur activité fermentescible qui est à l'origine du dégagement d'énergie. En général, les valeurs d'entrée ne dépassent jamais la norme de l'OMS (< 30) (**JORADP, 2006**). Ce qui prouve que les échantillons sont conformes aux normes de rejet.

Quelques soit les doses de l'alun utilisé pour les deux eaux (entrée et sortie), les résultats de températures nous permettent de dire qu'elles sont invariables et sont plutôt influencées par l'air ambiant.

V.4.3. Conductivité électrique (CE)

Les résultats montrent que la conductivité diminue légèrement pour les eaux traitées et brutes au niveau de la STEP de 1436.09 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Tab. XV**) à une valeur de 1428.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Tab. XVI**). Les valeurs moyennes après traitement avec le *M. Oleifera* diminuent par rapport à celle des eaux brutes citée dans le **tableau XV** (943 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du **tableau XVI** (1312 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les deux cas, elles sont respectivement de 921.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un coefficient de variation significative de 0.004 (**Tab. XV**) et de 1192 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un coefficient de variation de 0.005 (**Tab. XVI**). Nous notons qu'une concentration volumique importante de la solution de Moringa donne un meilleur résultat pour l'abaissement de la conductivité. Ainsi sa mesure permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Rejsek, 2002**).

V.4.4. Salinité

La salinité est définie comme la masse des substances dissoutes dans d'eau. D'après les résultats (**Tab. XV**), nous notons une stabilité absolue de l'ordre de 0.2 pour les valeurs de l'eau brute et l'eau traitée. De même, pour l'eau prélevée à la sortie de la STEP expriment des valeurs très proche d'un écart-type de 0.032 (**Tab. XVI**) après le traitement avec l'alun. La variation de la salinité d'après le **tableau XV** n'est pas statistiquement significative car le coefficient de variation est excessivement faible. Il semblerait que le traitement pour les deux cas de traitement avec le biocoagulant n'influence pas la concentration en sel de l'eau de la zone étudié.

V.4.5. Taux des sels dissous (TDS)

D'après les résultats des variations du TDS, nous notons des valeurs relativement stables de l'eau brute et de l'eau traitée. Elles sont relativement proches (926 mg/l et 938 mg/l) respectivement pour l'eau brute à l'entrée (**Tab. XV**) pour l'eau à la sortie (**Tab. XVI**) de la STEP

Il convient de noter que la TDS est également stable, pour tous les essais, quel que soit la dose du bio-coagulant utilisé. Il convient de dire aussi que l'ajout de ce dernier n'a pas d'influence significative sur le TDS de l'eau de la STEP. Les paramètres statistiques calculés le confirment ($C_v = 0.004$) pour le premier traitement donné dans le **tableau XV** et une valeur ($C_v = 0.038$) pour le deuxième traitement donné dans le **tableau XVI**.

V.4.6. Oxygène dissous ($O_{2\text{dissous}}$)

La teneur en oxygène de l'eau ne dépasse rarement 10 mg/l. Elle est fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l (**Ladjel, 2006**). L'oxygène est un facteur clé et un excellent indicateur de la qualité de l'eau. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (**Rodier, 1984**).

Les valeurs obtenues au niveau de la STEP montrent une légère fluctuation allant de 0.03 mg/l (**Tab. XV**) pour les eaux brutes à 0.1 mg/l (**Tab. XVI**). D'après ces résultats, nous remarquons que le taux d' O_2 dissout des eaux traitées est supérieur à celui des eaux brutes. Ce qui est dû à une bonne aération des eaux au niveau du bassin biologique nécessaire pour le développement des micro-organismes aérobies qui assurent l'oxydation des matières organiques.

Les valeurs de L'oxygène dissout des échantillons d'eau de la STEP traitées par le *Moringa* se situent dans un intervalle allant de 3.64 mg/l à 20.5 mg/l à l'entrée avec une moyenne de 9.67 mg/l, un écart type de 5.14 et un coefficient de variation de 0.53. Et un intervalle entre 0.01 mg/l et 0.03 mg/l pour les eaux traitées avec une moyenne de 0.02 mg/l, un écart type 0.004, et un coefficient de variation de 0.2. D'après ces résultats nous remarquons que la teneur en O_2 des eaux d'entrée est supérieure à celles des eaux de la sortie. Ce qui est dû aux conditions de travail au laboratoire qui ont provoquées la prolifération de microorganismes aérobies consommateurs d'oxygène.

V.4.7. Turbidité

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (**Rejsek, 2005**).

Les résultats de la turbidité obtenus (**Tab. XV**) montrent une turbidité élevée dans l'eau brute (1.51 NTU) cas des eaux non traitées. Ce qui pourrait être expliquées par la présence des matières en suspension et des matières non dissoutes.

L'injection de 10ml du coagulant *M. Oleifera* pour les eaux à l'entrée donne la meilleure turbidité qui est de 0.39 NTU. Au-delà de cette concentration, la turbidité de l'eau reste uniformément élevée (**Tab. XV**). Selon **Nacoulma et al., (2000)**, cette augmentation de la turbidité à partir de la dose optimale de *Moringa Oleifera* est due au remplacement d'une turbidité colloïdale par une turbidité particulaire et ce à cause de la présence de la matière organique. Tandis que. De même pour l'injection de cette dose pour les eaux sorties donne la

meilleure turbidité qui est de 0.35 NTU représentée dans le **tableau XV**. Ceci nous permet de conclure que les doses optimums du biocoagulant sont déterminées à des concentrations inférieures à 10 ml/l.

V.4.8. Azote totale kjeldal (NTK)

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (**Rodier, 2005**).

Les teneurs en azote varient entre 38.2 mg/l (**Tab. XV**) à l'entrée de la STEP et 10.1 mg/l (**Tab. XVI**) à la sortie. Cette diminution traduirait l'efficacité du traitement

Au sujet du traitement avec le *M.O* les résultats des concentrations de l'azote citées dans le **tableau XV** nous montrent que ces teneurs diminuent de 37.8 mg/l à une valeur minimale après traitement qui est de 21.7 mg/l obtenue à partir d'une dose de 70 ml du coagulant. Nous notons aussi, qu'à partir de cette dose l'efficacité de ce traitement diminue, ce qui peut être expliquée par la présence des ions sous forme de protéines qui se trouve aux sein de notre coagulant. Le coefficient de variation varie entre 0.335 (**Tab. XVI**) et 0.277 (**Tab. XVI**). Nous remarquons que les valeurs de l'azote diminuent en allant de l'entrée vers la sortie de la STEP. Ce qui explique que ce coagulant a un effet éliminateur de l'azote à faibles concentrations, mais légèrement plus élevé par rapport à l'échantillon brute à de fortes concentrations du coagulant.

V.4.9. Phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphore contenu dans les eaux résiduaires à dominante urbaines provient pour l'essentiel des rejets métaboliques (urines, fèces). Les autres apports de phosphore proviennent des détergents pour lave-vaisselle, des détergents lessives ménagers et le cas échéant, des produits de lavage dits « industriels » utilisés dans les laveries, restaurants, commerces, industries agroalimentaires (**Gillot et al., 2010 ; Stricker et al., 2010**).

A partir des résultats obtenus, nous observons que les valeurs d'ions phosphates sont légèrement variables et diminuent progressivement de 10.9 mg/l (l'entrée de la STEP) selon le **tableau XV** à 4.3 mg/l selon le **tableau XVI** (sortie de la STEP). Nous remarquons que le phosphate des eaux épurées a toujours une valeur minime par rapport aux eaux brutes. Cet abattement est associé aux micro-organismes qui assurent la dégradation du carbone et de

l'azote et intègrent le phosphore à leur milieu cellulaire (structure membranaire, ATP, ARN). C'est simplement par cette voie qu'il y a eu l'élimination de phosphore. Les valeurs des concentrations en phosphate après traitement avec le *Moringa oleifera* sont représentées dans le **tableau XV** ; Ils montrent que les valeurs diminuent en fonction de la dose du coagulant allant de 2.7 mg/l (eau brute) à 2.52 mg/l qui est obtenu avec une concentration de 60ml de *M.O.* Au-delà de cette dose, les concentrations augmentent légèrement et dépassent la valeur initiale. Nous notons que le *M.O.* diffuse ses matières organiques à des doses plus élevées d'où l'effet favorable de l'augmentation de ces teneurs.

Le **tableau XVI** nous montre que les valeurs des ions phosphates diminuent considérablement et en fonction de la dose du biocoagulant allant de 18.12 mg/l (eau brute) à une valeur minimale de 3.19 mg/l, avec un $C_v = 0.61$

D'après ces interprétations, nous remarquons que le *Moringa oleifera* a un meilleur rendement pour un traitement qui se fait au niveau de l'entrée de la STEP avec de faibles doses. Aussi, à la sortie de la STEP, nous obtenons des résultats de plus en plus rentables en fonction de l'injection du biocoagulant.

V.4.10. Nitrates (NO_3^{2-})

Les résultats obtenus montrent que la concentration en nitrates pour les eaux brutes et les eaux traitées varie entre 1.3 mg/l (**Tab. XV**) et 0.3 mg/l (**Tab. XVI**) au niveau de la STEP de Souk-El-Tenine. Nous notons ainsi qu'elle est inférieure à la concentration maximale autorisée par l'OMS (<1). Ce qui signifie que notre eau n'est pas nocive pour la santé humaine.

Après traitement avec le *M. Oleifera*, les résultats de la concentration en nitrates dans l'eau diminue par rapport aux valeurs des eaux brutes (524 mg/l) et (199.04 mg/l). Les valeurs obtenues oscillent entre un minimum de 84.61 mg/l, un maximum de 281mg/l, une moyenne de 73mg/l, un écart-type de 59.76 représentés dans le **tableau XV**. Tandis que pour l'eau traitée, nous enregistrons un résultat minimal de 71.15 mg/l, une valeur maximale de 171,15 mg/l, une moyenne de 108.7 mg/l avec un écart-type de 32 (**Tab.XVI**)

Les graines de *Moringa oleifera* étant riches en protéines, elles diffusent probablement dans les eaux traitées des matières organiques ainsi que des ions nitrates. Ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la concentration des nitrates pour les doses qui ont connu une légère déviation. Les teneurs finales de ce paramètre sont supérieures à la valeur limite fixée par l'OMS. Mais nous notons qu'elles sont dues à l'augmentation de ces teneurs avant

traitement qui pourrait être expliqué par le temps de stockage de cette eau qui à favoriser l'oxydation de la matière organique. Selon **Rodier (2009)**, les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates.

V.4.11. Demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO₅), c'est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Il permet l'évaluation des matières organiques biodégradables.

Les résultats obtenus montrent une diminution importante de la DBO₅ des eaux de rejets de la station de Souk-El-Tenine. En effet, les valeurs moyennes de DBO₅ varient entre 110 à 9 mg O₂/l. Donc les résultats obtenus ne dépassent pas la norme limite de l'OMS qui est de 30 mg O₂/l.

Le traitement avec le *Moringa oleifera* donne des valeurs progressives en fonction de l'augmentation de la dose injectée. D'où la valeur moyenne perçue dans les résultats d'analyses effectuées pour l'eau d'entrée de la STEP. La valeur est de 306 mgO₂/l, l'écart-type de l'ordre de 48.8, C_v= 0.159 (**Tab. XV**). En revanche, pour l'eau traitée à la sortie de la station donne une valeur moyenne de 220 mgO₂/l, un écart-type de 30 et un C_v de 0.136 (**Tab. XVI**).

Nous constatons que les valeurs augmentent successivement avec l'augmentation de la concentration du coagulant. Ceci pourrait être due au séjour long des eaux et les conditions de conservation au niveau du laboratoire. Selon **Fatombi, (2009)**, la plante de M.O favorise le développement des micro-organismes dans l'eau.

V.4.12. Demande chimique on oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l (**Suschka et Ferreira, 1986**)

Nous remarquons que les valeurs de la DCO des eaux usées varient entre 179 mgO₂/l pour les eaux à l'entrée et 18 mgO₂/l pour les eaux épurées par la STEP. Les valeurs enregistrées de la DCO sont inférieures la valeur limite de la norme OMS qui est de 90 mgO₂/l.

D'après le **tableau XV**, le traitement avec l'alun n'est pas rentable du fait que la valeur de l'eau brute enregistrée est de 196.25 mgO₂/l et le traitement avec le Moringa a

donné une teneur de 550 mgO₂/l avec une concentration de 70 ml. Dans tous les cas ce traitement avec le bio-coagulant a dépassé la valeur de la norme OMS (<90).

V.4.13. Matières en suspensions (MES)

Les valeurs enregistrées au cours de notre expérimentation au niveau de la station révèlent une réduction importante des MES entre les eaux brutes et les eaux traitées. Elles se situent entre 158 mg/l (**Tab.XV**) et 7 mg/l (**Tab. XVI**). Ces valeurs sont fonction de la nature du rejet.

En ce qui concerne les eaux traitées avec le biocoagulant pour les eaux à l'entrée de la STEP, les valeurs des MES représentées dans le **tableau XV** varient aléatoirement pour atteindre une valeur minimale de 1162.5 mg/l à côté de la valeur de l'eau brute qui est de 9000mg/l, avec une moyenne de 5682.5 mg/l. Nous notons aussi une valeur de 3375 mg/l des MES décelée dans les eaux brutes à la sortie de la station (**Tab. XVI**). Après le traitement leur teneur diminue pour des doses supérieures à 10ml du coagulant. Ces valeurs sont dues à une bonne décantation des matières en suspension, avec une moyenne de 2357.5 mg/l. Cette valeur est supérieure à la norme du rejet de l'OMS (30 mg/l). Ceci s'explique par une forte turbidité de l'eau. Ces valeurs sont dû à la mauvaise qualité du papier filtre qui se dissous dans l'eau pendant la filtration des échantillons.

Dans l'ensemble et eu égard de ces explications, nous précisons que l'eau traité avec le M.O connaîtra une meilleure efficacité si nous procédions avec la même méthode de filtration que celle utilisée (pompe à vide) pour les eaux traitées au niveau la station d'épuration.

V.4.14. Coefficient de biodégradabilité (K)

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. Elle est exprimée par un coefficient K avec $K = DCO/DBO$ (**Metahri, 2012**).

En effet ce rapport varie entre 1.63 (**Tab. XV**) à 2 (**Tab. XVI**) pour les eaux traitées à la STEP. Cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables ($1,5 < K < 2,5$) (**Metahri, 2012**).

Les valeurs citée dans le **tableau XV** pour le traitement avec l'alun donne un coefficient minimal de l'ordre 2.2, une valeur maximale de l'ordre de 3.01 et entre 2.62 et 3.31(**Tab. XVI**) à la sortie de la STEP. Cela signifie que les matières oxydables sont non

biodégradables ($K > 3$) avec la présence d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne dans l'eau (Metahri, 2012),

V.4.15. Matières organiques (MO)

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO_5 et la DCO est donnée par l'équation suivante (Metahri, 2012) :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$$

Sa valeur varie dans un intervalle entre 133 mgO_2/l (Tab. XV) et 12 mgO_2/l (Tab. XVI) pour le traitement au niveau de la STEP. Nous avons noté une diminution de la quantité de matière organique dû aux différentes concentrations de M.O à l'entrée et la sortie de la STEP. Mais son augmentation par rapport à l'échantillon brute (132.08 mgO_2/l à l'entrée, 61.67 mgO_2/l à la sortie) est due au long séjour des échantillons au niveau du laboratoire de l'université. Les conditions de conservation de la plante qui favoriserait la prolifération de la matière organique par eutrophisation et la présence d'une fraction d'huile de la graine utilisée sans séparation de l'huile du reste de la graine.

Nous précisons qu'après le traitement avec le *M.O* que l'eau d'entrée a connue des obtenue des résultats croissants en fonction de la dose injectée, et que pour une dose de 70ml nous avons pu avoir la valeur inférieure de la concentration de la MO dotée de 350 mgO_2/l (Tab. XV). Pour l'eau de sortie de la station, le tableau XVI montre des valeurs croissantes jusqu'à atteindre une valeur maximale de 474.58 mgO_2/l , un écart-type de l'ordre de 65.69 mgO_2/l .

Conclusion générale

Conclusion général

Conclusion général

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'influence des traitements de clarification en utilisant le sulfate d'aluminium, le traitement biologique et le *Moringa oleifera* sur l'élimination des paramètres indicateurs de pollution par coagulation – floculation.

Cette étude nous a permis de faire une application d'un procédé choisis sur l'eau de surface du barrage de Tichy-Haf et l'eau usée de la STEP de Souk-El-Tenine.

La détermination des caractéristiques physico – chimiques de ces eaux ont permis d'aboutir aux résultats ci-dessous mentionnées :

→ Concernant le traitement des eaux du barrage avec le sulfate d'aluminium, nous avons obtenu les résultats suivants :

- Mis à part la réduction de la turbidité d'une valeur de 0.96 NTU a 0.1 NTU l'ensemble des résultats demeurent invariables.

→ Quant aux eaux traitées avec le *Moringa oleifera*

- **Pour les paramètres physiques :**

- La conductivité diminue de 1255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette diminution est obtenue avec une dose de la solution de Moringa de 30 ml ;
- La turbidité augmente légèrement de 0.96 NTU à 1.3 NTU. Ceci est due à la mauvaise qualité du papier filtre utilisé lors de la filtration ;
- Le titre alcalimétrique diminue de 55 mg/l à 47 mg/l. Il est obtenu avec une dose de 40 ml ;
- Le résidu sec diminue fortement de 800 mg/l à 200 mg/l. Ce résultat est obtenu avec la plus faible des doses qui est de 10 ml.

- **Pour les paramètres chimiques :**

- La concentration en manganèse augmente de 23 mg/l à 41.14 mg/l. Ceci est dû à la composition du *M.O* riche en ion Mg^{2+}
- Les concentrations en ion HCO_3^- diminue strictement de 281 mg/l à 57.58 mg/l.

Au vu de ces résultats, il convient de dire que le traitement avec le *Moringa Oleifera* est très avantageux par rapport au traitement chimique avec le sulfate d'aluminium.

Concernant le traitement des eaux de la STEP avec le *Moringa Oleifera* nous avons obtenu les résultats suivants :

Conclusion général

- Pour les paramètres physicochimiques obtenues par le traitement de l'eau d'entrée de la STEP :

Mis à part la réduction de

- La turbidité d'une valeur de 1.25 NTU à 0.35 NTU,
- La réduction de la concentration des phosphates de 18.12 mg/l à 3.18 mg/l,
- La diminution excessive de concentration en MES de 3375 mg/l à 163 mg/l qui est obtenue avec une dose de 100 ml de M.O.

L'ensemble des résultats (pH, T°, CE, Salinité) demeurent invariables. Par contre, les résultats de NTK, DBO₅, DCO, MO augmentent. Ceci serait à la flore bactérienne qui s'est développée dans la solution.

Pour les paramètres physicochimiques obtenus par le traitement de l'eau d'entrée de la STEP :

Pour l'ensemble des paramètres énumérés ci-dessous, le meilleur rendement est obtenu avec la dose de 80 ml. La variation des paramètres est :

- Le TDS de 960 mg/l à 898mg/l ;
- La concentration en oxygène dissous varie de 35.5 mg/l à 3.6 mg/l ;
- La concentration des nitrates varie de 524 mg/l à 84 mg/l ;
- La concentration des MES de 9000 mg/l à 1163 mg/l.

L'utilisation de *Moringa Oleifera* reste beaucoup plus bénéfique pour le traitement des eaux de sortie que celui des eaux d'entrée de la STEP. Par contre à des doses plus élevées (80 ml), il est très efficace pour l'amélioration de la qualité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Souk-El-Tenine.

Après traitement par coagulation-floculation, les paramètres physico-chimiques quantifiés pour les deux prélèvements répondent très nettement aux normes de l'OMS. Il est important aussi de signaler d'après les résultats, que la qualité physico-chimique est amélioré après traitement.

Au terme de ce travail nous pouvons conclure que le traitement par le procédé de coagulation–floculation avec le *Moringa Oleifera* paraît efficace, notamment pour l'élimination des MES, Turbidité, phosphate, et la réduction de la dureté au seuil minimal. En outre, c'est un processus de dépollution qui participe à la protection de l'environnement.

Conclusion général

Seulement, à l'heure actuelle, la rareté des graines de Moringa au niveau régional et même national, rend son utilisation à l'échelle opérationnelle (station d'épuration) difficile. Pour ce nous préconisons l'encouragement de sa culture dans la région afin d'assurer sa disponibilité. L'aspect économique devrait être pris en considération afin de donner un avis sur son utilisation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

Abdelkrim, G., (2012), L'Algérie manque d'eau, La Tribune, Edition N° : 5238, Alger.

Abdull, R., Ahmad, F., Ibrahim, M. D., Kntayya, S., B., (2014), Health benefits of Moringa oleifera, Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 15 (20), 8571-8576.

Adamczyk, Z., (2003), Particle adsorption and deposition, role of electrostatic interactions, Advances in Colloid and Interface Science.

Akpagana, K., (2014), Moringa oleifera Lamarck (Moringaceae) : une ressource phytogénétique à usage multiple, Rev. Cames SVT-A 2 (1) : 6-14.

Andriamirado, L., Asensi, D., Bullard, T., Cousin, A., (2005), DEGREMONT Mémento technique de l'eau : Tome 2, Lavoisier SAS – Lexique technique de l'eau, Paris, dixième édition.

Atakpama W., Kponor E.G.E., Kanda M., Dourma M., Nare M., Batawila K., akpagana, K., (2014), Moringa oleifera Lamarck (Moringaceae) : une ressource phytogénétique à usage multiple," Sciences de la vie, de la terre et agronomie, Rev. Cames SVT-A 2 (1) : 6-14

Attab, S., (2011), Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local, Mag. Univ. D'Ouargla.

Azeez, F.A., Famuyid, O.O., Nosiru M.O., Bello, G.T., Clement, N.A., Amoon, M.O., (2013), Technical efficiency of Moringa oleifera production in Isokan local government area of osun state, Nigeria, Discourse Journal of Agriculture and Food sciences, 1(2) : 78-84.

-B-

Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., Franconie, A., (2004), Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, Rapport ORS, 220p.

Belhoucine, D., Azzi, K., (2016), Etude et contrôle physico-chimiques des mélanges d'eaux brutes du barrage de Tichy-haf et du puits de forage d'Ibourassen (Oued Ghir) pour la production de l'eau ultra-pure

Références bibliographiques

Besra, L., Sengupta, K., Roy, S.K., Ay, P., (2002), Polymer adsorption : its correlation with flocculation and dewatering of kaolin suspension in the presence and absence of surfactants, International Journal of Mineral Processing, 66 : 183-202.

Boudeal et Djouid H., (2003), Pollution de l'Oued boussellem par les eaux usées urbaines et industrielles et impact de leur utilisation dans l'irrigation, Thèse ing, tatho des écosystèmes universitaires, Stif, 6-13p.

Bourgou, S., Ksouri, R., Bellila, A., Skandrani, I., Falleh, H., Marzouk, B., (2008), Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L, shoots and roots, Comptes rendues Biologies, 331 : 48-55.

Bouziani, M., (2000), L'eau de la pénurie aux maladies, Edition IBN-Khaldoun, Oran. 247p.

Bremond, R., Vuichard, R., (1973), Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris 173 p.

-C-

Cardot, C., (1999), Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques, Ellipses, Edition Marketing S.A.

Centre de formation au métier de l'assainissement, (2010), CFMA-Boumerdes, 80p. Chantrel E et de saint sauver

-D-

De Franceschi, M., (1996), L'Eau dans tous ses états, édition Ellipse, 1996.

De Villers, J., Squilbin, M., yourassowsky, C., (2005), Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, Degrement 205 mémento technique de l'eau Toùl, Paris.

Degremont, R. Malmaison, (1989), Mémento technique de l'eau, tome 1, Paris, Degremont, Lyonnaise des eaux, 592 pages.

Desjardin, R., (1997), Le traitement des eaux, 2ème édition, Ed. De l'école polytechnique de Montréal, 317 pages.

Duguet, J-P., Bernazeau, F., Cleret, D., Gaid, A., Laplanche, A., Moles, J., Monteil, A., Riou, G., Simon, P., (2006), Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine, 1 ère édition ASTEE (Association Scientifique et Technique pour L'environnement).

Références bibliographiques

-E-

Elskens, M., (2010), Analyse des eaux résiduaires-Mesure de la pollution, Technique de l'ingénieur 200V2, P.1-4.

-F-

Fahey, J.W., (2005), Moringa oleifera: a review of the medical evidence for its nutritional, nn therapeutic, and prophylactic properties, Part 1, Trees for Life J. 1: 5.

Farooq, F., Rai, M., Tiwari, A., Khan, A.A., Farooq, S., (2012), Medicinal properties of Moringa oleifera : an overview of promising healer, J. Med Plants Res. 6, 4368-4374.

Farooq, Z., Boye, J. I., (2011), "Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions-11."

-G-

Gnangle, P. C., Glele kakaï, R., Oumorou, M., N'djolosse, K., Bonou, W., Sokpon, N., (2010), Tests de croissance de jeunes plants de Néré (*Parkia biglobosa*, Jack, R.Br.) en pépinière, Int. J. Biol. Chem. Sci. 4 (6) : 1939-1952.

Gomella et Guerrée, (1986), Guide de l'assainissement dans les agglomérations urbaines et rurales, Tome I, La collecte, Edition Eyrolles, Paris, France.

Gregorio, C., Pierre-Marie, B., (2007), Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : Procédés, Presses Univ. Franche-Comté, 2007, 356 p.

-H-

Harbone, J.B., (1998), Introduction to ecological biochemistry, 4th ED. Academic press, london.

Hartani, T., (2004), La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de Mitidja en Algerie, projet INCO-WADEMED Acte du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat

Hawa, S., (2001), Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la Ville de Bamako. Université de Bamako.

Hedji C.C., Kpogué Gangbazo D.N.S., Houinato M.R. et Fiogbé E.D., (2014), Valorisation de Azollaspp, Moringa oleifera, Son de riz, et de co-produits de volaille et de poisson en alimentation animale : synthèse bibliographique. Journal of applied biosciences, 81(1) : 7277-7289.

Henry, M., (1991), Les eaux naturelles et les eaux de consommation Saint Laurent.

Hernandez, L., (2006), Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France.

Références bibliographiques

-I-

Iqbal, S., Bhangar, M., (2006), Effect of season and production location on antioxidant activity of Moringa oleifera leaves grown in Pakistan." Journal of food Composition and Analysis, 19 (6), 544-551.

-J-

Jahn, Samia Al Azharia, (1988a), Using Moringa seeds as coagulants in developing countries, 1988, Journal AWWA, June 1988, pp. 43-50.

Jed, W., (2005), Moringa oleifera : A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutique, and prophylactic properties, Part 1, Trees for life journal.

Joel, G., (2003), La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris.

-K-

Kabor, A., (2011), Etude du pouvoir floculant et des qualités épuratoires des graines de Moringa Oléifera dans le traitement des eaux brutes de consommation en Afrique sub-Saharienne : cas des eaux du Burkina Faso, Mémoire de DEA, université de Ouagadougou, Ouagadougou Burkina Faso.

Kettab, (1992), Traitement des eaux « les eaux potables » Office des publications universitaires, 1992.

Khadraoui, A., Taleb, S., (2008), Qualité des eaux de sud Algerien, Pollution et impact sur le milieu, Ed. Khyam, 367p.

Khemis, (2011), Etude théorique et expérimental du procédé d'électrocoagulation : application au traitement des effluents liquides hautement chargés en impuretés organiques et minérales. Thèse de doctorat INPL, Nancy.

Khimoud, R., Khennane, H., (2011), Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau brute et de l'eau traitée de Barrage «TAKSEBET » Tizi-Ouzou, mémoire de fin études en écologie Végétale et environnement, Université Mouloud Mammeri, Tizi –Ouzou.

Koller, E., (2009), Traitement des pollutions industrielles: Eau, Air, Déchets, Sols, Boues. Ed. Dunod, 2004,424 p.

Kooltheat, N., Sranujit, R. P., Chumark, P., Potup, P., Laytragoon-Lewin, N., Usuwanthim, K., (2014), "An ethyl acetate fraction of Moringa oleifera Lam. Inhibits human macrophage cytokine production induced by cigarette smoke." Nutrients, 6(2) : 697-710.

-L-

Références bibliographiques

Ladjel, F., Bouchefer S-A. (2006). Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02, Centre de formation au métier de l'assainissement, CFMA-Boumerdes, p80.

Lakhdari, B., (2011), Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz, Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

Lalas, S., Tsaknis, J., (2002), Characterization of Moringa oleifera seed oil variety "Periyakulam 1", Journal of food composition and analysis, 15 : 65-77.

Laleye, O. A. F., Ahissou, H., Olounlade, A. P., Azando, E. V. B., Laleye, A., (2015), Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise : Khaya senegalensis (Desr) A, Juss (Meliaceae), Momordica charantia Linn (Cucurbitaceae) et Moringa oleifera Lam (Moringaceae), International Journal of Biological and Chemical Sciences, 9(5) : 2682-2700.

Lazarova, V., (2003), L'intérêt de la réutilisation des eaux usées: analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes, 9 : 64-85.

Leone, A., Fiorillo, G., Criscuoli, F., Ravasenghi, S., Santagostini, L., Fico, G., Pozzi, F., (2015), Nutritional Characterization and Phenolic Profiling of Moringa oleifera Leaves Grown in Chad, Sahrawi Refugee Camps, and Haiti, International journal of molecular sciences, 16(8),18923-18937.

Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., Bertoli, S., (2015), Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of Moringa oleifera leaves: An overview. International journal of molecular sciences, 16:12791-12835.

Loup, J., (1974), Les eaux terrestres, édition : Masson et Cie.

-M-

Masschelein, W.J., (1999), Processus unitaires du traitement de l'eau potable, Editeur, Cebedoc.

Mayet, J., (1994), La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur 2ème Edition, p382, Paris.

Melesse, A., Steingass, H., Boguhn, J., Schollenberger, M., Rodehutschord, M., (2012), Effects of elevation and season on nutrient composition of leaves and green pods of Moringa stenopetala and Moringa oleifera, Agroforestry systems, 86(3), 505-518.

MENAD, K., METADJER, (2012), Traitement des eaux saumâtre par l'osmose inverse cas de l'eau de Khemis Miliana, Université Khemis Miliana.

Références bibliographiques

Metahri, M. S., (2012), Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes, Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzo.

Mishra, S.P., Singh, P., Singh, S., (2012), Processing of Moringa oleifera leaves for Human consumption, Bulletin of Environment, Pharmacology and life sciences, 2(1): 28-31.

Moise Desire Dihang, (2007), Mécanismes de coagulation et de floculation de suspensions d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux, Doctorat de l'université Paul Sabatier, Génie des procédés et de l'environnement.

Mottot, Y., (2000), Coagulants et floculants, Texte de la 2792 conférence de l'Université de tous les savoirs.

Moulin, S., Rozen-Rechels, D., Stankovic, M., (2013), Traitement des eaux usées, Centre d'enseignement et de recherches sur l'environnement et la soci.t. ERTI.

Muhl, Q.E., Du toit, E.S., Robbertse, P.J., (2011), Adaptability of Moringa oleifera Lam, (Horseradish) Tree seedlings to three temperature regimes, American Journal of plant Sciences 2: 776-780.

Musa, D.B., Garba, Y., Jibril, M.Y., Lukman, H., (2015), Costs and returns of Moringa (Moringa oleifera) production in Zuru local government area of kebbi state, Nigeria, NewYork science Journal, 8 (1).

-N-

Naumo Ngangmou, T., Tatsadjeu Ngouné, T., Montet, D., Carl Moses, F.M., (2013), Effect of pure culture fermentation on Biochemical composition of Moringa oleifera Lam leaves powders, Food and nutrition science, 4: 851-859.

Ndong, M., Wade, S., Dossou, N., Guiro, A.T., Diagne Gning, R., (2007), Valeur nutritionnelle du Moringa oleifera, étude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels sénégalais avec la poudre des feuilles, African Journal of food agriculture nutrition and development,7 (3).

-O-

Olson, M.E., (2001), Wood and bark anatomy in Moringa (Moringaceae), Haseltonia, 8: 85-121.

Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamanadass, R., et Anthony, S., (2009), Agro forestree Database, a tree reference and selection guide version.4.0.

Références bibliographiques

-P-

Paiva, P.M.G., Santana, G.M.S., Souza, I.F.A.C., Albuquerque, L.P., Agra-Neto, A.C., Albuquerque, A.C., Luz, L.A., Napoleao, T.H., Caelho, L.C.B.B., (2011), Effects of Lectins from opuntia ficusindia cladodes and Moringa oleifera seeds on survival of *Nasutitermes corniger*, *International Bioterrorism and Biodegradation*, 65: 982-989.

PamoTendonkeng, E.T., Boukila, B., Tendonkeng, F., Kana, J.R., Tonfack, L.B., Momo, M.C.S., (2002), Influence de la fumure organique, du NPK et du mélange des deux fertilisants sur la croissance de *Moringa oleifera* Lam, Dans l'Ouest Cameroun, 1-3.

Pernin, C., (2003), Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral, Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège, Thèse de doctorat, université de droit, d'économie et des sciences d'aix-Marseille, France.

Potelon, J.L., Zysman, K., (1998), Le guide des analyses de l'eau potable, Edition de La Lettre du Cadre Territorial S.E.P.T.

-R-

RAMACHANDRAN, C., PETER, K., GOPALAKRISHNAN, P., (1980), Drumstick (*Moringa oleifera*), a multipurpose Indian vegetable, *Economic botany*, 34, 276-283.

Ramade, F., (1998), Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau, Ed inscience internationale, Paris, 786p.

REJSEK, F., (2002), Analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques, Tome, I., Edition Scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux, 71, 144p.

Reyes Sanchez, N., Ledin, S., Ledin, I., (2006), Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua, *Agroforestry systems*, 66:231-242.

Rhoades, J.D., (1977), Potential of using saline agricultural drainage for irrigation, In Proc, Water management for irrigation and drainage, ASAE, Reno, Nevada, 85-116.

Rodier, J., (2005), L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8^{ème} Edition DUNOD technique, Paris, pp 1008-1043.

Rodier, J., (2009), Analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de Mer, 9^{ème} édition, Ed, Dunod bordas, Paris, 1526 p.

Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U., Stimm, B., (2009), *Moringa oleifera* Lam 1785, *Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie*.

Références bibliographiques

Rose, J.B., Farrah, S.R., Friedman, D., Riley, K., Hamann, C.L., Robbins, M., (1999), Public evaluation of advanced water for potable application, *Water Science and Technology*, 40 (4-5) 247- 252.

Ruhsing Pan, J., Huang, C., Chen, S., Chung, Y.C., (1999), Evaluation of a modified Chito san biopolymer for coagulation of colloidal particles, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng.Asp.* 147 (3): 359-364.

-S-

Smaili, A., Touati, G., (2018), étude du traitement par floculation-coagulation et son influence sur la qualité physicochimique et microbiologique, des eaux du barrage de tichihaf, mémoire de master université A. Mira, Bejaia.

Sumathy, R., Sankaranarayanan, S., Bama, P., Ramachandran, J., Vijayalakshmi, M., Deecaraman, M., (2013), Anti bacterial & anti oxidant activity of flavanoid rich Fraction from the petals of cassia auriculata—an in-vitro study, *Int. J. Pharm. Sci.*, 5 (3): 492-497.

Suschka, J., Ferreira, E., (1986), Activated sludge respire ometric measurements, *Water research*, 1986, pp.137-144.

-T-

Tarmoul, F., Sodi, M., (2007), Mémoire, Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel, *Tribune de l'eau* n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp : 27-32.

Touati, B., (2010), Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable, Thèse de Doctorat d'Etat en Aménagement du Territoire. Faculté des sciences de la terre, De la géographie et de l'aménagement du territoire, Université Mentouri, Constantine.

Tsaknis, J., Lalas, S., (2002), Characterization of Moringa oleifera seed oil_variety Periyakulam 1, *Journal of food composition and analysis*, 15:65-77.

-V-

Valiron, F., (1989), Gestion des eaux : alimentation en eau – assainissement, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris.

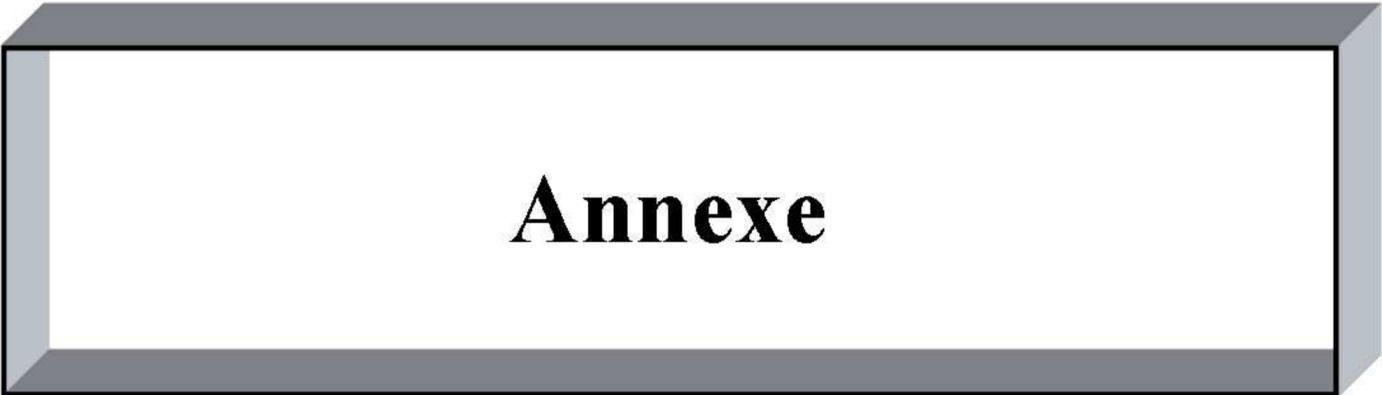
Parties Anonyme

Anonyme 1, (2004), Dictionnaire Larousse.

Anonyme 2, www.moringa news.org

Anonyme 3, (consulté le 12/05/2019), www.cap-sciences.net,

Références bibliographiques



Annexe

Liste des annexes

Annexe 01 : Matériels utilisé

Les appareils :

- Une plaque chauffante avec agitateur magnétique
- Une balance
- Turbidimètre
- pH mètre
- Spectrophotomètre
- Etuve universelle.
- Distillateur
- DCO mètre Réacteur
- Oxymètre
- Appareil de mesure de la DBO₅

La verrerie :

- Pipettes 1, 2, 5 et de 10ml
- Matras
- Erlenmeyer de 100ml
- Burettes graduées
- Poire
- Béchers
- Pissettes
- Entonnoirs
- Fioles de 50, 100 et 250ml
- Eprouvettes
- Barreaux magnétiques
- Spatules
- Verres de montre
- Tubes à essais
- Porte tubes
- Mortier et un pilon
- Papier filtre
- Papier absorbant
- Dessiccateur en verre
- Disque filtre
- Barreaux magnétiques
- Flacons en verre
- Flacons en plastique
- Micro pipette a pipette

Liste des annexes

Annexe 02 : préparation des solutions

1. Préparation d'un V= 500 ml d'une solution de NaOH à 0.02N pureté = 98%

- NaOH 0.8g
- Fiole 1000ml

Complété au trait de jauge avec l'eau distillée

2. Préparation d'un V=50 ml d'une solution de Phénolphtaléine à 0.5 %

- Phénolphthaléine 0.25g
- Ethanol 25ml
- Fiole 50ml

Complété au trait de jauge avec l'eau distillée

3. Préparation d'un V=100 ml d'une solution de méthyle orange à 0.5 %

- Méthyle orange 0.25g
- Fiole 50ml

Complété au trait de jauge avec l'eau distillée

4. Préparation d'un V=250ml d'une solution de H₂SO₄ à 0.02 N

- H₂SO₄ 142.5µl
- Eau distillée 249.9ml
- Fiole 250ml

5. Préparation de noir erriochrome (N.E.T)

- Noir d'erriochrome T (N.E.T) 0.25g
- Chlorure de sodium NaCl 25g

Broyer dans un mortier, Conserver à l'abri de lumière

6. Préparation d'un V=250ml d'une solution tampon ammoniacal à PH =10

- NH₄C₁₂ 16.875g
- NH₄OH 142.5ml
- Fiole 250ml

Complété au trait de jauge avec l'eau distillée

7. Préparation de solution EDTA-Na₂ 0.02N

- EDTA (poudre séchée pendant 1 heure à 180C°) 3.7298g
- Fiole 1L

Complété au trait de jauge avec l'eau distillée

8. Préparation du Murexide :

- Murexide 0.25g
- NaCl 25g

Broyer dans un mortier Conserver à l'abri de la lumière

9. Préparation d'un V=100ml d'une solution d'hydroxyde de sodium NaOH 1N

- NaOH 2.02g
- Fiole 50ml

Complété au trait de jauge avec l'eau distillée

10. Préparation d'un V=50 ml d'une solution de Chromate de potassium K₂CrO₄

- Chromate de potassium K₂CrO₄ 5g

Liste des annexes

• Fiole	50ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
Conserver à l'abri de la lumière	
11. Préparation d'un V=250 ml d'une solution de Nitrate d'argent 0.2N	
• Nitrate d'argent (Ag NO ₃ séché)	11.978g
• Fiole	250ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
Conserver à l'abri de la lumière	
12. Préparation d'un V=100ml d'une solution d'acide chlorhydrique à 50%	
• Acide chlorhydrique pure (HCl)	50ml
• Fiole	100ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
13. Préparation d'un V=100ml d'une solution de Molybdate d'ammonium	
• Molybdate d'ammonium	10g
• Fiole	100ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
14. Préparation d'un V=100ml d'une solution d'acide oxalique	
• Acide oxalique	7.5g
• Fiole	100ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
15. Préparation d'un V=500ml d'une solution de la chaux Ca(OH)₂	
• Ca(OH) ₂	0.063g
• Fiole	500ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
16. Préparation d'un V=250ml d'une solution de KMnO₄ 0.1N	
• KMnO ₄	0.8g
• Oxalate de sodium	1.675g
• Fiole	250ml
Complété au trait de jauge avec l'eau distillée	
17. solution d'hydroxyde de sodium	
• Hydroxyde de sodium	20g
• Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique	5g
• Eau déionisée q.s.p.	100ml
18. solution d'azoture de sodium	
• Fiole	50ml
• Azoture de sodium	25mg
• Eau distillée q.s.p.	50ml
19. solution mère étalon d'azote nitrite à 100mg /l	
• Nitrate de sodium anhydre	34.6mg
• Eau distillée q.s.p	250ml
20. Solution fille étalon d'azote nitrite à 10mg/l	

Liste des annexes

- Solution mère étalon d'azote nitrite à 100mg/l 10ml
- Eau distillée 90ml
- Fiole 100ml

21. Solution mère de phosphate

- Hydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4) 0.0716 g
- Eau distillée 10ml
- Fiole 100 ml
- Acide chlorhydrique pure (HCl) 1ml

22. Solution fille de phosphate

Solution mère de phosphate 1ml
Eau distillée 1 00ml

23. Solution Molybdate

- Acide sulfurique 2ml
- Eau distillée 40ml

Ajouter l'acide sulfurique à l'eau distillée, mélanger la solution et laisser refroidir.

- Molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 2.5g
- Eau distillée 7.5ml

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans l'eau distillée, mélange les solutions (28) et (29), laissé refroidir et diluer à 100ml.

24. Solution de chlorure stanneux

- Chlorure stanneux ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.25g
- Glycérol 10ml

Chauffer le mélange dans un bain-marie jusqu'à dissolution complète du chlorure stanneux.

Liste des annexes

Annexe 03 : Modes opératoires

1. Potentiel d'hydrogène (pH)

- Brancher puis allumer l'appareil, rincer la cellule avec de l'eau distillée puis l'essuyer avec le papier absorbant et plonger là dans la solution tampon ;
- Etalonner l'appareil avec la solution tampon (pH=7 ou 4 ou 10) et par la suite rincer l'électrode avec l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser ;
- Plonger l'électrode dans l'échantillon ;
- Attendre l'affichage stabilisé, puis noter les valeurs du pH et la température.

2. Conductivité électrique

Mode opératoire

- Brancher puis allumer l'appareil, rincer la cellule avec de l'eau distillée et avec l'échantillon puis l'essuyer avec le papier absorbant ;
- Plonger d'abord la cellule dans la solution de KCl pour l'étalonnage de la cellule et de l'appareil.
- Puis rincer à nouveau la cellule avec l'eau distillée et essuyer avec le papier absorbant avant de l'introduire dans l'échantillon. Mesurer la conductivité ;
- Lire la valeur stabilisée sur l'écran d'affichage, puis noter la valeur.

3. Turbidité

Mode opératoire

- Remplir la cuvette avec l'échantillon jusqu'au trait (environ 25 ml) ;
- Allumer l'appareil en appuyant sur « ENTRER », et attendre que l'affichage soit stable
- Placer la cuvette préparée dans son emplacement et fermer le couvercle ;
- Noter la valeur maximale affichée.

4. Détermination du résidu sec

Mode opératoire

- Tarer une capsule en porcelaine préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et séchée à 105°C pendant 24h (Pv).
- Prélever 100ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule en porcelaine.
- Porter celle-ci à ébullition jusqu'à évaporation à sels humides sur une plaque chauffante
- Ensuite, poursuivre l'évaporation totale de l'eau et à sec, dans l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.
- Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement (Pp).

5. Détermination des matières en suspension (MES)

Mode opératoire

- Mettre le papier filtre dans l'étuve pendant quelques minutes à 105°C. Sortir le filtre, puis le mettre dans le dessiccateur pour le refroidissement.
- Puis peser le filtre sur la balance à $\pm 0,1$ mg jusqu'à obtention d'un poids stable(Pv).

Liste des annexes

- Prendre une fiole de 100 ml, laver avec l'eau distillée.
- Prendre une prise d'essai de 100 ml, placer le filtre dans la rampe de filtration.
- Verser le volume d'eau jusqu'à filtration complète.
- Récupérer le filtre plus les MES et le mettre à l'étuve à 105°C pendant 2h.
- Mettre le filtre plus les MES dans le dessiccateur pendant quelques minutes jusqu'à refroidissement.

6. Dureté totale (TH)

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 25 ml de l'échantillon dans une fiole conique, puis en ajoute 2 ml de la solution tampon et une pincée de NET, qui donne une couleur violette.

Ensuite on titre avec l'EDTA en continuant d'agiter jusqu'à avoir un virage du rouge violet au bleu, on note le volume de l'EDTA versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

7. Dureté calcique (TH_{Ca})

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon dans une fiole conique, puis en ajoute 1ml de la solution NaOH (1N) et une pincée de Murexide avec une spatule (quelques grains), on agite quelques instants jusqu'à développement d'une coloration rose foncée. Ensuite on titre avec l'EDTA en continuant d'agiter jusqu'à avoir un virage du rose au bleu violet, on note le volume de l'EDTA versé. Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

8. Dureté magnésienne (TH_{Mg})

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon dans une fiole conique, puis en ajoute 2,5 ml de la solution d'oxalate de sodium et on agite puis on chauffe pendant 10 min à 30°C pour avoir rapidement un précipité d'oxalate de sodium, puis on filtre au-dessus d'un entonnoir munit d'un papier filtre et placé dans un erlenmeyer. Le filtrat est étendu à un volume de 25 ml avec l'eau distillée. Par la suite, on ajoute 2ml de solution tampon 10 et une pincée de NET (quelques grains).

Après quelques instants d'agitation, on titre avec l'EDTA en continuant d'agiter jusqu'à avoir un virage du rose violet au bleu. On note le volume de l'EDTA versé. Le titrage est refait 3fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

9. Titre alcalimétrique (TA)

Mode opératoire

Prélever dans un erlenmeyer 25ml d'eau à analyser, puis on ajoute 1 à 2 gouttes de solution de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer (pH > 8,3 ; TA>0) dans le cas contraire le TA est nul. Ce qui signifie qu'il n'existe pas de bases fortes (pH < 8,3).

Dans le cas où une coloration rose apparait, on doit titrer avec l'acide sulfurique à l'aide d'une burette en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution (pH = 8,3). On note le volume de H₂SO₄ versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

10. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Liste des annexes

Mode opératoire

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration ($TA=0$), ensuite ajouter 2 gouttes de solution de méthyle orange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune ou jaune orange ($pH = 4,3$). On note le volume de H_2SO_4 versé. Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

11. Dosage des chlorures (Cl^-) par la méthode de « MOHR »

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon d'eau brute dans une fiole conique.

Ajouter 2 gouttes de l'indicateur de chromate de potassium et titrer la solution par addition goutte à goutte de la solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution vire d'une couleur brun rougeâtre au jaune citron. On note le volume d' $AgNO_3$ versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

12. Analyse spectrophotométrique UV- Visible

Protocole de mesure de l'absorbance

Pour mesurer l'absorbance A d'une substance colorée en solution aqueuse à une longueur d'onde donnée, on place dans le spectrophotomètre, une cuve en plastique (milieu aqueux et domaine du visible, en verre (visible) ou en quartz (UV)) quel que soit le milieu, contenant la solution de référence, puis on sélectionne la longueur d'onde, ensuite on fait le « blanc » (on dit aussi : on règle le zéro du spectrophotomètre) : A (solution de référence + cuve) = 0.

On place, dans le spectrophotomètre une cuve identique à celle de la référence contenant la solution de la substance colorée à analyser, puis on lit la valeur de l'absorbance A , par comparaison au blanc.

13. Dosage des phosphates

Mode opératoire

Introduire 40 ml de l'eau à analyser dans une série de fioles jaugées de 50 ml, ajouter 4ml de solution d'acide molybdate et 10gouttes de la solution de chlorures stanneux, ajuster jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée et bien mélanger, laisser reposer 5mn puis effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 690 nm.

Les préparations des étalons, ainsi que leurs absorbances pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.

14. Détermination des nitrates

Dissoudre avec précaution l'hydroxyde de sodium dans 80mL d'eau distillée ; ajouter le sel sodique EDTA. Après dissolution et refroidissement, transvaser la solution dans une fiole jaugée de 100cc, ajuster le volume à 100 ml avec l'eau distillée.

Conserver cette solution dans un flacon de polyéthylène.

- Solution d'azoture de sodium :
- Azoture de sodium 25 mg
- Eau distillée q.s.p 100 ml
- Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/l :
- Nitrate de sodium anhydre 34 ,6 mg
- Eau distillée q.s.p 250 ml

Liste des annexes

Dissoudre 72.2mg de nitrate de potassium dans une fiole de 100cc, puis compléter au trait de jauge avec l'eau distillée.

A renouveler tous les deux mois.

- Solution fille étalon d'azote nitrique à 10 mg /l

Prélever avec une pipette de 10cc, un volume précis de 10 ml de la précédente solution mère dans une fiole jaugée de 100cc, puis compléter avec l'eau distillée.

Préparation de la solution étalon et dosage des nitrates

Mode opératoire

Dans une capsule en porcelaine de 60 ml, introduire successivement :

- 10 ml d'une Solution étalon d'azote nitrique 10 mg/l
- Ajouter 0,5 ml d'une Solution d'azoture de sodium
- Ensuite ajouter 0,2 ml d'Acide acétique pur à 100%

Agiter en tournant légèrement la capsule avec la main, afin d'homogénéiser le mélange. Attendre 5 min puis évaporer modérément à sec au bain-marie ou sur une plaque chauffante réglée à 80°C (ne pas surchauffer ni chauffer trop longtemps).

Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium, mélanger puis évaporer à sec sans calcination (à sels humides) sur la plaque chauffante. Laisser refroidir.

Reprendre le résidu par 1ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement.

Attendre 10 minutes, puis ajouter 15 ml d'eau distillée et 10ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune. Agiter la solution à la main avant d'effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm, par rapport au blanc (l'eau distillée). On mesure ainsi l'absorbance de la solution étalon Ae.

Préparation de la solution de l'échantillon d'eau et dosage des nitrates dans l'eau naturelle

Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau naturelle dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10mg/l, opérer une dilution).

Alcaliniser faiblement avec 1ml de la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre de dosage comme pour la courbe d'étalonnage, en suivant les mêmes étapes que précédemment :

- Ajouter 0.5 ml d'une solution d'azoture de sodium
- Ensuite ajouter 0.2 ml d'Acide acétique pur à 100%
- Agiter en tournant légèrement la capsule avec la main, afin d'homogénéiser le mélange.
- Attendre 5minutes puis évaporer modérément à sec au bain-marie ou sur une plaque chauffante réglée à 80°C (ne pas surchauffer trop longtemps).
- Ajouter 1ml de solution de salicylate de sodium, mélanger puis évaporer à sec sans calcination (à sels humides) sur la plaque chauffante. Laisser refroidir.
- Reprendre le résidu par 1ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement.
- Attendre 10 minutes, puis ajouter 15 ml d'eau distillée et 10ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune.

Liste des annexes

- Agiter la solution à la main avant d'effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm, par rapport au blanc (l'eau distillée).
- On mesure ainsi l'absorbance de l'échantillon inconnue d'eau naturelle Ai.

14. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

- Prendre 10 ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml avec de l'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante, agiter quelque seconde (agitation lente).
- Ajouter 2ml de la solution chlorure de baryum.
- Laisser agiter énergiquement pendant 1 min.
- Passer au spectrophotomètre à 420 nm.

15. Détermination l'oxygène dissous $\text{O}_{2\text{dissous}}$

Mode Opérateur

Effectuer le dosage sur l'eau à analyser en se conformant aux instructions du fabricant de l'appareil.

Après avoir plongé la sonde dans l'échantillon. Lui laisser le temps nécessaire pour atteindre la température de l'eau et fournir une réponse stable suivant la nature de l'appareil utilisée et du résultat recherché. Contrôler au besoin la température de l'eau ou de pression atmosphérique.

Liste des annexes

Annexe 04 : Demande biologique en oxygène (méthode OXYTOP)

Réactifs :

- Pastilles de soude (NaOH).

Appareillage :

- Armoire thermostatique DBO.
- Système de mesure Oxi Top.
- Flacon échantillon brun (volume nominal 510ml).
- Barreaux magnétiques.
- Godet caoutchouc

Mode opératoire

- Prise d'essai :

Elle dépend de la charge de l'échantillon, celle-ci dépend de l'origine de l'échantillon. Industrielle ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en matière en suspension.

- Sélection du volume d'échantillon

Estimer la valeur de DBO₅ 80% ou 50 % de la valeur DCO selon la nature de l'échantillon.

Vérifier la plage de mesure correspondante dans le tableau ci-dessous et calculer les valeurs correctes pour le volume de l'échantillon et le facteur.

Dosage :

- Rincer le flacon avec de l'échantillon.
- Mesurer exactement la quantité souhaitée d'échantillon saturé en oxygène (homogénéiser avec précaution)
- Mettre le barreau magnétique dans le flacon.
- Insérer le godet caoutchouc dans le goulot du flacon
- Mettre 02 pastilles de soude dans le godet caoutchouc à l'aide d'une pince.
- Visser l'Oxi Top directement sur le flacon échantillon (de manière étanche)

Appuyer sur S et M simultanément jusqu'à ce que l'afficheur indique 00

Afficheur : les valeurs mémorisées sont effacées

- Maintenir le flacon de mesure avec l'Oxitop à 20°C pendant 05 jours (par ex. dans un incubateur).

Liste des annexes

Annexe 05 : Dosage de l'azote total kjeldahl

Produits, matériel et instrumentation

❖ **Produits**

- Catalyseur de minéralisation ;
- Acide sulfurique concentré (produit dangereux) ;
- Solution d'acide borique agent anti moussant ;
- Solution d'acide sulfurique 0,1 N ;
- Lessive de soude à 300 g/l (produit dangereux) ;
- Indicateur coloré.

❖ **Matériel**

- Tubes de minéralisation ;
- Burette de 25 ml ;
- Pipettes de 10 et 25 ;
- Jaugé de 100 ml ;
- Eprouvettes de 10 et 100 ml ;
- Bêchers ;
- Billes de verre ;
- Agitateur magnétique.

❖ **Instrumentation**

- Unité de distillation
- Digesteur

❖ **Mode opératoire**

Mettre le digesteur sous tension dès l'arrivée au laboratoire.

1. Préparation de l'échantillon

On préparera simultanément trois prises d'essais du même échantillon.

Introduire successivement dans chaque tube de minéralisation :

Environ 3 g de catalyseur ;

100 ml d'échantillon à l'éprouvette ;

10 ml d'acide sulfurique concentré, à l'éprouvette et avec précaution ;

Quelques gouttes d'anti moussant ;

Quelques billes de verre.

2. Minéralisation

Placer les tubes dans les loges du digesteur ;

Raccorder les tubes au collecteur ;

Mettre en marche la trompe à eau reliée au collecteur ;

Agir sur le rhéostat de telle sorte que l'ébullition soit sans excès ;

Augmenter légèrement la puissance de chauffe, dès que l'eau a disparu et qu'il ne reste pratiquement plus que l'acide ;

Laisser la minéralisation se faire durant 45 m dès l'apparition des fumées blanches ;

Eteindre le digesteur à l'issue de ce laps de temps ;

Saisir le collecteur avec la pince prévue à cet usage et déposer avec précaution les tubes sur le portoir ;

Laisser refroidir puis retirer le collecteur ;

Liste des annexes

Dissoudre de nouveau le précipité au cas où il apparaîtrait, en y ajoutant doucement un peu d'eau distillée.

3. Distillation

La mise en route de l'appareil doit être effectuée en présence du moniteur qui effectuera les réglages éventuels et en respectant scrupuleusement l'ordre des séquences suivant :

✓ Préparation de la distillation

Ouvrir le robinet d'eau et vérifier que le débit est d'environ 1 l/mn ;

Mettre l'appareil sous tension ;

Vérifier que le vase intermédiaire est vide, sinon ouvrir le robinet de vidange et le refermer lorsque l'opération est effectuée ;

Mettre une ou deux gouttes de phénophtaléine dans chacun des tubes échantillons ;

Positionner un tube sur son support et veiller à ce que le flexible en PTFE soit immergé d'au moins 1 cm dans la solution ;

Ajouter éventuellement avec précaution, un peu d'eau ;

Obturer le tube avec le bouchon de raccord et poser le tube sur le plateau basculant ;

Placer un erlenmeyer contenant 25 ml d'acide borique (éprouvette) sur le socle de réception ;

Introduire dans l'erlenmeyer quelques gouttes d'indicateur coloré ;

Ajouter la quantité d'eau distillée nécessaire pour que le tube soit au contact de la solution d'acide borique ;

Introduire doucement environ 50 cm³ de soude à l'acide du robinet marqué « NaOH » ;

Refermer le robinet.

✓ Distillation proprement dite

- Mettre en marche la distillation en agissant sur le robinet marqué « distillation » ;
- Observer que la solution contenue dans l'erlenmeyer vire rapidement au vert ;
- Recueillir environ 100 à 200 ml de distillat ;
- Retirer l'erlenmeyer ;
- Rincer le flexible d'un jet de pissette et recueillir les eaux de rinçage ;
- Fermer le robinet « distillation » ;
- Observer, dans les secondes qui suivent, l'aspiration du contenu du tube de distillation dans le vase intermédiaire ;
- Retirer le tube de distillation avec un gant d'amiante et le déposer sur son portoir ;
- Actionner le robinet « vidange » pour éliminer le contenu du vase intermédiaire ;
- Rincer le flexible en PTFE, l'appareil est prêt pour une nouvelle distillation.

4. Dosage

- Titrer le contenu de l'erlenmeyer par H₂SO₄ à 0,1 N jusqu'à ce que la solution verte revienne à sa couleur initiale ;
- Noter V₁ le volume d'acide utilisé ;
- Vider et rincer l'erlenmeyer ;
- Introduire 25 ml d'acide borique (indicateur coloré) dans l'erlenmeyer, et procéder au même dosage que pour le distillat ;
- Noter V₀ le volume d'acide utilisé pour obtenir le changement de coloration, V₀ correspond à l'ammoniac éventuellement apporté par le tampon borique ;

Liste des annexes

- Noter $(V_1 - V_0)$ représente le volume d'acide utilisé pour neutraliser le seul ammoniac libéré par l'échantillon après minéralisation.

$$N_1 \cdot (V_1 - V_0) = N_2 \cdot V_2$$

$$N_2 = N_1 \cdot (V_1 - V_0) / V_2$$

Avec : $(V_1 - V_0)$ = volume d'acide nécessaire à la neutralisation ;

N_1 = normalité de l'acide ;

V_2 = volume de la prise d'essai (100 ml) ;

N_2 = normalité de la solution d'ammoniac.

L'azote en mg/l s'exprime alors par $T_2 \text{ mg/l} = N_2 \cdot 1000 \cdot 14$

Résumé

Les graines sèches de *Moringa Oleifera* contiennent une protéine, caractérisée par des propriétés floculantes purificatrices des eaux turbides. Le travail réalisé dans le cadre de cette étude consiste à tester l'efficacité de la poudre des graines de *Moringa Oleifera* en comparaison avec un coagulant synthétique (sulfate d'aluminium) pour le traitement d'une eau de surface provenant du barrage de Tichy-Haf et les eaux usées de la STEP de Souk-El-Tenine. A cet effet, des essais à l'échelle laboratoire ont été effectués utilisant la méthode «Jar-Test». La performance de la coagulation-floculation a été évaluée à travers la mesure des paramètres physico-chimiques du surnageant. Concernant le traitement des eaux du barrage avec le sulfate d'aluminium, nous avons obtenu les résultats suivants. Mis à part la réduction de la turbidité d'une valeur de 0.96 NTU à 0.1 NTU l'ensemble des résultats demeurent invariables. Quant aux eaux traitées avec le *Moringa oleifera*. La conductivité diminue de 1255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette diminution est obtenue avec une dose de la solution de Moringa de 30 ml ; Concernant les eaux usées de la STEP, le résidu sec diminue fortement de 800 mg/l à 200 mg/l. Ce résultat est obtenu avec la plus faible des doses qui est de 10 ml. La turbidité d'une valeur de 1.25 NTU à 0.35 NTU ; La réduction de la concentration des phosphates de 18.12 mg/l à 3.18 mg/l ; La diminution excessive de concentration en MES de 3375 mg/l à 163 mg/l qui est obtenue avec une dose de 100ml de *M.O.* L'application de *Moringa Oleifera* comme coagulant primaire a montré une bonne efficacité comparativement à celle trouvée lors de l'utilisation du coagulant chimique. *Moringa Oleifera* pourrait être considéré comme un coagulant alternatif en comparaison aux coagulants chimiques conventionnels pour le traitement des eaux de surface, avec un moindre risque sur la santé humaine et l'environnement.

Mots clés : Coagulant synthétique, graines de *Moringa Oleifera*, Coagulation-floculation, eaux de surface, Barrage Tichy-Haf, eaux usées de la STEP, Bejaia, Algérie.

Abstract

The dry seeds of *Moringa Oleifera* contain a protein, characterized by flocculating properties purifying turbid waters. The work done in this study is to test the effectiveness of *Moringa Oleifera* seed powder in comparison with a synthetic coagulant (aluminum sulphate) for the treatment of surface water from the Tichy-Haf dam and wastewater from the Souk-El-Tenine WWTP. For this purpose, tests at the laboratory scale were carried out using the "Jar-Test" method. The performance of coagulation-flocculation was evaluated by measuring the physicochemical parameters of the supernatant. Regarding the treatment of dam water with aluminum sulphate, we obtained the following results. Apart from reducing the turbidity from 0.96 NTU to 0.1 NTU, all the results remain invariable. As for waters treated with *Moringa oleifera*. The conductivity decreases from 1255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. This reduction is obtained with a dose of 30 ml *Moringa* solution; For wastewater from the WWTP, the dry residue decreases sharply from 800 mg /l to 200 mg /l. This result is obtained with the lowest dose which is 10 ml. Turbidity from 1.25 NTU to 0.35 NTU; The reduction in phosphate concentration from 18.12 mg/l to 3.18 mg /l; The excessive reduction in MES concentration from 3375 mg/l to 163 mg/l which is obtained with a dose of 100 ml of *M.O.* The application of *Moringa Oleifera* as a primary coagulant showed good efficacy compared to that found when using the chemical coagulant. *Moringa Oleifera* could be considered as an alternative coagulant compared to conventional chemical coagulants for the treatment of surface water, with a lower risk to human health and the environment.

Key words: Synthetic coagulant, *Moringa Oleifera* seeds, Coagulation-flocculation, surface water, Tichy-Haf dam, WWTP wastewater, Bejaia, Algeria.