

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE
N° :



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

**Par: Leblalta Mohamed
Aouina Badreddine**

THEME

Élimination des pesticides par coagulation - floculation

Soutenu devant le jury composé de:

			Université M'sila	Président
Temim	Djamal	MAA	Université M'sila	Rapporteur
			Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce mémoire de fin d'études.

Ce travail a été réalisé au laboratoire de chimie des eaux du Je tiens à remercier à Monsieur Temim Djemal, mon encadreur de mémoire, ma profonde reconnaissance pour l'encadrement et les conseils qu'il m'a apportés

Je tiens à remercier à Monsieur Geumache Abderezak, ma profonde reconnaissance pour l'encadrement et les conseils qu'il m'a apportés.

Il m'a transmis ses connaissances scientifiques et m'a supporté pendant mes travaux en brillant par sa gentillesse, sa générosité et ses encouragements.



Je veux également exprimer toute ma gratitude aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Mes vifs remerciements vont également à :

AOUINA Samia et TIAIBA Mohammed pour leur assistance permanente, leur disponibilité et leur aide

dans mes travaux expérimentaux au laboratoire

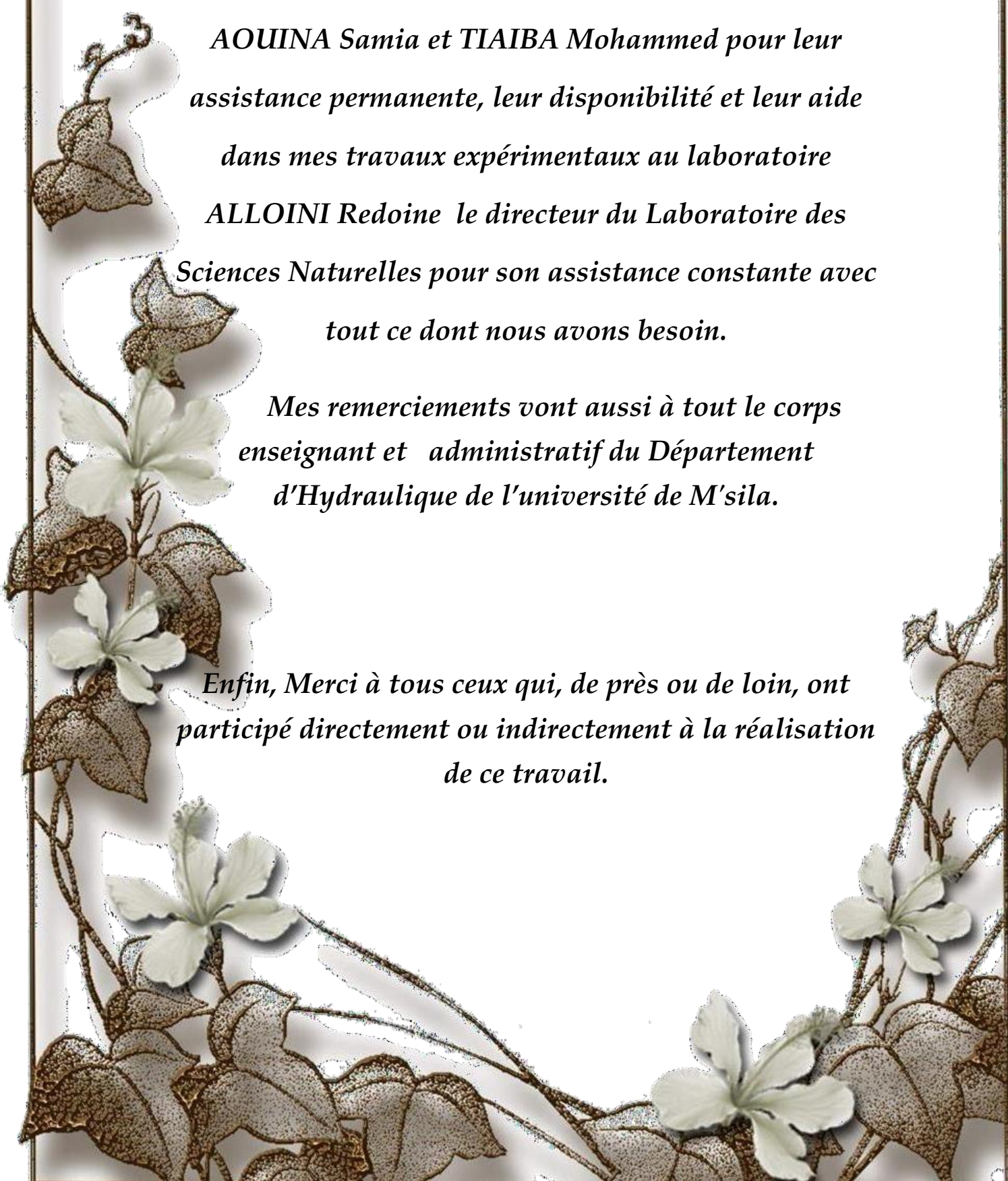
ALLOINI Redoine le directeur du Laboratoire des

Sciences Naturelles pour son assistance constante avec

tout ce dont nous avons besoin.

Mes remerciements vont aussi à tout le corps enseignant et administratif du Département d'Hydraulique de l'université de M'sila.

Enfin, Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.



Dédicas

Je dédie ce modeste travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cassé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères,

A mon chère sœur,

Pour soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher binôme Badro,

Pour son entente et sa sympathie.

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mon cher amis Bilal,

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

A mes chères ami (e) s,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille.

LEBLALTA Mohamed

Dédicas

Je dédie ce modeste travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cassé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères,

A mon chère sœur,

Pour soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher binôme Boha,

Pour son entente et sa sympathie.

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mon cher amis Bilal,

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

A mes chères ami (e) s,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille.

Aouina Badreddine

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة معالجة الماء بالمبيد بشكل تجريبي بتقنية التخثر - التلبد (C-F). درسنا المعلمات الرئيسية مثل ، وقت وسرعة التحريض ، ووقت الاستقرار ، والجرعة المثلى من مواد التخثر (كبريتات الألومنيوم وكوريد الحديدية) ، ودرجة الحموضة الأولية وتقنية التأثير (CF) لل التخلص من مبيدات الآفات المستخدمة في الزراعة (Reldane EC-40).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن التخثر والتلبد هي تقنية جيدة للغاية للتخلص من المبيدات. الكلمات الرئيسية: التخثر - التلبد ، التعكر ، اختبار الجرة ، كبريتات الألومنيوم ، كلوريد الحديدية ،

Abstarct

The objective of this work was to experimentally study the treatment of water with the pesticide by the technique of coagulation-flocculation (C-F). We studied the main parameters such as, the time and speed of agitation, the settling time, the optimal dose of coagulants (Aluminum sulphate and Ferric chloride), the initial pH and influencing technique (CF) for the elimination of a pesticide used in agriculture (Reldane EC-40).

The results obtained show that coagulation-flocculation is a very good technique for eliminating pesticides.

Keywords: Coagulation-flocculation, Turbidity, Jar test, Aluminum sulphate, Ferric chloride,

Résumé

Ce travail avait pour objectif d'étudier expérimentalement le traitement des eaux polluée avec le pesticide par la technique de coagulation-floculation (C-F). Nous avons étudié les principaux paramètres tels que, le temps et la vitesse d'agitation, le temps de décantation, la dose optimale des coagulants (Sulfate d'aluminium et Chlorure ferrique), le pH initial et influençant la technique (C-F) pour l'élimination d'un pesticide utilisé dans l'agriculture (Reldane EC-40).

Les résultats obtenus montrent que la coagulation-floculation est une très bonne technique pour éliminer des pesticides.

Mots clés : Coagulation-floculation, Turbidité, Jar test, Sulfate d'aluminium, Chlorure ferrique,

SOMMAIRE

Liste des photos	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1.Introduction	2
I.2. Pollution des eaux	2
I.3. Définition de l'eau agricole polluée	3
I.4. Origine des polluants et types de pollutions agricoles.....	3
I.4.1. Pollution physique	3
I.4.2. Pollution mécanique	4
I.4.3. Pollution thermique	4
I.4.4. Pollution radioactive	4
I.4.5. Pollution chimique	4
I.4.6. Pollution organique.....	4
a. Hydrocarbures	5
b. Phénols	5
I.4.7. Pollution minérale	6
a. Métaux lourds	6
b. Cyanure	6
c. Pollution d'azote	6
d. Pollution par le phosphore.....	6

I.4.8. Pollution microbiologique.....	6
I.5. Paramètres de mesure de la pollution.....	7
I.5.1. Paramètres organoleptiques.....	7
a. Couleur.....	7
b. Odeur.....	7
I.5.2. Paramètres physiques.....	7
a. Température.....	7
b. Potentiel d'hydrogène (pH)	7
c. Turbidité	7
d. Matières en suspension (MES).....	8
I.5.3. Paramètres chimiques	8
a. Demande chimique en oxygène (DCO).....	8
b. Demande biologique en oxygène (DBO5)	8
c. Carbone total organique (COT)	8
d. Azote total (NT)	9
e. Phosphore total (PT)	9
I.5.4. Autres paramètres	9
a. Hydrocarbures.....	9
b. Micropolluants.....	9
I.6. Historique des pesticides.....	10
I.6.1. Classification des pesticides.....	10
❖ Les insecticides.....	10
❖ Les fongicides.....	11
❖ Les herbicides	11

I.6.2. Deuxième système de classification.....	12
I.6.2.1.Les organophosphorés aliphatiques.....	12
I.6.2.2.Les Organophosphorés à cycle phényle	12
I.6.2.3.Les pesticides inorganiques.....	13
I.6.2.4.Les Bio-pesticides.....	13
I.7. Formule chimiques de quelques pesticides.....	13
I.8. Utilisation des pesticides.....	17
I.8.1.En Algérie.....	17
I.9. Législation sur l'environnement.....	19
I.10.Impact sur l'environnement.....	21
I.10.1. Impact sur le sol.....	21
I.10.2.Impact sur l'air.....	23
I.10.3.Impact sur l'eau.....	23
I.11. Conclusion.....	24

Chapitre II: Généralité sur les procédés de traitement des eaux

II.1. Introduction.....	25
II.2. Méthodes biologiques.....	25
a. Traitement aérobie.....	25
b. Traitement anaérobie	26
II.3. Méthodes physiques	27
a. Filtration sur membrane.....	27
b. Adsorption sur charbon actif.....	27
II.4.Méthodes physico-chimiques.....	28
❖ Coagulation-floculation.....	28
II.5. Méthodes chimiques.....	29

II.6. La coagulation-floculation.....	30
II.6. 1. Caractéristiques des particules à éliminer.....	30
II.6. 1.1. Généralités.....	30
a) Les matières en suspension	31
b) Les particules colloïdales.....	31
c) Les matières dissoutes.....	31
II.6. 1.2. Les types des particules colloïdales.....	31
a) Les particules colloïdales hydrophiles.....	31
b) Les particules colloïdales hydrophobes.....	31
II.6. 1.3. Stabilité des particules colloïdales.....	32
a) Force d'attraction-répulsion.....	32
b) Théorie de la double couche.....	33
théorie de Helmholtz.....	33
théorie de Gouy-Chapman.....	33
théorie de Stern.....	33
❖ La potentielle thermodynamique ou potentiel Stern.....	33
❖ La potentielle électrocinétique Zêta.....	34
II.6.2. La coagulation– floculation.....	34
II.6.2.1. La Coagulation.....	35
a) Définition.....	35
b) Stratégie.....	35
c) Déstabilisation des particules colloïdales.....	35
1. Compression de la double couche.....	35
2. Adsorption et neutralisation de la charge.....	36

3.Emprisonnement des particules dans un Précipité.....	36
4. Adsorption et pontage entre les particules.....	36
d) Les Coagulants.....	37
❖ Les sels d'aluminium.....	37
❖ Sulfate d'aluminium.....	38
❖ Chlorure d'aluminium.....	38
❖ Les sels de fer.....	38
❖ Sulfate ferrique.....	38
❖ Chlorure ferrique.....	39
e)Les facteurs influençant dans la coagulation.....	39
❖ Influence du pH.....	39
❖ Influence des sels dissous.....	39
❖ Influence de coagulant.....	40
❖ Influence de la température de l'eau.....	40
❖ Influence de la technique de mélange et la vitesse d'agitation.....	40
❖ Influence de la turbidité.....	41
❖ Influence de la dose de coagulant.....	41
II.6.2.2.La floculation	41
a) Types de floculation.....	41
❖ Floculation péricinétique.....	41
❖ Floculation orthocinétique.....	42
b)Floculants (adjuvants de coagulation) et processus de floculation.....	42
* Mécanisme d'action des poly-électrolyte.....	43
- Floculation par neutralisation de charge (annulation du potentiel zêta).....	43
- Floculation par adsorption physicochimique des polymères (Phénomène de réticulation).....	43

II.7. Conclusion	44
-------------------------------	-----------

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1.Introduction.....	45
--------------------------------	-----------

III.2.Procédure expérimentale.....	45
-------------------------------------------	-----------

III.2.1. Mode opératoire en Jar-test.....	45
--------------------------------------------------	-----------

III.3. Caractéristiques du pesticide Reldane EC40.....	46
---------------------------------------------------------------	-----------

III.4. Préparation des solutions.....	48
----------------------------------------------	-----------

III.4.1. Dose du coagulant

(Sulfate d'aluminium et Chlorure ferrique).....	48
--------------------------------------------------------	-----------

III.4.2.Effluent synthétique de pesticides	48
---------------------------------------------------------	-----------

.

III.5.Méthodes analytiques.....	49
----------------------------------------	-----------

III.5.1.Suivi des paramètres en ligne.....	49
---------------------------------------------------	-----------

III.5.2.Analyse physicochimique.....	50
---------------------------------------------	-----------

a) Mesure de la turbidité.....	50
---------------------------------------	-----------

b) Mesure de l'absorbance.....	51
---------------------------------------	-----------

c) Mesure des matières en suspensions (MES).....	52
---------------------------------------------------------	-----------

d) Mesure de la demande biochimique en oxygène DBO.....	52
----------------------------------------------------------------	-----------

e) Mesure de la demande chimique en oxygène(DCO).....	54
--------------------------------------------------------------	-----------

III.6.Conclusion	55
-------------------------------	-----------

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV .1. Introduction.....	56
---------------------------------	-----------

IV.2. Spectre d'absorption en UV-visible.....	56
------------------------------------------------------	-----------

IV.3. Courbe d'étalonnage.....	57
---------------------------------------	-----------

IV .4. Effet du temps et de la vitesse d'agitation	57
-----------------------------------------------------------------	-----------

IV .4.1. Cas de la coagulation.....	57
--------------------------------------------	-----------

IV .5. Effet de la dose du coagulant.....	58
--------------------------------------------------	-----------

IV .5.1.Sulfate d'alumine	58
IV .5.2.Chlorure ferrique.....	59
IV .6. Effet du pH initial	60
IV .6.1. En présence (SA)	60
IV .6.2. En présence de FeCl ₃	61
IV .7.Influence de la concentration initiale du pesticide sur l'élimination de la turbidité.....	63
IV .7.1. En présence de sulfate d'alumine.....	63
IV .7.2. En présence de FeCl ₃	64
IV .8. Conclusion.....	64
Conclusion générale.....	66

Liste des Abréviation

pH : Potentiel d'hydrogène

MES : Matières en suspension

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO5 : Demande biologique en oxygène

COT : Carbone total organique

NT : Azote total

PT : Phosphore total

FA : Force d'attraction

FR : Force de répulsion électrostatique

P_z : potentiel zêta

E_r : l'énergie répulsive

E_a : l'énergie attractive

CEP : concentration environnementale prédite

CSEP : concentration environnementale sans effet

c-f : La coagulation-floculation

(SA) : Sulfate d'alumine

Liste des Figure

Figures	Titre	Page
Figure I.1	Pollution des eaux	3
Figure I.2	Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau	10
Figure I.3	Les insecticides	11
Figure I.4	Les fongicides	11
Figure I.5	Les herbicides	12
Figure I.6	Structure générale de deux pesticides chlorés	13
Figure I.7	Structure chimiques de 16 pesticides organochlorés	14
Figure I.8	Structure chimique de pesticides organophosphorés	14
Figure I.9	Structure de pesticides carbamates	15
Figure I.10	Structure chimique de pesticides azoles	16
Figure I.11	Structure chimique des thiazoles	16
Figure I.12	des pesticides importés en Algérie en tonnes de 1975 à 2007	17
Figure I.13	Les pesticides les plus utilisés en Algérie	18
Figure II.1	Traitement aérobie	26
Figure II.2	Traitement anaérobie	26
Figure II.3	technique Filtration sur membrane	27
Figure II.4	technique Adsorption sur charbon actif	28
Figure II.6	nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement	30
Figure II.7	Double couche d'une particule colloïdale	32
Figure II.8	Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion Electrostatique	33
Figure II.9	Etat de surface des colloïdes selon la théorie de la double couche.	34

Figure II.10	Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation	36
Figure II.11	Adsorption et pontage à l'aide de polymères	37
Figure II.12	Les différentes étapes du processus de floculation	43
Figure III.3	Formule développée du Reldane EC40	47
Photos IV.1	Spectre d'absorption UV-visible du pesticide étudié	56
Figure IV .2	Courbe d'étalonnage du pesticide au maximum d'absorption	57
Figure IV .3	Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité	58
Figure IV .4	Effet de la dose du coagulant (SA)et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité	58
Figure IV .5	Effet de la dose du coagulant (FeCl₃)et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité	59
Figure IV .6	. Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité	60
Figure IV .7	Evolution du pH au cours de la C-F en présence de SA	61
Figure IV .8	Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité	61
Figure IV .9	Evolution du pH au cours de la C-Fen présence de FeCl₃	62
Figure IV.11	Effet de la concentration initiale du pesticide en présence du(SA) sur l'élimination de la turbidité	63
Figure IV .12	Effet de la concentration initiale du pesticide en présence de FeCl₃sur l'élimination de la turbidité	64

Liste des photos

Photos	Titre	Page
Photos II.5	Appareil du Jar test	29
Photos III.1	Appareil du Jar test	46
Photos III.2	pesticide Reldane EC40	47
Photos III.4	Etapes de préparation de solution synthétique	48
Photos III.5	Microprocesseur pH Mètre "Hanna pH 210"	50
Photos III.6	Conductimètre "Hanna, EC214 "	50
Photos III.7	Turbidimètre Hanna "HI88703"	51
Photos III.8	Dispositif représentant le spectrophotomètre utilisé	52
Photos III.9	DBO-mètre OxiDirect	54
Photos III.10	DCO-mètre "OxiDirect"	55
Figure IV .10	Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité en fonction le temps	62

Liste de tableau

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Modalités d'utilisation des pesticides.	19
Tableau I.2	Valeurs limites des paramètres de rejets Des effluents liquides	20
Tableau II.1	Dérivés des sels d'aluminium et de fer	37
Tableau II.2	Sulfate d'aluminium et ses concentrations	38
Tableau II.3	Chlorure ferrique et ses concentrations	39
Tableau III.1	Propriétés du Reldane EC40	47
Tableau III .2	Caractéristiques de l'effluent synthétique utilisé	49
Tableau III.3	Volume d'échantillon en fonction de la gamme de la DBO₅	54

Introduction générale

Introduction générale

Les pesticides présentent une forte charge en pollution très toxique qui nécessite un traitement avant tout rejet dans le milieu récepteur. La protection de l'environnement est devenue l'un des enjeux majeurs du développement économique. Au niveau national et international, les politiques des développements économiques et environnementales se renforcent l'une avec l'autre, et l'environnement est devenu à la fois un marché, un facteur de croissance et un élément de concurrence, fait désormais partie intégrante de toutes les stratégies industrielles.

Différentes techniques sont utilisées pour la clarification des eaux résiduaires. Parmi lesquelles la coagulation-floculation (C-F) est le traitement chimique le plus utilisé. C'est une étape indispensable au traitement des eaux chargées en particules colloïdales, trop petites pour décanter sous l'effet de la gravité et qui sont à l'origine de la couleur et de la turbidité des eaux. L'étude de l'étape de coagulation-floculation se fait en laboratoire, dans une installation appelée Jar-Test, permettant la sélection du meilleur jeu de conditions opératoires en vue de l'étape de décantation.

Cette étude a pour objectif de trouver ces conditions opératoires pour la clarification des eaux contaminées par des pesticides par C-F, en étudiant l'effet de la vitesse et le temps d'agitation, le temps de décantation, la dose et le type du coagulant et le pH initial.

Pour mener cette étude, nous avons adopté le plan suivant.

- Introduction générale,
- Le chapitre I présente une synthèse bibliographique sur la pollution,
- Le chapitre II Généralité sur les procédés de traitement des eaux par la technique coagulation-floculation.
- Le chapitre III décrit la procédure expérimentale suivie, les pesticides étudiés, les analyses effectuées et le détail des conditions opératoires choisies pour les expériences.
- Le chapitre IV résume les principaux résultats obtenus et leur interprétation.
- Une conclusion générale et les perspectives viendront résumer ce travail.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction:

Le développement considérable des activités humaines a provoqué une pollution et une utilisation réduite des ressources en eau. Ce problème ne se traite plus à l'échelle locale ou régionale mais il est devenu de dimension mondiale. Les traitements biologiques des eaux usées sont des méthodes souvent efficaces et peu coûteuses. Ils sont utilisés pour le traitement des eaux usées urbaines, mais aussi de certaines eaux issues du domaine agroalimentaire. La principale contrainte d'utilisation systématique de ces méthodes de traitement réside dans la difficulté d'acclimater des bactéries à certains effluents Agriculture et à leur inhibition par certains composants chimiques. De nombreux procédés sont mis en œuvre, tels que l'osmose inverse, l'oxydation ou la réduction chimique, la dégradation photocatalytique ... Ce pendant, du fait de la composition très variable de ces eaux et à cause de la complexité de la manipulation des produits chimiques, la plupart de ces méthodes conventionnelles commencent à s'avérer insuffisantes pour un traitement simple et efficace et nécessitant une consommation minimale en réactifs.

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par de fines particules, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation-floculation [1,2].

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques (coagulants). La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées après l'ajout d'un flocculant. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

I.2. Pollution des eaux:

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables, telles que, les microorganismes, les produits toxiques.

Ces substances polluantes peuvent avoir différentes origines :

- ❖ Urbaine (activités domestiques, eaux d'égout, eaux de cuisine ...)
- ❖ Agricole (engrais, pesticides)
- ❖ Industrielle (chimie - pharmacie, pétrochimie, raffinage, textile ...).

La pollution est directement liée aux activités industrielles et agricoles, Nous intéressons aux rejets liquides transportés par l'eau, appelés couramment les eaux résiduaires industrielles transportant en général divers produits hautement toxiques avec des taux très élevés[3].



Figure I.1.Pollution des eaux [A.1]

I.3. Définition de l'eau agricole polluée:

La pollution des eaux par des produits phytosanitaires engendre des problèmes de santé environnementale. Les pertes d'azote et de phosphore, provenant des engrais azotés et phosphorés minéraux ou des épandages de lisiers et de fientes entraînent l'eutrophisation des eaux souterraines et de surface, ainsi que des eaux côtières. Les impacts en aval induisent un appauvrissement en espèces dans les zones marines (dystrophisation des estuaires, création de zones marines mortes dont la surface a doublé tous les 10 ans depuis 1960)[4].

I.4. Origine des polluants et types de pollutions agricoles:

Les eaux résiduaires agricoles sont spécifiques par leur volume et leur composition. On distingue trois types de pollution.

I.4.1. Pollution physique:

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive [6,7].

I.4.2. Pollution mécanique:

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les ERI, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension (MES).

I.4.3. Pollution thermique:

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..) ont une température de l'ordre de 70 à 80 °C. Elle diminue jusqu' à 40 ou 45 °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralentit la plupart des réactions chimiques vitales, voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [6-8].

I.4.4. Pollution radioactive:

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ses formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [6-8].

I.4.5. Pollution chimique:

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- ✓ Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols ...)
- ✓ Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...)

I.4.6. Pollution organique:

C'est l'ensemble des effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons

par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives [8,9].

a. Hydrocarbures:

La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires). Les effets des hydrocarbures dans le milieu marin sont considérables. Ils dépendent largement de leur composition. En fait leurs activités peuvent s'exercer selon plusieurs modalités très différentes [7,10].

- **Toxicité aiguë:**

Elle s'exerce sur l'ensemble des êtres vivants du milieu (végétaux, animaux ou bactéries) provoquant des disparitions immédiates des poissons s'effectuent par colmatage des bronches. Les oiseaux sont également tués en masses par engluage des plumes. On n'estime que 150 000 à 400 000 le nombre d'oiseaux tués annuellement par les hydrocarbures [10].

- **Toxicité à long terme:**

Les hydrocarbures ou les produits de dégradation, peuvent être accumulés par les différents organismes marins, après leur ingestion, leurs effets peuvent s'étaler sur des périodes très longues. Ce danger est évidemment plus grave lorsqu'il s'agit des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA) cancérigènes (méthyle chlorolanthrène, benzanthracènes, benzopyrènes). Ils sont repris par les chaînes alimentaires et concentrés jusqu'à des taux très élevés. On imagine le danger que peut présenter ce phénomène pour le consommateur humain [10].

b. Phénols:

Ils désignent un ensemble de composés hydroxylés du benzène. La présence du phénol dans l'eau a pour origine les polluants industriels (usine chimique, cokeries, industries pétrochimique, raffineries...), ainsi que les revêtements bitumeux des canalisations et des réservoirs, la décomposition des produits végétaux et la dégradation des pesticides. Ces produits s'oxydent faiblement, se fixent peu, se filtrent facilement et ils sont souvent biodégradables; alors ils ne se trouvent qu'en faible quantité. Leur inconvénient principal est qu'ils donnent à l'eau un goût extrêmement désagréable et très persistant marqué de chlorophénol lorsqu'ils sont en présence de chlore. Les poissons, accumulent les phénols jusqu'à 30 mg/kg, ils sont alors impropres à la consommation. Les phénols peuvent être séparés des eaux résiduaires par extraction liquideliquide, oxydé par le chlore ou l'ozone ou bien détruits par un traitement biologique [11].

I.4.7. Pollution minérale:

a. Métaux lourds:

La présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés à la pollution. Par ordre décroissant de toxicité spécifique. Les métaux sont classés comme suit: $Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn$. Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire ou leur toxicité augmente. L'irréversibilité de cette pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipé dans la nature [7,12].

b. Cyanure:

Les cyanures, c'est un poison à action rapide qui peut se rencontrer sous plusieurs formes, y compris les formes gazeuses, liquides et solides. Bien que les cyanures se rencontrent naturellement dans beaucoup d'aliments et de plantes. L'industrie rejette d'autres composés cyanogènes (installation de cyanuration, galvanoplastie, traitement de minerais...). L'ion CN^- est toxique en raison de l'acide cyanhydrique qui se produit en présence d'eau selon l'équilibre :



c. Pollution d'azote:

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riches en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires [11]. L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 OU NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

d. Pollution par le phosphore:

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire [11]. Comme l'azote, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [8].

I.4.8. Pollution microbiologique:

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [13].

I.5. Paramètres de mesure de la pollution:

L'estimation de la pollution agricole est un problème complexe et délicat qui fait appel à des dosages, et des tests de différents paramètres servant à caractériser de manière la pollution présente dans les effluents [6,13].

Parmi ces paramètres on cite les plus importants :

I.5.1. Paramètres organoleptiques:

a. Couleur:

La couleur est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de matières en suspension (MES), du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdal, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes [5,13].

b. Odeur:

Les odeurs se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition [13].

I.5.2. Paramètres physiques:

a. Température:

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau [13-15].

b. Potentiel d'hydrogène (pH):

Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9) [6,16].

c. Turbidité:

Elle caractérise le degré de non transparence de l'eau, elle traduit la présence des MES. Elle est exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [15].

d. Matières en suspension (MES):

Ce paramètre exprimé en mg/L correspond à la pollution insoluble particulaire, c'est-à-dire la totalité des particules solides véhiculées par les ERI. Mesuré par peser après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Les procédés de séparation par filtration font appel, soit à des disques en fibres de verre, soit à des couches d'amiante. La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres [15].

I.5.3. Paramètres chimiques:**a. Demande chimique en oxygène (DCO):**

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elle représente la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales). Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendant deux heures [9,11,15-17].

b. Demande biologique en oxygène (DBO₅):

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées. L'épuration biologique aérobie complète d'une ERI exige en fait un temps de 21 jours (DBO 21 dite ultime) nécessaire pour l'oxydation des composés azotés biodégradables, ou de 28 jours sinon 35 jours, qui représentent le temps de dégradation de certaines familles d'hydrocarbures. Le rapport DCO/DBO₅ est l'indice de la biodégradabilité d'une eau. Pour qu'une pollution soit dégradable le rapport doit être inférieur à 2.5 [5, 11, 17]. La moyenne pondérée de la DCO et de la DBO mesurée après décantation pendant 2h suivant la formule: $(DCO + 2 DBO_5) / 3$ correspond aux matières oxydables (MO) [8].

c. Carbone total organique (COT):

Il détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon [5, 10, 14].

d. Azote total (NT):

Exprimé en mg/L, ce paramètre devient de plus en plus important. Sa valeur globale dans les ERI recouvre toutes les formes déjà citées. C'est la somme d'azote des formes réduites (organiques et ammoniacal) appelé azote de Kjeldahl et l'azote des formes oxydées (NO_2^- , NO_3^-) [5,6].

e. Phosphore total (PT):

Le phosphore se trouve dans les ERI sous formes de :

- ✓ orthophosphate, soluble ;
- ✓ polyphosphate qui a tendance à s'hydrolyser en orthophosphate;
- ✓ Phosphore non dissous.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie [5].

I.5.4. Autres paramètres:**a. Hydrocarbures:**

La mesure des hydrocarbures dans les ERI constitue une opération souvent délicate. En effet, l'échantillonnage est fréquemment hasardeux, particulièrement lorsque les ERI ne sont pas prélevées dans un réseau sous pression ou quand elles sont très chargées d'huiles. Par ailleurs, les valeurs obtenues lors du dosage réalisé sur un même échantillon est selon la méthode utilisée, car celles-ci se rapportent alors à la détection partielle ou totale de composés différents [16].

b. Micropolluants:

Le terme micropolluant désigne un ensemble de substance qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités [16].

Les principaux micropolluants sont :

- Certains métaux lourds et métalloïdes (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg ...);
- Composés phénoliques, organohalogéniques, organophosphorés, huiles minérales, Hydrocarbures aromatiques polycycliques;
- Certains dérivés nitrés [17].

I.6. Historique des pesticides:

Un pesticide est une substance utilisée pour lutter contre des organismes considérés comme nuisibles. C'est un terme générique qui rassemble les insecticides, les fongicides, les herbicides et les parasitocides. Ils s'attaquent respectivement aux insectes ravageurs, aux champignons, aux « adventices » et aux vers parasites. Le terme pesticide comprend non seulement les « produits phytosanitaires » ou « phytopharmaceutiques » utilisés en agriculture, sylviculture et horticulture mais aussi les produits zoosanitaires, les produits de traitements conservateurs des bois, et de nombreux pesticides à usage domestique : shampoing antipoux, boules antimites, poudres anti-fourmis, bombes insecticides contre les mouches, mites ou moustiques, colliers antipuces, diffuseurs intérieurs, etc. Dans une acception plus large, comme celle de la réglementation européenne¹, ce peut être des régulateurs de croissance, ou des substances qui répondent à des problèmes d'hygiène publique (par exemple les cafards dans les habitations), de santé publique (les insectes parasites poux, puces ou vecteurs de maladies telles que le paludisme et les bactéries pathogènes de l'eau détruites par la chloration), de santé vétérinaire, ou concernant les surfaces non agricoles (routes, aéroports, voies ferrées, réseaux électriques, etc.).

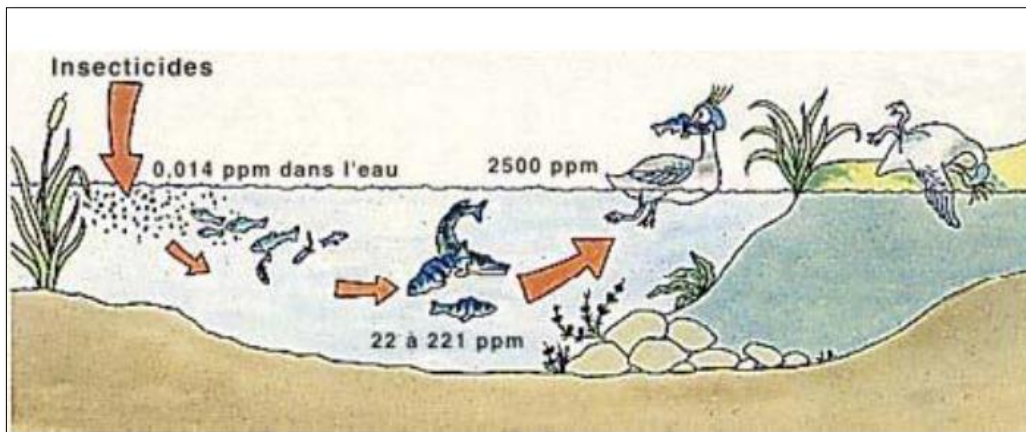


Figure I.2. Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau [18].

I.6.1. Classification des pesticides:

- ❖ **Les insecticides:** Ce sont principalement des matières organiques de synthèse. L'utilisation de certaines substances minérales ou molécules organiques d'origine naturelle existe toujours mais d'une façon très marginale [19].



Figure: I.3.Les insecticides [A.2].

- ❖ **Les fongicides:** Ces molécules ciblent les différents types de champignons afin de protéger les cultures, les stocks des récoltes ou même les semences. Le mildiou de la pomme de terre ou de la vigne, la rouille ou le charbon sont des maladies cryptogamiques contrôlées grâce à des fongicides tels que les carbamates (carbendazime, mancozèbe), les triazoles (bromuconazole [19].

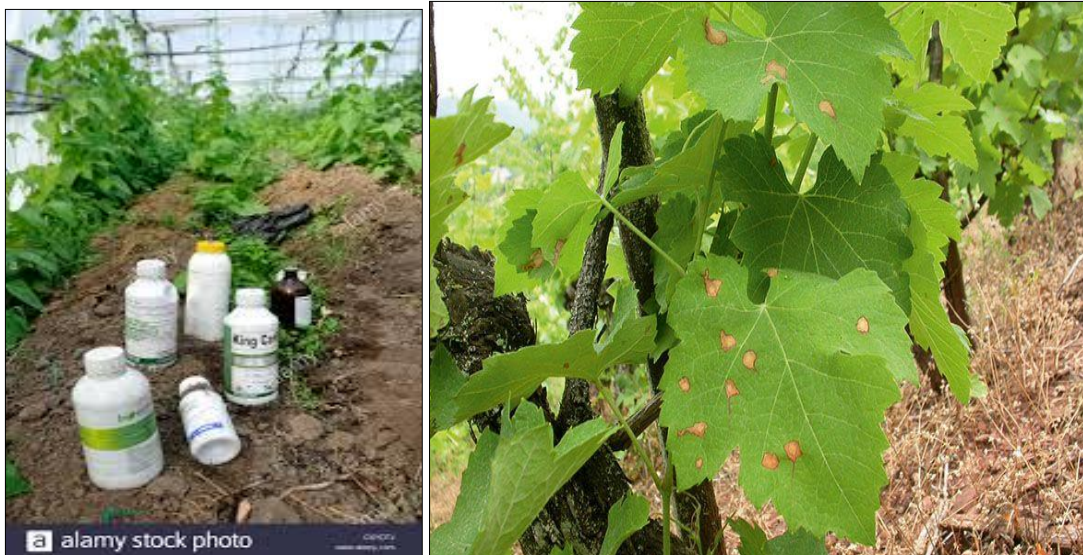


Figure I.4:Les fongicides [A.3].

- ❖ **Les herbicides:** Ils sont utilisés pour lutter contre les adventices des cultures ou « mauvaises herbes ». Ces dernières rentrent en compétition avec les plantes sur la lumière, l'eau, l'espace et les ressources nutritives. Lorsqu'elles sont mêlées aux récoltes, les mauvaises herbes peuvent également être toxiques pour le bétail (renoncules, colchiques et ciguë dans les

fourrages secs), donner du goût au lait (achillée, millefeuille) voire rendre l'ensilage dangereux [19].



Figure I.5 : Les herbicides [A.4].

I.6.2. Deuxième système de classification:

Il tient compte de la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les produits phytosanitaires. Les principaux groupes chimiques sont :

- Les pesticides organiques:
- Les organochlorés.

I.6.2.1. Les organophosphorés aliphatiques:

Acéphate, déméton, dichlorvos, dicrotophos, diméthoate, éthion, formothion, malathion, mévinphos, monocrotophos, naled, ométhoate, phorate, phosphamidon, trichlorfon, ils sont généralement hautement toxiques et peu stables [51].

I.6.2.2. Les Organophosphorés à cycle phényle:

Bromophos, chlorfenvinphos, fénitrothion, fenthion, fonofos, isofenphos, parathion, parathionéthyl, parathion méthyl, phosalone, profénofos, protiofos, ils sont plus stables que le groupe précédent (meilleure rémanence) [51].

- Les carbamates,
- Les pyrethrynoïdes,
- Les triazines
- Les urées substituées.

I.6.2.3. Les pesticides inorganiques:

En général ce sont des éléments chimiques qui ne se dégradent pas. Leur utilisation entraîne souvent de graves effets toxicologiques sur l'environnement par accumulation dans les sols. Le plomb, l'arsenic et le mercure sont fort toxiques. [51].

I.6.2.4. Les Bio-pesticides:

Ce sont des substances dérivées de plantes ou d'animaux. Elles peuvent être constituées d'organismes tels que les : [51].

- Moisissures.
- Bactéries.
- Virus.
- Nématodes.
- Composés chimiques dérivés de plantes.
- Pheromones d'insectes.

I.7. Formule chimiques de quelques pesticides:

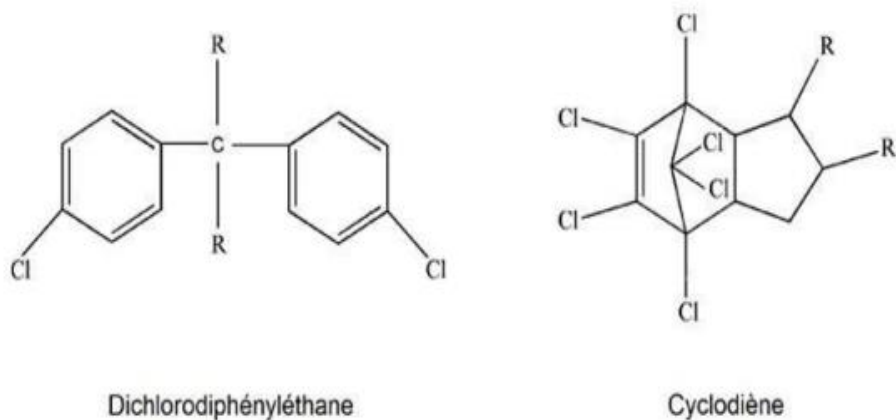


Figure I.6 : Structure générale de deux pesticides chlorés [52].

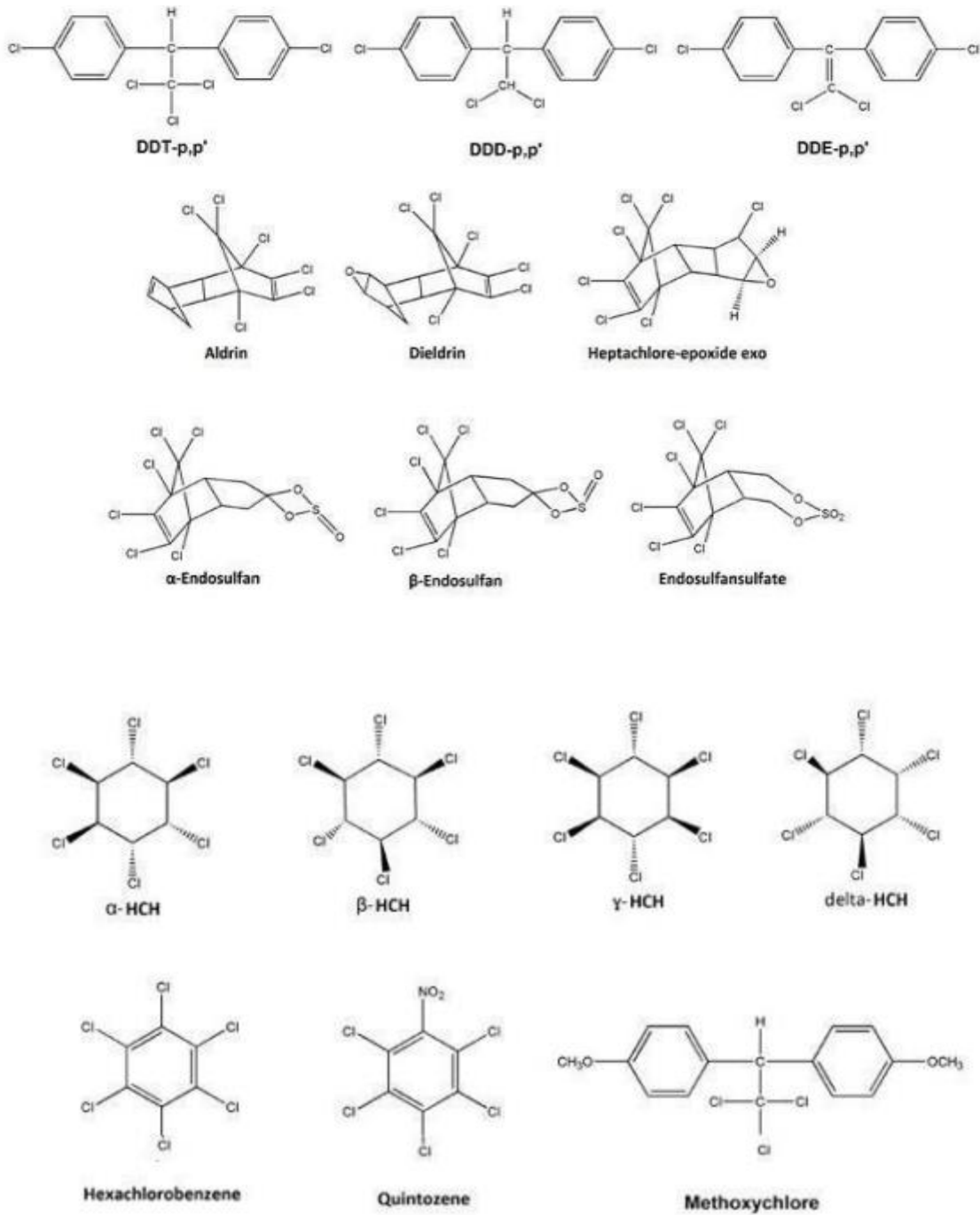


Figure I.7: Structure chimiques de 16 pesticides organochlorés [52].

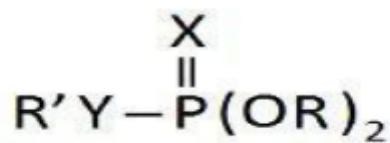


Figure I.8 : Structure chimique de pesticides organophosphorés [53].

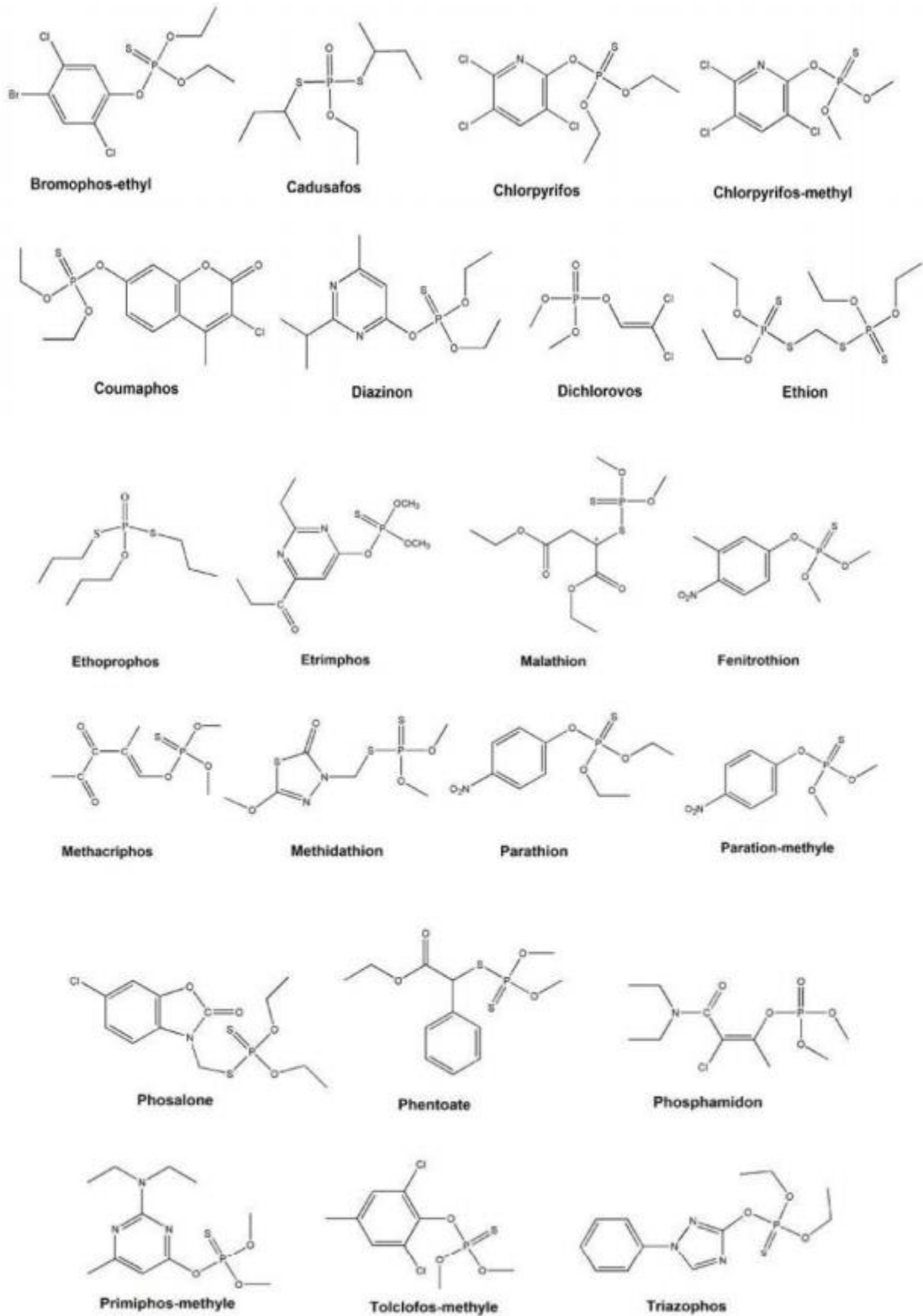


Figure I.9: Structure de pesticides carbamates [52].

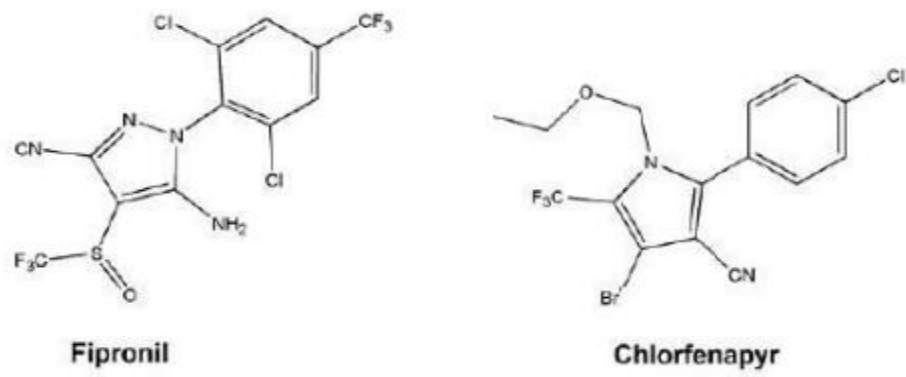


Figure I.10: Structure chimique de pesticides azoles [54].

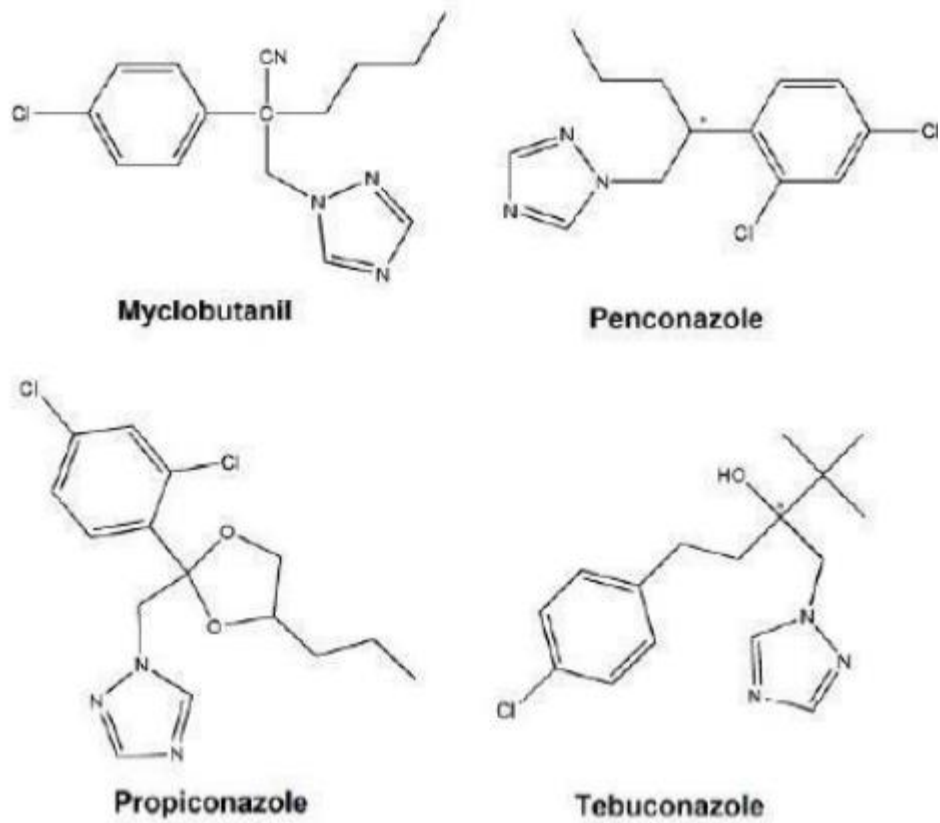


Figure I.11 : Structure chimique des thiazoles [55].

I.8. Utilisation des pesticides:

I.8.1.En Algérie:

Une enquête réalisée par la Chambre d'Agriculture d'Oran et de l'Institut de Protection des Végétaux de la Wilaya d'Oran auprès des fellahs nous a montré que les pyréthrinoïdes, les organophosphorés et les carbamates sont les pesticides les plus utilisés en Algérie. Selon l'Institut Nationale de Protection des végétaux, la plus grande quantité d'insecticides est utilisée contre la lutte antiacridienne [56]. Le marché algérien en pesticides ne cesse d'augmenter; la fabrication des pesticides a été assurée par des entités autonomes de gestion des pesticides: Asmidal, Moubydal mais avec l'économie de marché actuelle, plusieurs entreprises se sont spécialisées dans l'importation d'insecticides et divers produits apparentés. En 2009 l'Algérie a importé 67millions USD de pesticides et en 2008 ,77 million USD contre 49,4 millions USD en 2007 [57].

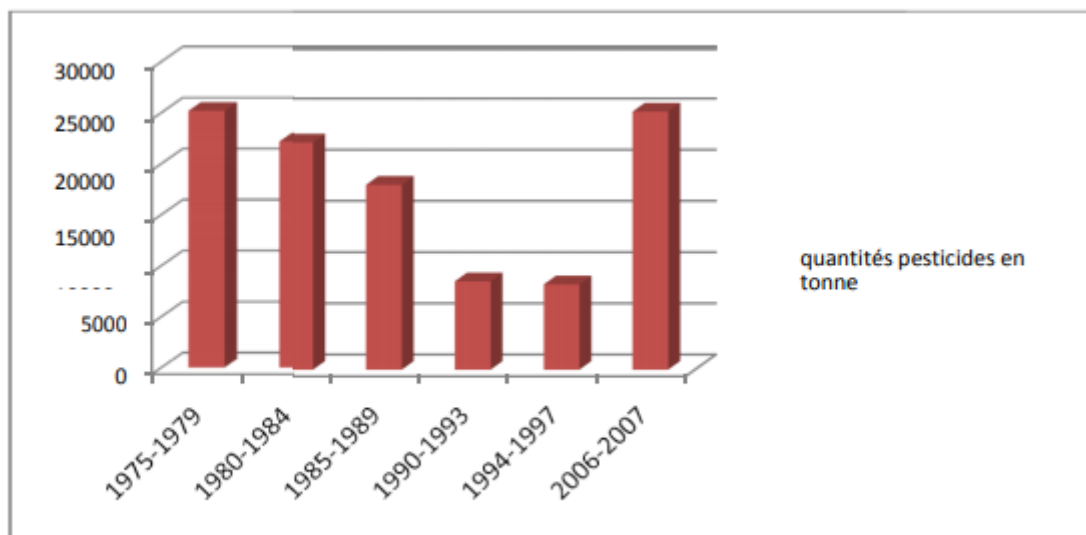


Figure I.12: Quantité des pesticides importés en Algérie en tonnes de 1975 à 2007 [59].

L'Algérie est classée parmi les pays qui utilisent les plus grandes quantités de pesticides, l'Association Algérienne pour la protection de l'environnement tire la sonnette d'alarme «L'Algérie est un grand consommateur de pesticides: 30000 tonnes sont épandues chaque année» [58]. Dans la wilaya d'El-Oued, les quantités de pesticides utilisés augmentent régulièrement avec l'expansion des champs de cultivassions [59].

PESTICIDES LES PLUS UTILISES EN ALGERIE

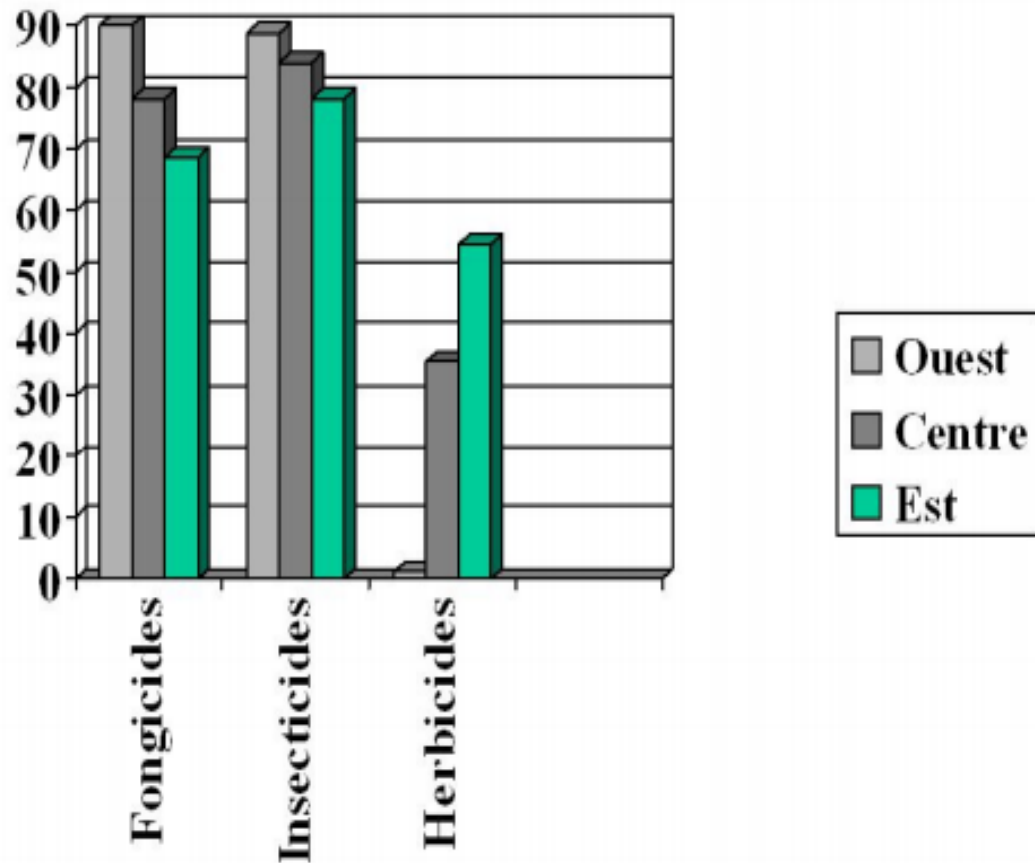


Figure I.13: Les pesticides les plus utilisés en Algérie [60].

Tableau I.1: Modalités d'utilisation des pesticides (Calvet *et al.* 2005)

Insecticides	
Modalités d'utilisation	Exemples de substances actives
Traitement des parties aériennes des végétaux	Deltaméthrine, parathion, pyrimicarbe
Traitement des semences	Carbofurane, fipronyl
Traitement des sols	Chlorméphos, diazinon
Traitement des locaux de stockage	Dichlorvos, perméthrine
Traitement des bâtiments d'élevage	Cyperméthrine, trichlorfon
Fongicides	
Modalités d'utilisation	Exemples de substances actives
Traitement des parties aériennes des végétaux	Mancozèbe, bénomyl, éthyrimol, tébuconazol, cuivre, soufre
Traitement des semences et des plants	Captane, iprodione
Traitement des denrées entreposées	Diphénylamine, thiabendazol
Traitement des sols	Carbendazime, métalaxyl, manèbe
Traitement des locaux et du matériel	Ammonium quaternaire
Herbicides	
Modalités d'utilisation	Exemples de substances actives
Désherbage des cultures	Simazine, trifluraline, isoproturon, chlorprophame
Défanage	Diquat
Débroussaillage	2,4-D, piclorame, triclopyr
Désherbage des zones non-cultivées	Glyphosate, aminotriazole, diuron
Destruction des mauvaises herbes aquatiques et semi-aquatiques	Chlorthiamide, dichlobényl

I.9. Législation sur l'environnement:

La protection de l'environnement est devenue ainsi un enjeu économique et politique majeur. Tous les pays du monde sont concernés par la sauvegarde des ressources en eau douce, soit parce qu'ils manquent d'eau, soit parce qu'ils la polluent. La législation sur les rejets d'eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'Algérie est dotée d'une réglementation (06-141) sur les rejets dans le milieu hydrique. Le tableau (I.2) précise les limites règlementaires de ces rejets.

Tableau I.2: Valeurs limites des paramètres de rejets Des effluents liquides selon le journal officiel du décret exécutif N° 06-141 du 19 avril 2006.

Paramètre	Unité	Valeur limite
Température	°C	30
pH	-	6.5 - 8.5
MES	mg/l	35
Azote Kjeldhal	mg/l	30
Phosphates total	mg/l	10
DCO	mg/l	120
DBO₅	mg/l	35
Aluminium	mg/l	3
Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0.005
Cyanures	mg/l	0.1
Fluor et composés	mg/l	15
Indice de phénols	mg/l	0.3
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Huiles et graisses	mg/l	20
Cadmium	mg/l	0.2
Cuivre total	mg/l	0.5
Mercure total	mg/l	0.01
Plomb total	mg/l	0.5
Chrome total	mg/l	0.5
Etain total	mg/l	2
Manganèse	mg/l	1
Nickel total	mg/l	0.5
Zinc total	mg/l	3
Fer	mg/l	3
Composés organiques chlorés	mg/l	5

I.10. L'impact sur l'environnement:

I.10.1.L'impact sur le sol:

Dans le période des années 40 que les premiers pesticides de synthèse sont apparus sur le marché, avec des résultats très positifs quant à l'augmentation des rendements agricoles. Vingt ans plus tard, les premières accusations d'atteinte à la santé des gens et à l'environnement se firent entendre. Le débat sur les risques encourus et les bénéfices recueillis de la lutte chimique s'est prolongé depuis et l'on a consacré de très nombreux travaux de recherche à mieux connaître l'impact des pesticides sur l'environnement. On estime que 2,5 millions de tonnes de pesticides sont appliqués chaque année sur les cultures de la planète. La part qui entre en contact avec les organismes indésirables cibles - ou qu'ils ingèrent - est minime. La plupart des chercheurs l'évaluent à moins de 0,3%, ce qui veut dire que 99,7% des substances déversées s'en vont «ailleurs». Comme la lutte chimique expose inévitablement aux traitements des organismes non-cibles - dont l'homme - des effets secondaires indésirables peuvent se manifester sur des espèces, des communautés ou des écosystèmes entiers. Les organismes officiels prennent en compte de plus en plus d'effets environnementaux des traitements pesticides et imposent de plus en plus de restrictions et d'interdictions. Même si les matières actives les plus dommageables à l'environnement ne sont plus sur le marché, l'agriculteur dispos d'une panoplie d'armes chimiques diversement dangereuses. 6 Courrier de l'environnement Depuis la fin des années 70, on s'est beaucoup intéressé à l'agriculture intégrée où l'on s'efforce de réduire les intrants comme les engrais, les combustibles fossiles et les produits phytosanitaires issus de la chimie . En agriculture conventionnelle, l'exploitant choisit tel pesticide essentiellement en fonction de son efficacité attendue sur l'indésirable, de sa phytotoxicité potentielle sur la culture et du coût du traitement. En agriculture intégrée, un 4 ème critère majeur est pris en compte : les effets environnementaux du traitement. Ce n'est que depuis peu qu'on peut aider l'agriculteur à estimer ces effets. On s'accorde très généralement sur le fait que l'impact environnemental d'un pesticide dépend du degré d'exposition et de ses caractéristiques toxicologiques.

L'estimation des risques environnementaux - faite dans le cadre des procédures d'homologation - implique la mesure de l'exposition au pesticide et de ses effets.

Pour estimer l'exposition il faut connaître la dispersion de la molécule dans l'environnement et évaluer la « concentration environnementale prédite » (CEP) à laquelle les organismes seront exposés. Pour estimer les effets, il faut faire la synthèse des effets des matières actives sur des organismes représentatifs choisis et, à partir de ces données, fixer la valeur de la « concentration environnementale sans effet prédit » pour tel ou tel compartiment du milieu. Le rapport de ces

deux valeurs (CEP/CSEP) est un indice du risque relatif pour un emploi donné du produit . On s'efforcera dans cet article de répondre à une question double : quels facteurs doit-on prendre en compte pour évaluer l'impact environnemental d'un pesticide et comment le quantifier ? Pour ce qui est du premier aspect, on examinera les publications récentes traitant de la dispersion et de la toxicologie des pesticides, en insistant sur les dernières avancées et sur les données utiles pour évaluer leur impact environnemental. Pour le second volet, on rapportera et discutera des travaux récents menés pour estimer l'impact des pesticides sur l'environnement :

- La dispersion des pesticides dans l'environnement Les matières actives phytosanitaires sont appliquées le plus souvent sous la forme de liquides pulvérisés sur les plantes et/ou sur le sol. • Le produit de traitement, lors d'une application, se trouve réparti en proportion variant avec le stade de la culture, la formulation, la cible, la technique d'application et les conditions météorologiques entre le sol, le feuillage de la plante ou les résidus de culture et des pertes dues à la « dérive ».
- L'utilisation de rampes de pulvérisation réduit ces pertes qui atteignent toutefois 1 à 10% ou 10 à 30%.
- Les adjuvants incorporés aux préparations phytosanitaires ont pour rôle de modifier des caractéristiques telles que l'efficacité ou la phytotoxicité.
- Les matières actives peuvent se volatiliser, ruisseler ou être lessivées et atteindre les eaux de surface ou souterraines, être absorbées par des plantes ou des organismes du sol ou rester.

Devenir dans le sol Les processus suivants déterminent le comportement des pesticides dans les sols dégradation par les micro-organismes ;

Dégradation chimique (p. ex. par hydrolyse) ;

Rétention par des composants organiques et minéraux

- ❖ Volatilisation
- ❖ Effet de dilution par les mouvements de l'eau
- ❖ Absorption par racines des plantes [23].

I.10.2.L'impact sur l'air:

Les pesticides peuvent contribuer à la pollution de l'air. La dérive des pesticides se produit lorsque des pesticides en suspension dans l'air sous forme de particules sont transportées par le vent vers d'autres zones, pouvant potentiellement les contaminer. Les pesticides qui sont appliqués que les cultures peuvent se volatiliser et être soufflés par les vents vers les régions voisines, ce qui présente une menace potentielle pour la faune et la flore sauvage.

Les conditions météorologiques au moment de l'application ainsi que la température et l'humidité relative influencent la propagation du pesticide dans l'air. La dérive de pulvérisation et l'exposition augmentent lorsque la vitesse du vent s'accroît. Une faible humidité relative et une température élevée provoquent une augmentation de l'évaporation des produits pulvérisés. La quantité de pesticides inhalables dans l'environnement extérieur est donc souvent dépendante de la saison.

En outre, des gouttelettes de pesticides pulvérisées ou des particules de pesticides appliqués sous forme de poudres peuvent se déplacer avec le vent et atteindre d'autres zones, ou bien des pesticides peuvent adhérer aux particules balayées par le vent, telles que des particules de poussière. La pulvérisation au sol produit moins de dérive de pesticides que la pulvérisation aérienne. Les agriculteurs peuvent prévoir autour de leurs parcelles cultivées une zone tampon, constituée de friches ou de plantes non-cultivées telles que des arbres à feuilles persistantes, pour servir de brise-vent et absorber les pesticides, prévenant ainsi la dérive dans d'autres zones.

Les pesticides qui sont pulvérisés sur les champs et utilisés pour la fumigation des sols peuvent dégager des substances chimiques appelées composés organiques volatils, qui peuvent réagir avec d'autres produits chimiques et former un polluant appelé ozone troposphérique. L'utilisation des pesticides représente environ 6 pour cent du total des niveaux d'ozone troposphérique [24].

I.10.3.L'impact sur l'eau:

L'utilisation d'insecticides pollue les sources d'eau qui les atteignent de plusieurs façons, y compris en pulvérisant une surface d'eau dans laquelle vivent des insectes nuisibles, ou en dissolvant les pesticides restants dans le sol agricole par la pluie et l'eau d'arrosage, et à d'autres moments, les particules du pesticide sont en suspension dans les particules d'air, et donc Quand les pluies tombent, elles les polluent, ou en jetant les restes d'usines de pesticides dans une mer ou une rivière, et donc les corps des divers organismes marins qui vivent dans ces plans d'eau, comme les poissons, polluent avec ces toxines, et lorsqu'une personne se nourrit de ces poissons, ils nuisent à sa santé [25].

I.11. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons pu connaître l'origine de pollution des eaux ainsi que les types d'eau polluée, avec la cause de sa contamination, ses paramètres de mesure et les changements qui se produisent dans ses propriétés physiques et chimiques.

Nous avons donné une brève idée sur les pesticides en citons leurs différents types, les systèmes de classification et d'utilisation de ceux-ci en Algérie, et l'ampleur des dommages qu'ils peuvent causer à la nature en général, l'air, l'eau et au sol en particulier.

Chapitre II

*Généralité sur les procédés de
traitement des eaux*

II.1. Introduction:

Pour les besoins de l'agriculture, l'usage des pesticides a considérablement augmenté au cours des dernières décennies, quel que soit le niveau économique des pays. Ceci a permis des progrès en agriculture, mais représente également un danger croissant pour la santé des populations. Des craintes s'expriment de plus en plus fréquemment au sujet des effets des pesticides sur la santé, et on observe dans plusieurs pays des activités visant à prévenir ces effets.

Malheureusement, tous les pesticides épandus ne remplissent pas leur emploi. Une grande partie d'entre eux est dispersée dans l'atmosphère, soit lors de leur application, soit par évaporation ou par envol à partir des plantes ou des sols sur lesquels ils ont été répandus. Disséminés par le vent et parfois loin de leur lieu d'épandage, ils retombent avec les pluies directement sur les plans d'eau et sur les sols d'où ils sont ensuite drainés jusque dans les milieux aquatiques par les eaux de pluie (ruissellement et infiltration). Les pesticides sont ainsi aujourd'hui à l'origine d'une pollution organique diffuse qui contamine toutes les eaux continentales : cours d'eau, eaux souterraines et zones littorales. Ceci confère à ces eaux un caractère agressif et nuisible.

D'une manière générale, les pesticides doivent être séparés et éliminés des rejets selon des méthodes incluant : les méthodes physiques, les méthodes chimiques et les méthodes biologiques [20].

II.2. Méthodes biologiques:

Le traitement biologique, présente l'un des moyens de dépollution des eaux usées. Il s'agit de la décomposition des effluents organiques dans l'eau par les microorganismes. On distingue deux catégories de traitements biologiques.

a. Traitement aérobie:

Dans une unité biologique constituée d'un bassin de boue activée, les polluants sont décomposés par des bactéries aérobies et autres microorganismes en une boue qui sédimente. Dans le cas idéal, les polluants organiques sont oxydés jusqu'au dioxyde de carbone. Après épuration, la boue est séparée des eaux usées par sédimentation dans un décanteur, une partie est recyclée et le surplus est évacué après pressage ou centrifugation. Si ces techniques sont adaptées à un grand nombre de polluants organiques, elles ne sont pas suffisamment efficaces pour les rejets liquides riches en pesticides.



Figure II.1: Traitement aérobie [A.5]

b. Traitement anaérobie:

A l'inverse de la biodégradation aérobie, la digestion anaérobie des composés organiques s'effectue en l'absence d'oxygène et forme du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. C'est un procédé efficace pour le traitement de déchets très chargés en DCO et le méthane formé peut être utilisé comme énergie de chauffage.

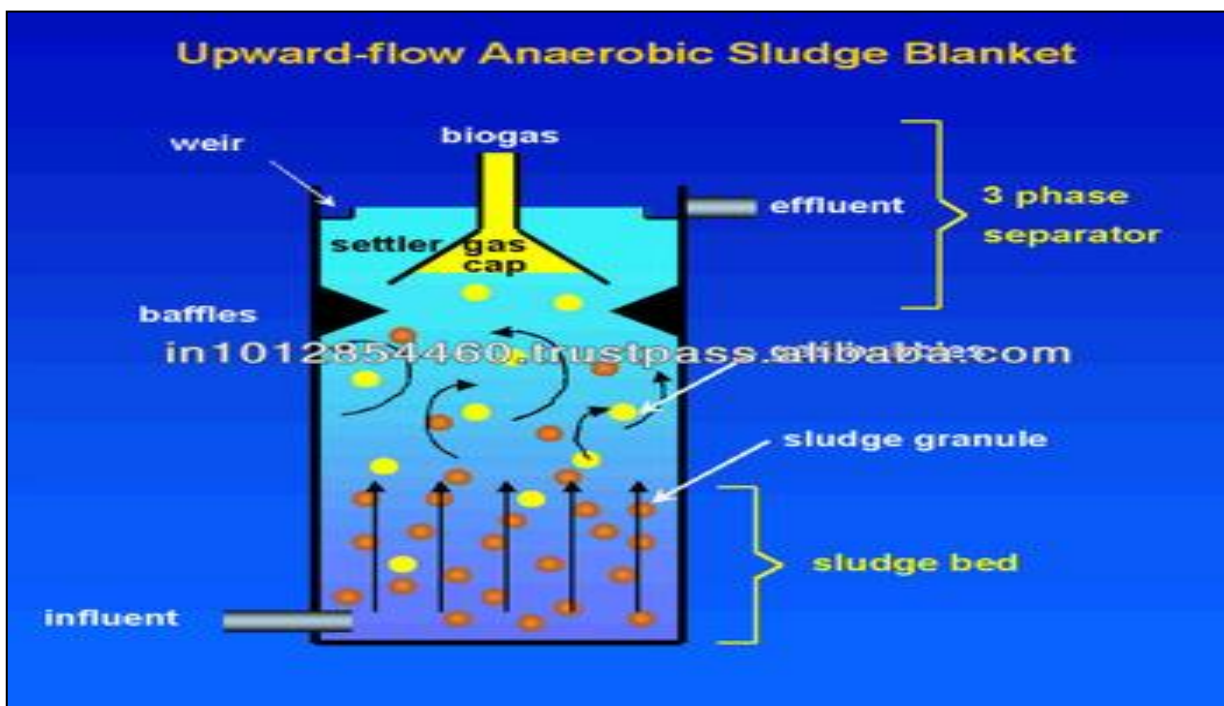


Figure II.2: Traitement anaérobie [A.6]

II.3. Méthodes physiques:

a. Filtration sur membrane:

Cette technique permet la séparation de particules, de molécules ou d'ions entre deux phases. La membrane est constituée d'une couche mince (de dix à quelques centaines de microns) d'une matière permettant l'arrêt ou le passage sélectif de substances sous l'action d'une force motrice de transfert. Cette force peut provenir de la convection ou de la diffusion des molécules induites par un gradient de champ électrique, de concentration, de pression ou encore de température. La nature de la membrane varie et son application à la dépollution de l'eau en dépend fortement : il existe des membranes poreuses (microfiltration: pores de 0,05 à 10 μm , ultrafiltration: pores de 1 à 100 nm, nano filtration: pores de 1 à 2 nm), des membranes denses (osmose inverse) ou encore des membranes échangeuses d'ions. Le procédé d'osmose inverse est utilisé pour le dessalement de l'eau de mer et la production d'eau ultra-pure. Les autres procédés membranaires sont souvent couplés à d'autres techniques (biologiques, chimiques) de dépollution et sont utilisés en tant que pré ou post traitement [21].

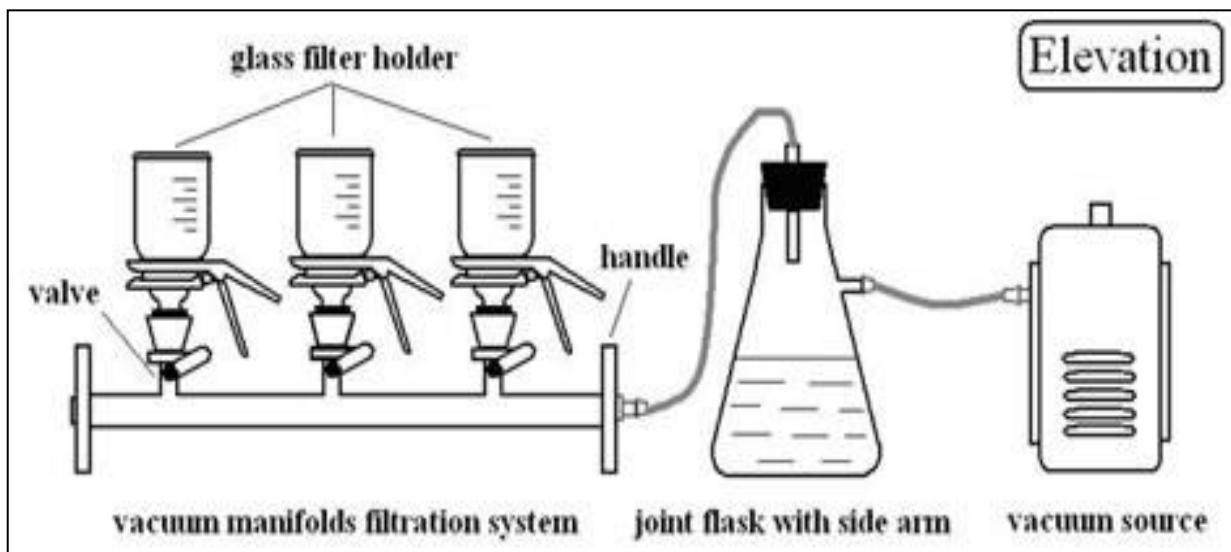


Figure II.3: technique Filtration sur membrane [A.7]

b. Adsorption sur charbon actif:

Le charbon actif est le plus couramment utilisé en adsorption des molécules colorantes, toutefois un grand nombre d'autres matériaux peuvent être employés. Plusieurs charbons de différentes origines ont montré une grande efficacité d'adsorption des colorants. La surface spécifique des charbons actifs du commerce, employés pour l'épuration des eaux résiduaires, se situe entre 600 et 1200 m^2/g . La plupart des molécules organiques se fixent à leur surface (capable d'adsorber

la plupart des colorants. Les plus mal retenues sont les plus polaires non aromatiques et les linéaires de très faible masse molaire (alcools simples, premiers acides organiques, etc.). La principale limite d'un tel traitement réside dans le fait qu'en aucun cas les polluants ne sont dégradés mais concentrés sur le charbon actif qui doit être traité ultérieurement afin de le régénérer. De plus, le coût du charbon actif est relativement élevé [21].

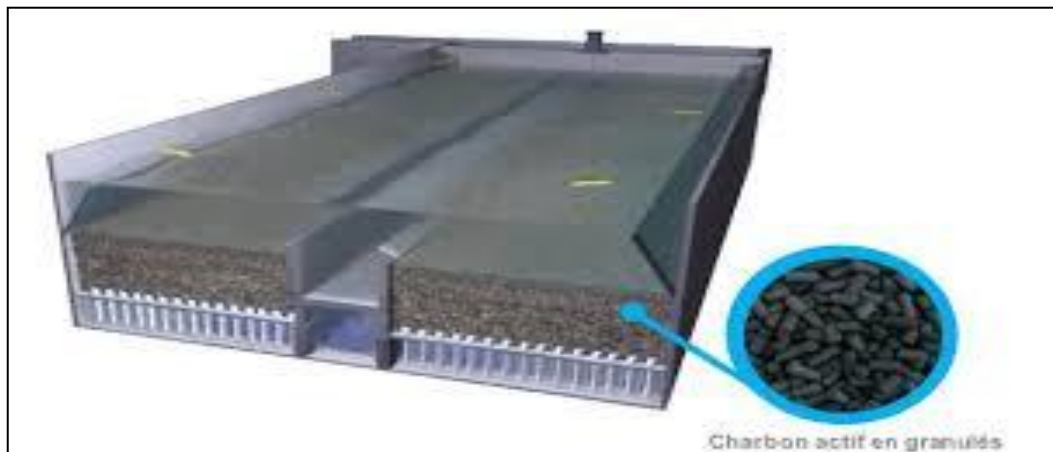


Figure II.4: technique Adsorption sur charbon actif [A.8]

II.4.Méthodes physico-chimiques:

❖ Coagulation-floculation:

La coagulation-floculation est souvent appliquée pour le traitement des eaux usées de l'industrie de textile pour enlever davantage la demande chimique en oxygène (DCO) et la couleur avant d'un traitement biologique. Elle peut aussi être utilisée comme procédé principal de traitement. Ce procédé est basé sur l'addition d'un coagulant qui va former des floes avec les polluants organiques, où ces floes sont ensuite éliminés par décantation et filtration. Les coagulants inorganiques tels que l'alun, donnent les résultats les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents des pesticides contenant des colorants dispersés, de cuve et au soufre mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques. Par ailleurs, la coagulation-floculation ne peut être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau. D'importantes quantités de boue sont formées avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires.

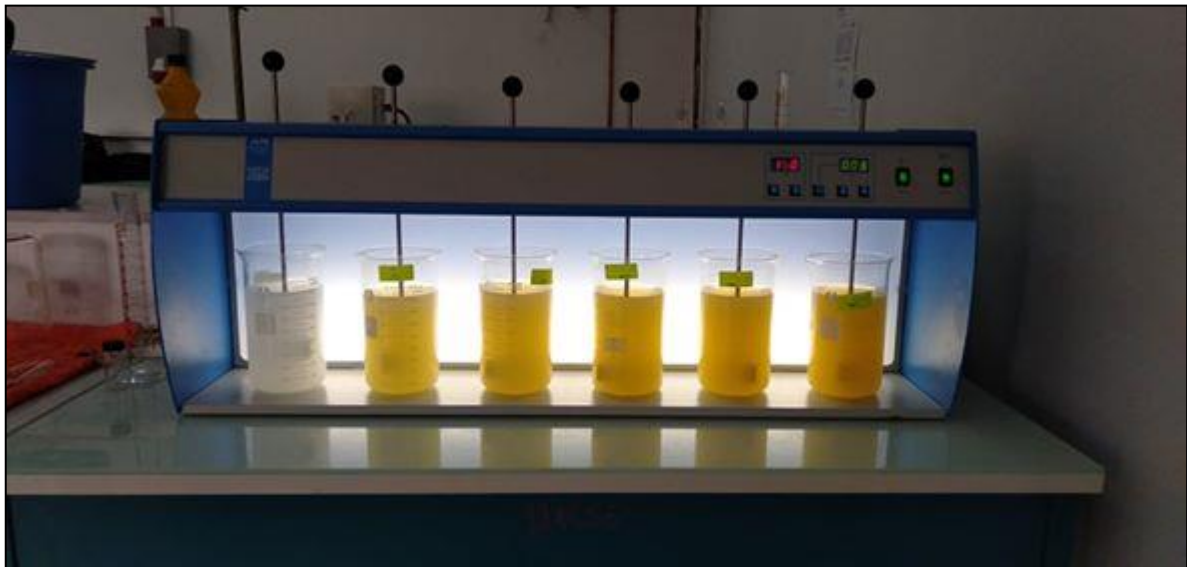


Figure II.5:Appareil du Jar test

II.5. Méthodes chimiques:

Les techniques d'oxydation chimique sont généralement appliquées quand les procédés biologiques sont inefficaces. Elles peuvent être ainsi utilisées en étape de prétraitement pour les procédés biologiques. L'oxydation chimique est souvent appliquée pour le traitement des eaux usées contenant des polluants non biodégradables et /ou toxiques et de fortes concentrations que les autres procédés ne peuvent pas traiter ou transformer en produits biodégradables et/ou non toxiques. Ainsi, l'oxydation chimique se révèle un procédé efficace de traitement des eaux usées. On distingue :

- les procédés classiques d'oxydation chimique
- les procédés d'oxydation avancée.

Les procédés classiques d'oxydation chimique sont basés sur l'ajout d'un agent oxydant dans la solution à traiter. Les principaux agents oxydants sont :

Le di chlore Cl_2 : représente un oxydant moyennement fort et est utilisé pour le traitement des eaux usées ou plutôt pour la désinfection comme l'ozone. En revanche, ils présentent l'inconvénient de produire des sous-produits halogénés cancérigènes pour l'homme;

Le oxygène O_2 : il est considéré comme un oxydant modéré, le coût tolérable de ce procédé le rend fréquemment choisi;

Peroxyde hydrogène H_2O_2 : il est considéré parmi les oxydants les plus appropriés et les plus recommandés pour une grande variété de procédé, utilisé avec ou sans catalyseur. Toutefois, l'utilisation de cet oxydant seul n'est pas efficace pour la plupart des produits organiques;

Trioxigène O_3 : c'est un oxydant très fort qui a presque le même avantage que l'oxygène ou le peroxyde d'hydrogène. Le problème majeur lié à l'utilisation de cet oxydant est son instabilité, d'où la nécessité de production sur le site [22].

II.6. La coagulation-floculation:

II.6.1. Caractéristiques des particules à éliminer:

II.6.1.1. Généralités:

Les particules en suspensions dans une eau de surface proviennent de l'érosion des terres, de la dissolution de substances minérales et la décomposition de substances. En général, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matières inorganiques (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matières organiques [26]. Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivant :

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

Cette classification résulte de la taille des particules [27].

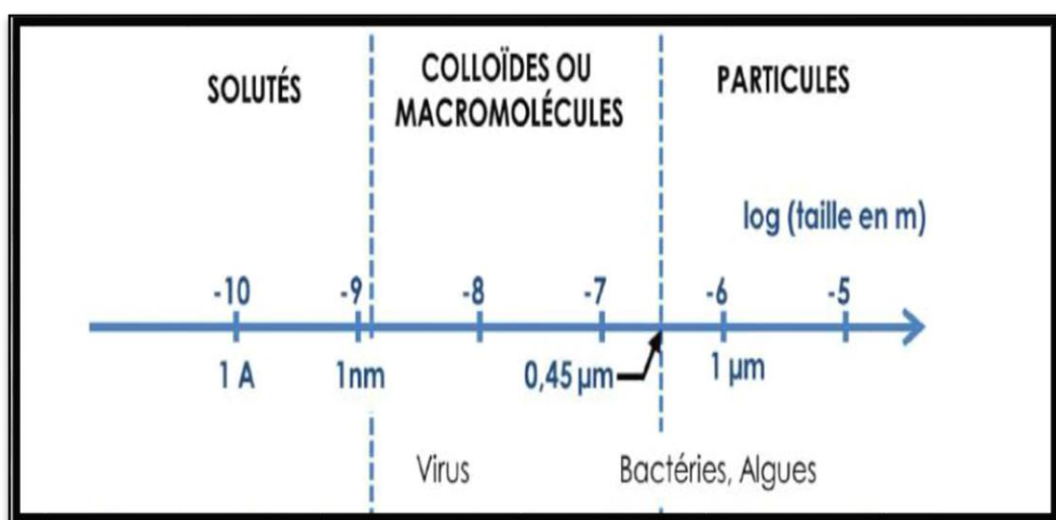


Figure II.6: Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement [31]

a) Les matières en suspension:

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

b) Les particules colloïdales:

Les particules colloïdales présentent un diamètre compris entre $1\mu\text{m}$ et 1nm . Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique l'existence de charges électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion inter-colloïdales. Celles-ci permettent d'expliquer la grande stabilité de ces particules mises en solution [29].

Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre de 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1,1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 666000 années pour décanter de un mètre [26].

c) Les matières dissoutes:

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

II.6.1.2. Les types des particules colloïdales:**a) Les particules colloïdales hydrophiles:**

Elles se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Elles sont des particules de matières organiques [26]. Il est à noter que les colloïdes de nature hydrophile sont responsables de la coloration de l'eau [29].

b) Les particules colloïdales hydrophobes:

Elles sont en général de nature minérale. Ils n'ont aucune affinité à l'eau pour les molécules d'eau. La formation d'une couche d'hydratation est impossible. Ce type de particules est en partie responsable de la turbidité [29].

Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération.

II.6.1.3. Stabilité des particules colloïdales:

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer. Elles demeurent donc stables [28]. Une particule typique est représentée dans (Fig. II.7).

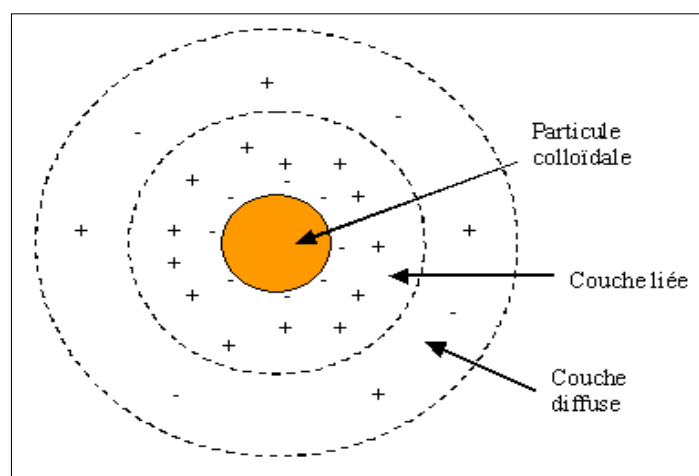


Figure II.7: Double couche d'une particule colloïdale [48].

a) Force d'attraction-répulsion:

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

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

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

- Si $FR > FA$, il y a principalement la répulsion entre les particules colloïdales [30].

L'énergie totale d'interaction (E) entre les particules colloïdales est la somme de l'énergie répulsive (E_r) due au potentiel électrique et l'énergie attractive (E_a) (Fig. II.8) [30].

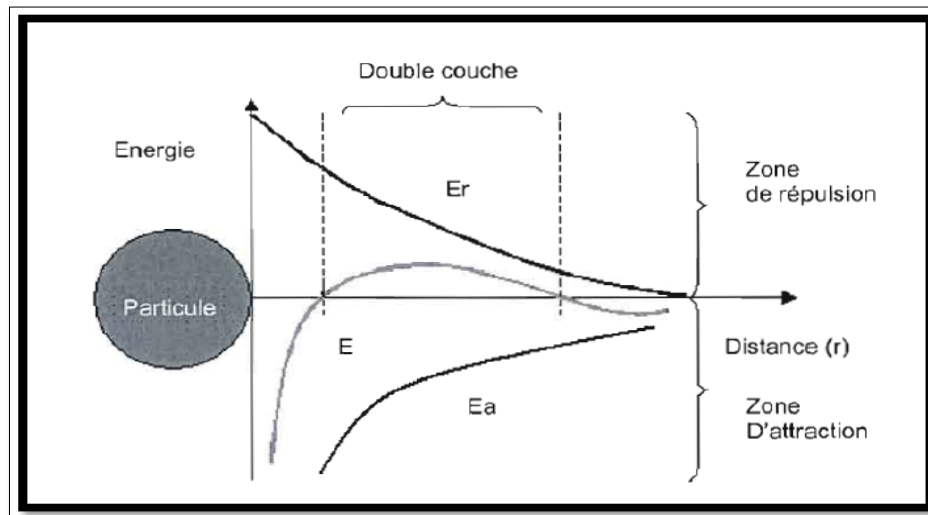


Figure II.8: Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion

Electrostatique: (E_r) la force d'attraction moléculaire (E_a) et la force résultante [49].

b) Théorie de la double couche:

Pour expliquer la grande stabilité des colloïdes, on fera appel à la théorie de la double couche électrique [31]. Diverses théories expliquent ce phénomène :

- 1- théorie de Helmholtz :** une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).
- 2- théorie de Gouy-Chapman :** la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse) ;
- 3- théorie de Stern :** qui combine les deux théories précédentes et considère la formation d'une double couche : la première formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant. Comme illustré sur la figure I.5, le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis diminue plus lentement à mesure que la distance augmente jusqu'à son annulation [32]. Un colloïde se caractérise par deux potentiels :

❖ La potentielle thermodynamique ou potentiel Stern:

C'est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule [26].

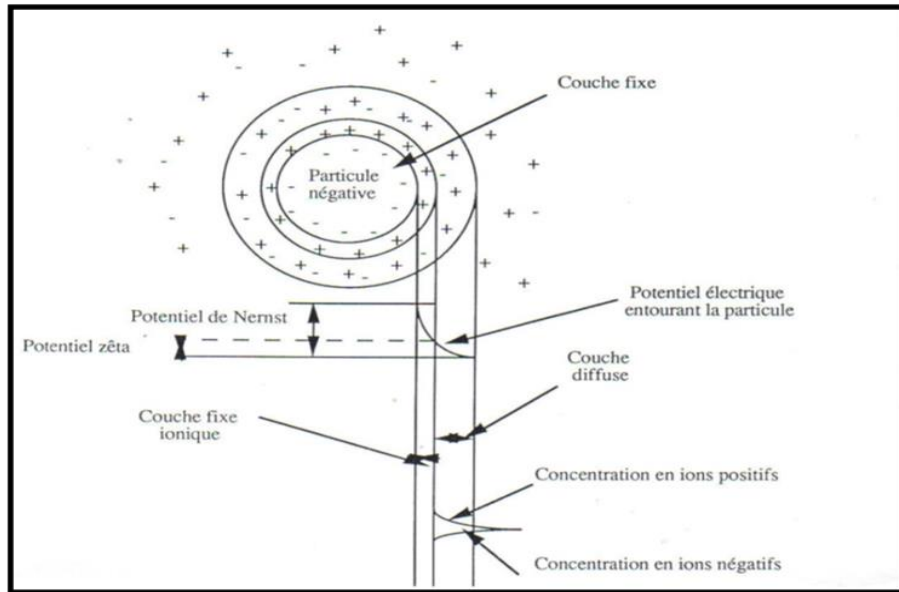


Figure II.9: Etat de surface des colloïdes selon la théorie de la double couche.

❖ Le potentiel électrocinétique Zêta:

La limite entre la couche de STERN et celle de GOUY, définit le plan de cisaillement [32]. Le potentiel électrostatique mesuré au plan de cisaillement est appelé potentiel Zêta.

En pratique, il est négatif, plus la charge de la particule s'intensifie (négativement). Ainsi, au fur et à mesure qu'il diminue en valeur absolue, les particules peuvent s'approcher les unes des autres plus étroitement, ce qui accroît les probabilités de collision [33].

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

II.6.2. La coagulation– floculation:

La coagulation-floculation permet, par un processus physico-chimique, de transformer la suspension colloïdale ainsi que la matière organique dissoute en des particules plus importantes aptes à sédimenter. L'efficacité de cette étape de traitement est liée à la vitesse et au temps d'agitation, au pH, au type et au dosage du coagulant ainsi qu'à la nature des particules et des matrices minérales et organiques [34].

II.6.2.1. La Coagulation:

a) Définition:

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par l'addition d'un réactif chimique, le coagulant, qui apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique. Ces cations sont attirés et adsorbés sur la couche de Stern. Le potentiel Zêta s'annule ou voisine le zéro avec la neutralisation de toutes les charges avoisinantes. Il faudra donc que le coagulant se disperse dans l'eau pour obtenir une répartition homogène avant toute précipitation d'hydroxyde. Cela demande une forte agitation en temps courte ou, en d'autres termes, utiliser un gradient de vitesse très élevé [30].

b) Stratégie:

En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide des produits chimiques. La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et filtration [26]. Les essais de coagulation sont au préalable réalisés au Jar test afin de déterminer la dose adéquate du coagulant [31].

c) Déstabilisation des particules colloïdales:

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

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

Ces quatre mécanismes sont décrits brièvement ci-dessous [26].

1. Compression de la double couche:

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de Van Der Waals ne sont pas affectées. La force ionique est une notion introduite par les chimistes pour rendre compte de l'activité des ions en solution aqueuse. Elle est représentée par l'équation suivante [28]:

$$I = \frac{1}{2} \sum_i c_i z_i^2 \quad (\text{II.1})$$

I : force ionique en mol/L

C_i : concentration de l'ion (i) en mol/L

Z_i : valence de l'ion (i).

2. Adsorption et neutralisation de la charge:

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi déstabilisées [28].

3. Emprisonnement des particules dans un précipité:

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme le $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou le FeCl_3 , sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive. Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précipité formé, appelé floc, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation [28]. La figure (II.10) résume bien le mécanisme décrit.

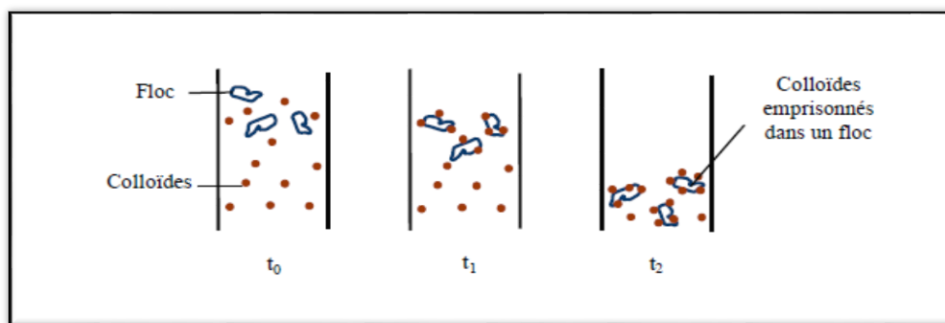


Figure II.10: Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation [30]

4. Adsorption et pontage entre les particules:

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

leurs extrémités être adsorbées par la même particule, d'où une déstabilisation. La figure (I.11) décrit le processus.

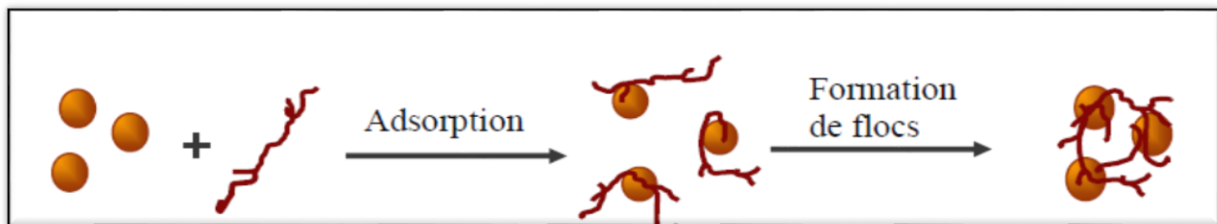


Figure II.11: Adsorption et pontage à l'aide de polymères [30]

d) Les Coagulants:

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

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

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

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. On ne peut, néanmoins, négliger son prix et les effets secondaires comme les fuites en Fe^{+3} et Al^{+3} [29].

Les produits les plus utilisés sont les sels d'aluminium et de fer. Lorsque on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes $Al(OH)_3$ ou $Fe(OH)_3$, insolubles [26].

❖ Les sels d'aluminium:

Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée très faible en turbidité. La vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre passe par un essai au laboratoire, appelé Jar test. Parmi les sels d'aluminium les plus utilisés en coagulation, on peut citer [35] :

❖ **Sulfate d'aluminium:**

Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau [33].

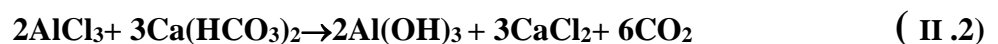
Son addition à l'eau en cours de traitement facilite l'enlèvement de la matière organique, permettant ainsi de réduire la turbidité et faciliter la désinfection de l'eau. De plus, il favorise la réduction de la couleur [35].

Tableau II.2: Sulfate d'aluminium et ses concentrations [35]

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

❖ **Chlorure d'aluminium:**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre **12** et **40 g/m³**. La formule commerciale de réactif de chlorure d'aluminium est $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ [33].

➤ **Les sels de fer:**

Les sels de fer sont généralement plus coûteux que le sulfate d'aluminium, ce qui explique leur emploi plus restreint. Par ailleurs, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous les conditions favorables [33].

➤ **Sulfate ferrique:**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de coagulant sera comprise entre **10** et **50 g/m³** [33].



➤ **Chlorure ferrique:**



Tableau II.3: Chlorure ferrique et ses concentrations [39]

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

e) Les facteurs influençant dans la coagulation:

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation [36].

➤ **Influence du pH:**

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

Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de pH optimales s'étendent respectivement de 4 à 6 et de 5 à 7. Pour certaines eaux, il faut parfois corriger le pH à l'aide de divers produits (acide, chaux ou soude). Pour abaisser le pH, il est plus avantageux, dans certains cas, d'augmenter la quantité de coagulant. Lorsque le pH est optimal, les produits solubles d'aluminium ou de fer sont pratiquement inexistantes [26].

➤ **Influence des sels dissous:**

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

- modification de la plage du pH optimale

- modification du temps requis pour la floculation
- modification de la quantité de coagulant requis
- modification de la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent [36].

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

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

- a. On effectue la coagulation dans les plages de pH optimale pour cette eau à cette température.
- b. On augmente la quantité de coagulant, ce qui pour effet d'accroître la probabilité de collisions entre les particules et d'élargir la plage de pH optimale.
- c. On augmente la turbidité de l'eau (par addition de glaise), afin d'alourdir le floc, ou on ajoute un aide-coagulant pour alourdir et renforcer le floc [36].

➤ **Influence de coagulant:**

Le choix du coagulant peut influencer les caractéristiques de la coagulation. Ainsi, même si l'alun est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimale plus large que celle due à l'alun. On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale, pour une eau donnée, qu'après avoir effectué des essais en laboratoire [36].

Enfin on ne peut choisir un coagulant qu'après avoir effectué des essais au laboratoire [37].

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

Pendant l'opération de coagulation -floculation on procède au mélange des produits chimiques injectés dans l'eau à traiter. En premier lieu, le mélange est rapide (150 – 250 tr/min) et de courte durée (1 à 3 min), ce mélange a pour but de disperser les produits chimiques injectés dans la totalité du volume de l'effluent. En deuxième lieu, le mélange est lent, cela pour favoriser le contact entre les particules solides dispersées dans l'eau, cette phase dure pratiquement 10 à 30 min à des vitesses moins énergétiques que la première (40 – 60 tr/min)[37].

➤ **Influence de la turbidité:**

La turbidité des eaux de surface est en grand partie due à la présence de particules de glaise dont le diamètre varie de 0.2 à 5µm. Il s'agit donc là grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. La coagulation de ces particules est assez facile à réaliser lorsqu'on maintient le pH dans sa plage optimale [26].

➤ **Influence de la dose de coagulant:**

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte [33].

Une surdose du polymère produit inévitablement une déstabilisation des particules colloïdales qui sont susceptibles de la charge de surface. Aussi les sites d'adsorption des particules colloïdales ne seraient plus disponibles pour la formation des ponts inter-particulaires. Un traitement de coagulation mal ajusté peut donc conduire à une dégradation rapide de la qualité de l'eau et à des dépenses d'exploitation non justifiées. Bien souvent, la dose de coagulant conditionne de fonctionnement des ouvrages de séparation et il se trouve tout simplement impossible de réaliser la clarification si cette dose est mal ajustée [32].

II.6.2.2.La floculation:

La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant. Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître la taille du floc, son volume, sa masse et sa cohésion [35].

a) Types de floculation:

On distingue deux types de floculation :

➤ **Floculation péricinétique:**

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

$$F_p = \frac{dN}{dt} = -\frac{4\Gamma.k.\theta.(N)^2}{3\mu} \quad (\text{II.5})$$

Où:

- **N**: concentration totale des particules en suspension au temps t (nombre de particules /m³).

- Γ : fraction de chocs donnant lieu à la floculation (nombre de collisions effectives / nombre de collisions totale). Une collision effective étant une collision qui entraîne l'agrégation de deux particules.
- K : constante de Boltzmann ($1,38 * 10^{-23} \text{J.K}^{-1}$)
- θ : Température absolue (K), 0 °C correspond à 273,15 K
- μ : viscosité dynamique de l'eau (10^{-3}Pa.s ou $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$)

➤ **Floculation orthocinétique:**

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

$$F_0 = \frac{dN}{dt} = - \frac{2.\Gamma.G.d^3.(NN_0)}{3} \quad (\text{II.6})$$

Où :

d : diamètre des particules (m), G : gradient de vitesse (s^{-1}).

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

$$G = \left[\frac{P}{\mu \cdot V} \right]^{1/2} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

P : Puissance réellement dissipée (Watt)

V : volume du bassin (m^3)

b) Flocculants (adjuvants de coagulation) et processus de floculation:

On injecte les flocculants à la suite du coagulant. Leur rôle est d'accélérer la floculation ou d'améliorer la consistance et la densité des flocons.

Les adjuvants les plus communément utilisés sont: flocculants minéraux (la silice) ou des flocculants organiques (polymères à haut poids moléculaires) naturels tel que l'alginate extrait des algues marines ou synthétiques (poly-électrolytes anioniques, cationiques ou non ioniques). Ils se définissent par leur poids moléculaire qui est caractéristique de polymères à longue chaîne, et également par leur densité de charge [38].

* **Mécanisme d'action des poly-électrolyte:**

Les réactifs polymériques, selon leur composition chimique et le caractère ionique de leurs groupements actifs, font intervenir dans la floculation deux mécanismes très différents:

- **Floculation par neutralisation de charge (annulation du potentiel zêta):**

Les poly-électrolytes cationiques, provoquent la décharge électrique des colloïdes, en venant s'adsorber à l'interface solide/liquide, selon une réaction irréversible très voisine de celle mise en jeu dans la coagulation par les électrolytes minéraux. L'agglomération des particules adjacentes contiguës interviendra par une agitation modérée du milieu réactionnel [38].

- **Floculation par adsorption physicochimique des polymères (Phénomène de réticulation):**

Les polymères anioniques et non ioniques, ne peuvent occasionner la floculation par simple neutralisation. Leur mode d'action ne peut s'expliquer qu'en faisant intervenir un processus d'adsorption d'une fraction de la chaîne polymérique sur un emplacement déterminé de la surface des particules, conformément, en première approximation, a une loi du type isotherme de Langmuir [39]. Un schéma illustrant le processus de floculation est représenté sur la figure(II.12)

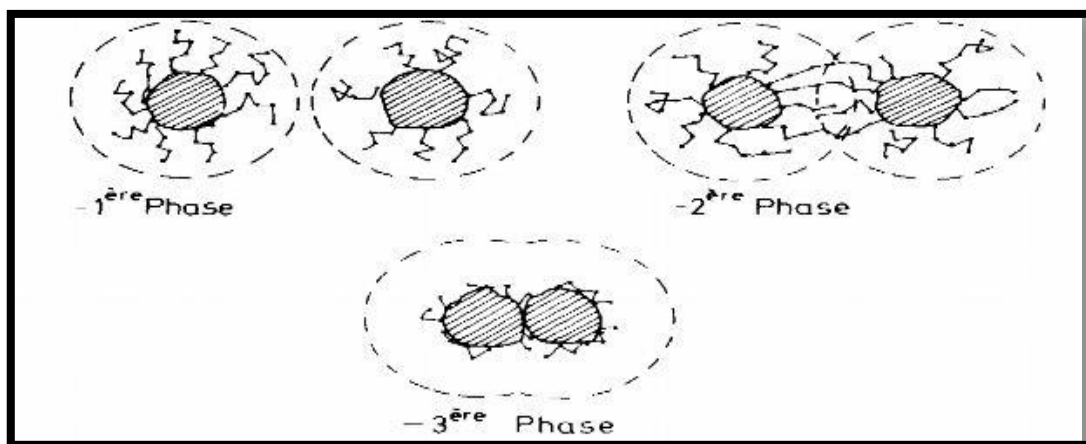


Figure II.12: Les différentes étapes du processus de floculation

Tandis que les polymères non ioniques possèdent une efficacité indépendante du pH.

- Neutralisation du pH;
- Précipitation des métaux lourds toxiques;
- Oxydation ou précipitation des sulfures en excès par un sel de fer;
- Clarification des eaux

Après l'étape de la coagulation floculation on passe soit à la décantation si les floes formés sont de grosses tailles soit à la flottation si les floes formés sont de petites tailles[38].

II.7. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté le procédé de coagulation-floculation parmi les techniques alternatives aux traitements biologiques pour le traitement des eaux polluées. L'opération de coagulation-floculation est essentielle dans l'étape de clarification des eaux ; elle est utilisée pour séparer les matières en suspensions ainsi que les matières colloïdales dans l'eau. Cette méthode dépend de nombreux facteurs afin d'obtenir une eau prête à être envoyée au décanteur pour une clarification finale avant le rejet dans l'environnement.

L'objectif principal de cette étude est l'application de la coagulation-floculation en vue d'élimination d'un pesticide utilisé dans l'agriculture.

Chapitre III

Méthodes d'analyses

III.1.Introduction:

Ce chapitre présente le matériel et les méthodes utilisées dans le cadre de cette étude. Nous y présentons aussi la préparation et à la caractérisation du pesticide, des coagulants utilisés pour les différentes mesures.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les paramètres influençant le fonctionnement de la technique (C-F), tels que, le temps et la vitesse d'agitation, le temps de décantation, la dose optimale des coagulants (Sulfate d'aluminium et Chlorure ferrique), le pH initial sur l'élimination d'un pesticide.

III.2.Procédure expérimentale:

Afin de poursuivre le phénomène de la coagulation-floculation et l'optimisation des paramètres qui l'influent, nous avons effectué des séries d'essais sur Jar test en laboratoire (Fig. III.1).

Le Jar Test est un appareil couramment utilisé pour les essais de coagulation-floculation. Il est composé de 6 postes à vitesse réglable de 0 à 300 tr/min, un régulateur de vitesse et une minuterie (Fig. III.1). Les vases de floculation utilisés sont des béciers de forme haute de 95 mm de diamètre utile et d'une capacité de 1 L. Les agitateurs sont des pales rectangulaires de 2 x 5,5 cm et placées à 4 cm du fond du bécier.

III.2.1. Mode opératoire en Jar-test:

- 1- Remplir les béciers (1 L ou 800 mL) par l'eau brute à traiter ;
- 2- A $t = 0$, ajouter le coagulant le plus rapidement possible avec une pipette et de façon identique dans chaque vase. Ajouter des doses croissantes de façon à encadrer la dose optimale présumée.
- 3- Mettre en route les agitateurs (100 – 200 tr/min pendant 2 à 3 min) : c'est *la phase de coagulation* (agitation rapide) ;
- 4- Après 3 min, réduire la vitesse à 30 – 60 tr/min ; c'est *la phase de floculation* (agitation lente) ;
- 5- Laisser 15 à 30 min d'agitation lente, et laisser décanter tout en ayant arrêté et levé les pales ;
- 6- Après 10 – 60 min de décantation, prélever une quantité suffisante du surnageant (*l'eau claire*) dans chaque bécier, mesurer les paramètres de rendement choisis (pH, Turbidité ...).

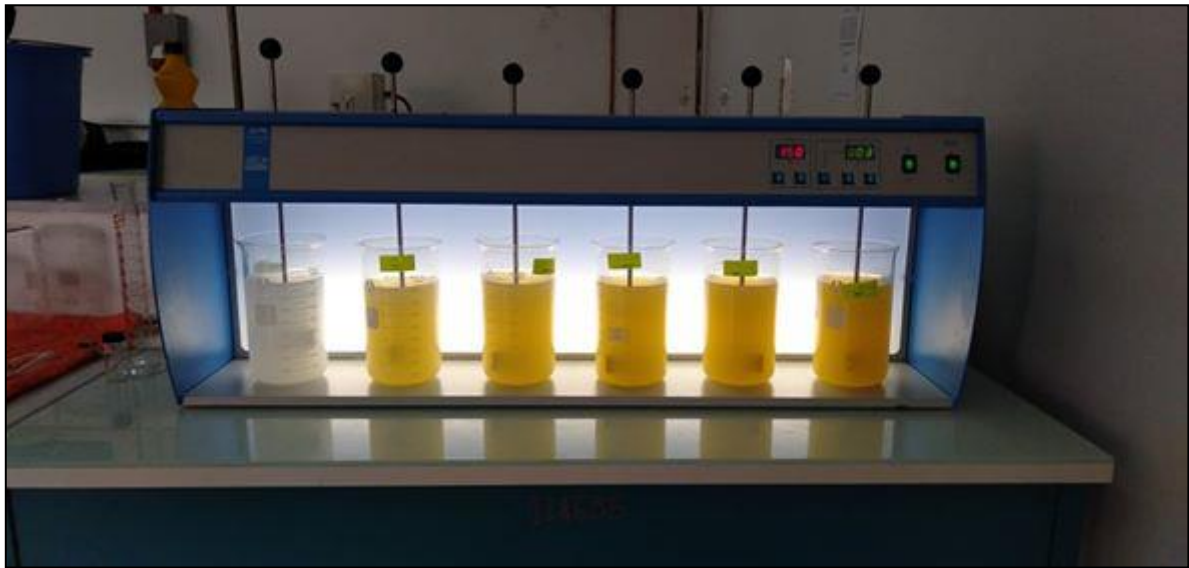


Figure III.1 : Appareil du Jar test

Remarque:

Pour l'étude du temps et de la vitesse d'agitation pour les deux phases (coagulation et floculation), une solution synthétique du pesticide à une concentration de 1ml de pesticides/L (Turbidité 825 NTU) et une dose de 5g/L du Chlorure ferrique été utilisées.

III.3.Caractéristiques du pesticide Reldane EC40 (*Le chlorpyrifos éthyle*):

Le pesticide Reldane EC40 (*Le chlorpyrifos éthyle*) est un insecticide au phosphore organique. Il tue le produit par contact, ingestion et l'action de la vapeur et a une activité de blanchiment.

Les données disponibles permettent de conclure que la préparation ne présente aucune propriété Explosive ou comburante. La préparation n'est pas facilement inflammable (le point d'éclair est égal 82,5 °C), ni inflammation spontanée à température ambiante (température d'auto-inflammation Au-dessus de 400 °C). Le pH de la dilution aqueuse de la préparation en une concentration 1% équivaut à 4,74 à 20 °C, indiquant que la formulation est acide [40]. Sa structure chimique est représentée sur la figure (III.2) et ses caractéristiques sont regroupées dans le Tableau (III.1)

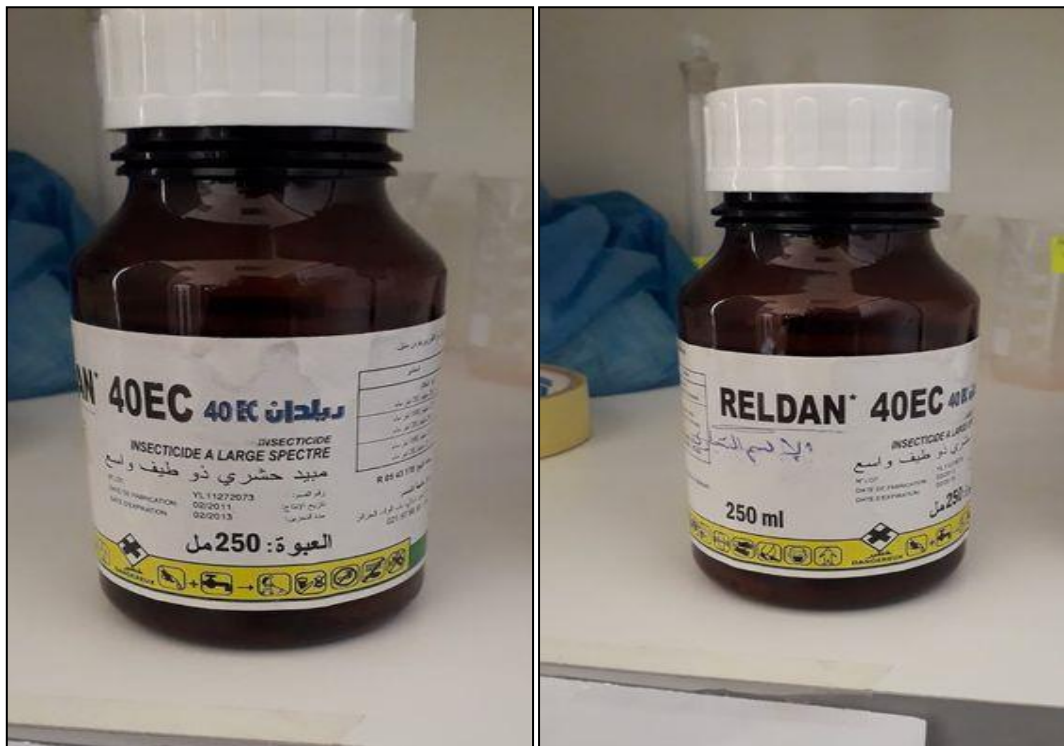


Figure III.2 : Le pesticide Reldane EC40

Tableau III.1 : Propriétés du Reldane EC40

Le nom commerciale.	Reldane EC40
Formule chimique	C₉H₁₁Cl₃NO₃PS
Poids moléculaire (g.mol ⁻¹)	350,586 ± 0,02
T° fusion	41 à 42 °C1
Solubilité	1,12 mg•l-1 eau à 24 °C
Masse volumique	1,398 g•cm-3 à 43,5 °C
λ _{max} (nm)	311.5

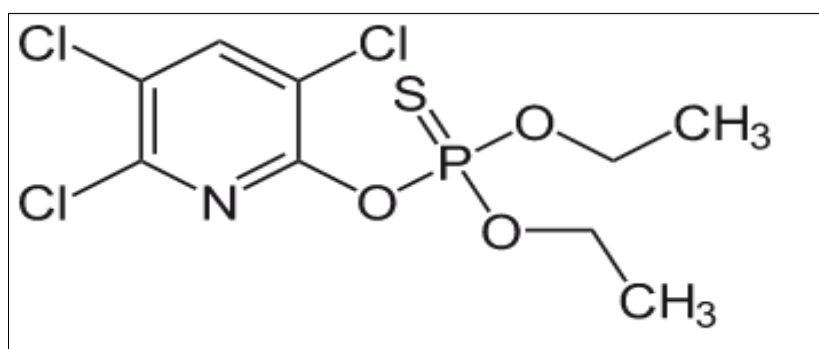


Figure III.3: Formule développée du Reldane EC40 (Le chlorpyrifos éthyle)

III.4. Préparation des solutions:

III.4.1. Dose du coagulant (Sulfate d'aluminium⁽¹⁾ et Chlorure ferrique⁽²⁾):

Une solution mère de 5 g/L est préparée périodiquement par dissolution du coagulant dans de l'eau distillée. Cette solution permet un ajout de faibles quantités pour les doses voulues de coagulant.

$$C_m \cdot V_m = C_f \cdot V_f \Rightarrow V_m = (C_f \cdot V_f) / C_m$$

C_m : concentration de la solution mère (mg/L), V_m : volume à prélever de la solution mère (ml)

C_f : concentration de la solution fille (mg/L), V_f : volume de la fiole où on va mettre le volume prélevé (V_m) ou le volume de la solution à traiter (ml).

Exemple :

Solution mère (Coagulant) : $C_m = 5 \text{ g/L} = 5000 \text{ mg/L}$ (eau distillée)

C (fecl₃) mg/L	30	60	90	120	150
V (fecl₃) ml	4.8	9.6	14.4	19.2	24

⁽¹⁾*Sulfate d'aluminium* : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$,
H₂O.

⁽²⁾*Chlorure ferrique* : $\text{FeCl}_3, 6$

III.4.2. Effluent synthétique de pesticides:

Le pesticide Reldane EC40 (*Le chlorpyrifos éthyle*) a été utilisé comme solution mère pour la préparation des effluents synthétiques, ceux-ci ont été préparés en ajoutant la solution du pesticide directement dans l'eau de robinet du réseau d'alimentation en eau potable du laboratoire (1212 $\mu\text{S/cm}$) et ont été dilués en fonction pour avoir la concentration souhaitée. Les concentrations étudiées sont 0.4; 1.2 ; 2; 2.8 ; 3.6; 4.4 g/L.

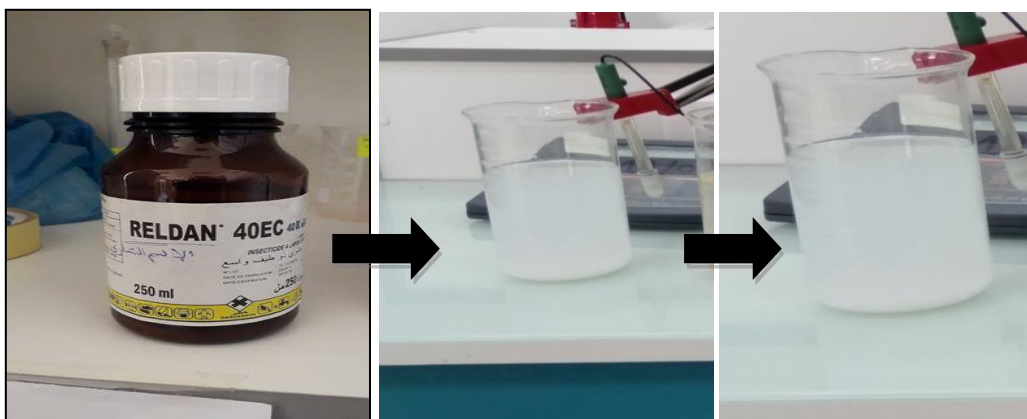


Figure III.4 : Etapes de préparation de solution synthétique

Pour une concentration initiale de 1ml de pesticides/L, les caractéristiques initiales de l'effluent synthétique utilisé sont indiquées dans le tableau (III. 2).

Tableau III.2.: Caractéristiques de l'effluent synthétique utilisé

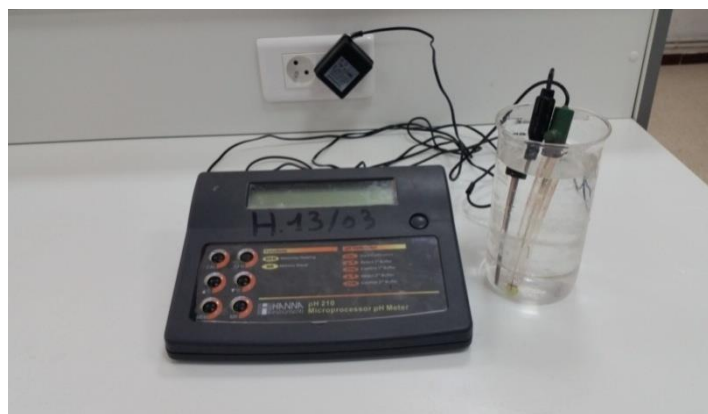
Paramètre	Effluent synthétique
pH ₀	7.47
Turbidité (NTU)	825
DCO (mg O ₂ /L)	/
MES (mg/L)	/
Conductivité κ (μ S/cm)	1212
Température (°C)	29
Couleur	Blanche

III.5.Méthodes analytiques:

Pour suivre le traitement des effluents, une partie des données est mesurée en ligne par différents capteurs (pH, conductivité), alors que d'autres données ont été analysées sur la phase clarifiée après traitement par C-F et une décantation. Ces analyses incluent les indicateurs de la dépollution (Turbidité, Absorbance, MES, DBO₅, DCO). Toutes ces analyses renseignent sur la cinétique de l'abattement des indicateurs de pollution.

III.5.1.Suivi des paramètres en ligne:

Les pH des échantillons prélevés sont mesurés par un pHmètre "Hanna, pH210" muni d'une électrode en verre contenant une solution de KCl de concentration 4M. Le pH initial a été varié entre 3.5 et 10.6 en utilisant une solution de HCl (0,1 N) ou une solution de NaOH (2N).

**Figure III.5 : Microprocesseur pH Mètre "Hanna pH 210"**

Les mesures de conductivité sont effectuées à l'aide d'un conductimètre "Hanna, EC214conductimètre".



Figure III.6 : Conductimètre "Hanna, EC214 "

III.5.2. Analyse physicochimique:

a) Mesure de la turbidité:

La turbidité est l'effet optique qui traduit le caractère trouble de l'eau. Elle est due à la présence de diverses matières en suspension finement divisées telles que des particules de matières organiques ou minérales. Ces particules ont une taille variant entre 10 nm et 100 µm. La turbidité se mesure par techniques optiques : absorption ou diffusion de rayons lumineux par les particules en suspension. Les unités utilisées pour la turbidité sont les Unités Jackson (JTU), la Néphélométrie Turbidité Unit (NTU) et la Formazine Turbidité Unit (FTU) ou SiO₂ (mg/L). Nous avons utilisé un appareil de type Hanna instruments HI88703 comportant une diode infrarouge de longueur d'onde 890 nm et un détecteur de lumière réfléchi qui est un appareil à lecture directe. Cette mesure permet de suivre la cinétique de la décantation des échantillons après le traitement. Lorsque nous trouvons des valeurs hors étalons, nous procédons à une dilution à l'eau déminéralisée de cet échantillon avant analyse. L'étalonnage de l'appareil est réalisé à l'aide des solutions étalons de Formazine à quatre concentrations.

Le rendement d'élimination des paramètres étudiés (Turbidité, DBO₅, DCO, MES) Y (%) est déterminé par la relation suivante :

$$Y(\%) = \frac{(Y_i - Y_f)}{Y_i} \cdot 100$$

Y_i et Y_f sont les concentrations de la solution avant et après traitement par C-F.



Figure III.7 : Turbidimètre Hanna "HI88703"

b) Mesure de l'absorbance:

L'absorbance des différents prélèvements se mesure sur le surnageant clair. Ces mesures se font en spectrométrie UV visible de marque Shimizu-2401 après la prise de ligne de base avec de l'eau déminéralisée (III.8). L'absorbance permet d'estimer la coloration des effluents de façon indirecte [42].



Figure III.8 : Dispositif représentant le spectrophotomètre utilisé

c) Mesure des matières en suspensions (MES):

Pour la mesure des matières en suspension (MES), on filtre 20 mL (0.02 L) des échantillons avec un filtre à 0.45 µm, on place le filtre dans une coupelle que l'on laisse sécher pendant 24 heures dans une étuve à 105 °C.

La concentration des matières en suspension (MES) s'exprime par :

$$\text{MES (g/L)} = (M_2 - M_1) / 0.02$$

Avec M_1 la masse de l'ensemble de la coupelle et du filtre propre (en g) et M_2 correspond à la masse de la coupelle du filtre et des matières en suspension après séchage. Les filtres et les coupelles sont placés à l'étuve 24 h avant leur utilisation de sorte que le poids M_1 corresponde bien au poids sec.

d) Mesure de la demande biochimique en oxygène DBO₅:

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques. La mesure de la DBO₅ est faite selon la méthode manométrique (par mesure de pression dans un système fermé) basée sur le principe du respiromètre de WARBURG au cours duquel la respiration de la biomasse est directement mesurée par un appareil. Un volume d'échantillon est placé dans des flacons à bouchon rodé.

❖ Principe de la méthode manométrique:

Une quantité d'eau est versée dans une bouteille d'incubation de 510 ml, fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression (oxytop). Le volume choisi est fonction de la gamme de mesures souhaitée. L'appareil de mesure, de type OxiDirect (BSB BOD), est placé dans un réfrigérateur maintenu à 20 °C. On suit ensuite, en fonction du temps, soit tous les jours pendant 5 jours pour la DBO₅, la consommation d'oxygène, qui se traduit par une diminution de la pression d'air. L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO₂ qui sera piégé par une solution de l'hydroxyde de potassium (KOH) qui se trouve dans le joint caoutchouc du flacon. Ainsi il se développe une dépression dans la bouteille.

L'ajout de l'inhibiteur de nitrification (ATH : allyle 2 thio-urée) permet de freiner la nitrification, car l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène. Cette amine joue un rôle d'inhibiteur.

Mode opératoire:

- Evaluer la plage de mesure de l'échantillon à analyser et choisir le volume d'échantillon selon le tableau ci-dessous
- Mesurer exactement le volume d'échantillon à l'aide du ballon de débordement et le verser dans un flacon DBO (éventuellement utiliser un entonnoir)
- Introduire un barreau d'agitation dans le flacon DBO
- Ajouter les gouttes nécessaires d'ATH (tableau ci-après) dans le flacon
- Visser la sonde DBO sur le flacon
- Poser l'échantillon sur le support à flacons
- Mettre l'appareil en marche en appuyant sur la touche ON/OFF
- Incuber l'échantillon à 20 °C.
- Relever les valeurs après 5 jours.

Tableau III.3 : Volume d'échantillon en fonction de la gamme de la DBO₅

Gamme de la DBO₅ (mg O₂/L)	Volume de l'échantillon (mL)	Dosage ATH
0 - 40	428	10 gouttes
0 - 80	360	10 gouttes
0 - 200	244	5 gouttes
0 - 400	157	5 gouttes
0 - 800	94	3 gouttes
0 - 2000	56	3 gouttes
0 - 4000	21,7	1 goutte



Figure III.9 : DBO-mètre OxiDirect

e) Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO):

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la consommation globale à chaud, de l'oxygène du dichromate de potassium et est représentative de la majeure partie des composés organiques ainsi que des sels minéraux oxydables (biodégradables et non biodégradables).

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de bichromates de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate mercure.

Matériel : Eau distillée, Spectrophotomètre, pipettes jaugées classe A 2,00 ml (unité), un réacteur DCO (unité), un adaptateur de tube DCO (unité), tube de réactifs pour digestion DCO (unité) fort concentration.



Figure III.10 : DCO-mètre "OxiDirect"

III.6. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons cité le protocole expiré Montale ainsi que les différents essais effectués dans cette présente étude.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction:

Ce chapitre est consacré à l'évaluation des performances du procédé de coagulation et de floculation (CF), pour simuler le traitement des eaux usées (constitué d'eau potable et d'insecticide (reldan 40EC)).

Des expériences ont été réalisées pour examiner l'effet des paramètres de fonctionnement du procédé, tels que la vitesse et le temps d'agitation, le temps de fixation, la concentration et le type de coagulant, la concentration de floculant et le pH initial.

IV.2. Spectre d'absorption en UV-visible:

Le spectre d'absorption en UV-visible (Fig. IV.4) du pesticide Reldane EC40 (*Le chlorpyrifos éthyle*) a été obtenu par un balayage spectral, entre 200 et 800 nm, d'une solution de pesticide à 0.4 mg/L. Ce spectre montre bien la longueur d'onde du maximum d'absorption de pesticide Reldane EC40 ($\lambda_{\max} = 311.5 \text{ nm}$)

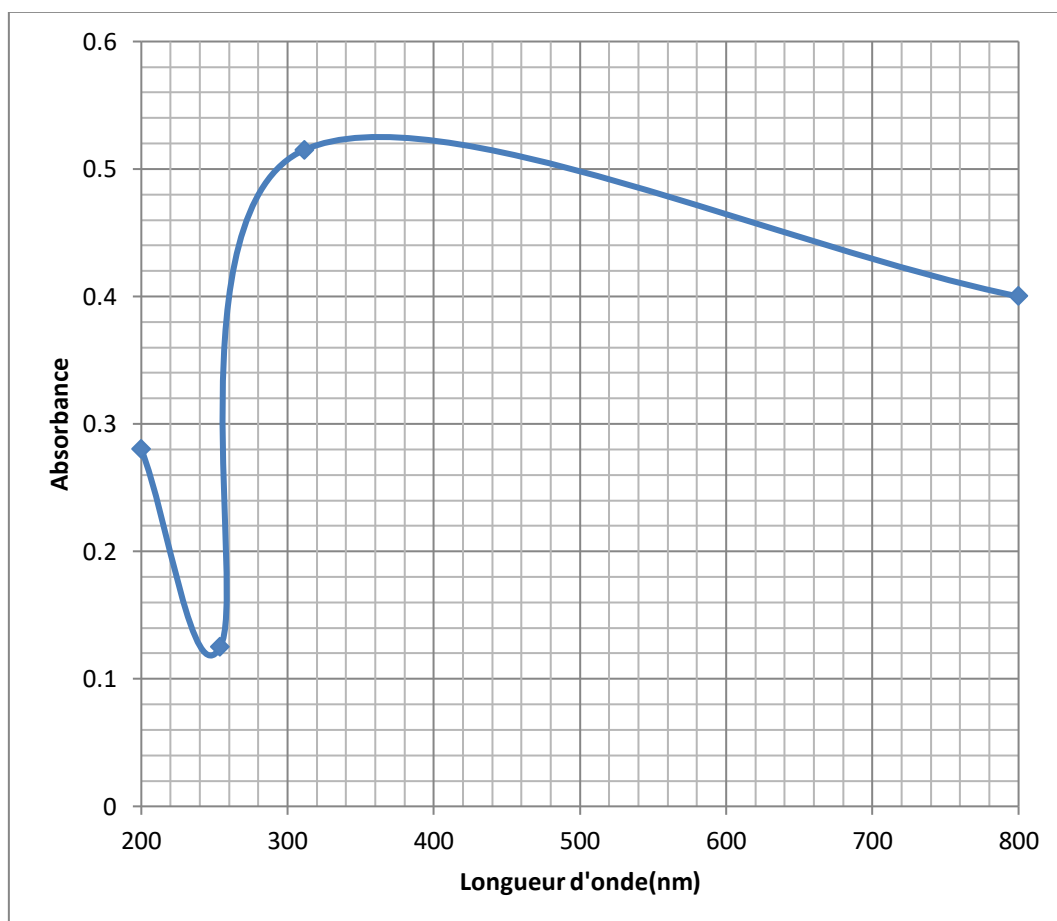


Figure. IV.1 : Spectre d'absorption UV-visible du pesticide étudié

Les concentrations des solutions du pesticide Reldane EC40 ont été analysées en mesurant leurs absorbances à une longueur d'onde maximale A311.50 ($\lambda_{\max} = 311.50 \text{ nm}$).

IV. 3. Courbe d'étalonnage:

Une courbe d'étalonnage des absorbances en fonction des concentrations en pesticide Reldane EC40 a été obtenue en utilisant des solutions de pesticide Reldane EC40 de concentrations comprises entre 0.4 et 2 mg/L. Les données expérimentales rapportées sur la figure suivante indiquent une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration [50].

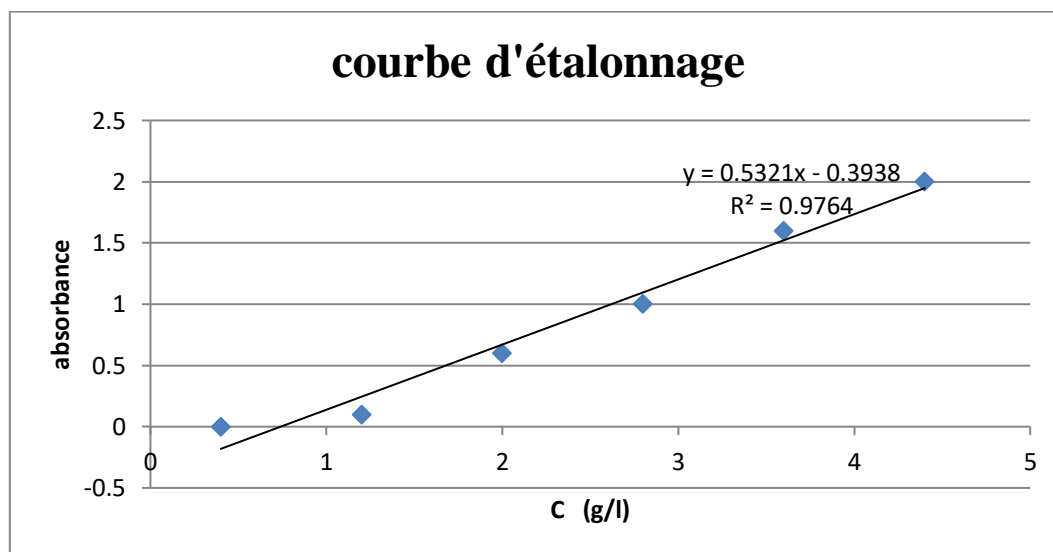


Figure. IV.2: Courbe d'étalonnage du pesticide au maximum d'absorption

IV.4. Effet du temps et de la vitesse d'agitation:

Le temps et de la vitesse d'agitation sont des paramètres importants dans la formation des coagulants et floculants. La coagulation demande une vitesse d'agitation rapide afin que le coagulant et les particules se rencontrent et se neutralisent, alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes sans détruire les floes déjà formés. On cherche à obtenir au final une eau plus limpide et des floes volumineux pour faciliter leur décantation.

IV.4.1. Cas de la coagulation:

Les vitesses mesurées sont de 50, 100, 150, 200, 250 et 300 tours par minute en 3 minutes. Lorsque la concentration du pesticide est de 0.4g/l(825 NTU) et que la dose de coagulant de chlorure ferrique est de(5000 mg/L) mg / L après le temps d'agitation rapide, la vitesse est réduite à 45 tr / min / pendant 17 minutes d'agitation. Après ce temps, éteignez la machine,

soulevez les outils d'agitation et laissez le mélange pendant **55** minutes. Un échantillon de **50** ml du surnageant est prélevé toutes les 10 minutes avec une pipette dans chaque bécher, sans perturber le liquide à analyser. Les résultats sont présentés dans les figures suivantes (Fig. IV.3).

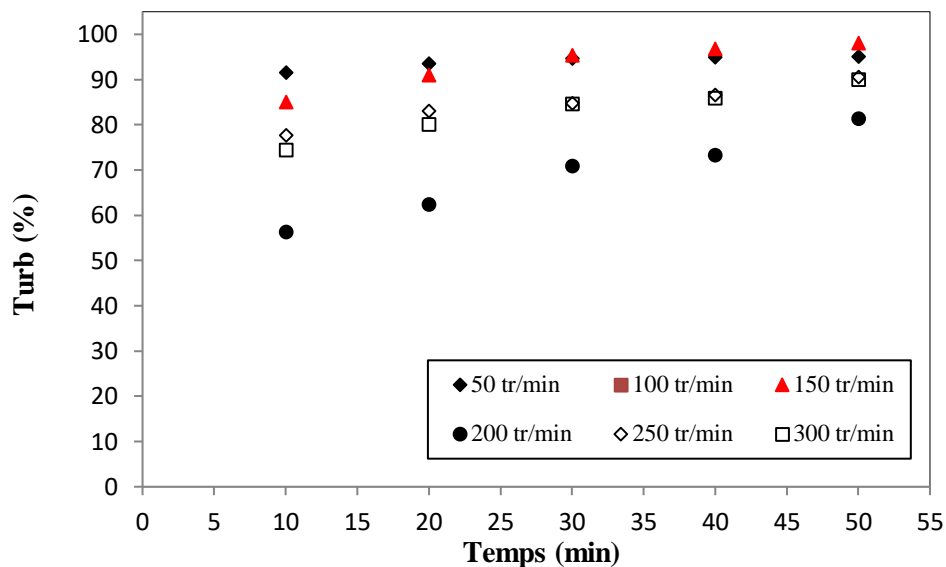


Figure IV .3 : Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Coagulation) : C_i (pesticide) = 1ml/L (825 NTU), $C(\text{FeCl}) = 5000$ mg/L, pH initial = 7.74, conductivité $\kappa = 1.2\text{mS/cm}$

On voit que les résultats de 150 et 250 tours / min pendant 3 minutes sont proches. A cet effet, une agitation rapide à 150 tr / min pendant 3 minutes sera considérée comme la vitesse de coagulation. Les résultats expérimentaux montrent que le taux d'élimination de la turbidité augmente avec le temps de stabilisation.

IV.5. Effet de la dose du coagulant:

IV.5.1. Sulfate d'alumine(SA):

L'effet de la dose du sulfate d'aluminium est illustré dans la figure (IV.4). Tous les paramètres ont été maintenus constants ($v_{\text{coag.}} = 150$ tr/min, Temps d'agitation rapide = 3 min, $v_{\text{floc.}} = 45$ tr/min, Temps d'agitation lente = 17 min), excepté la concentration du coagulant.

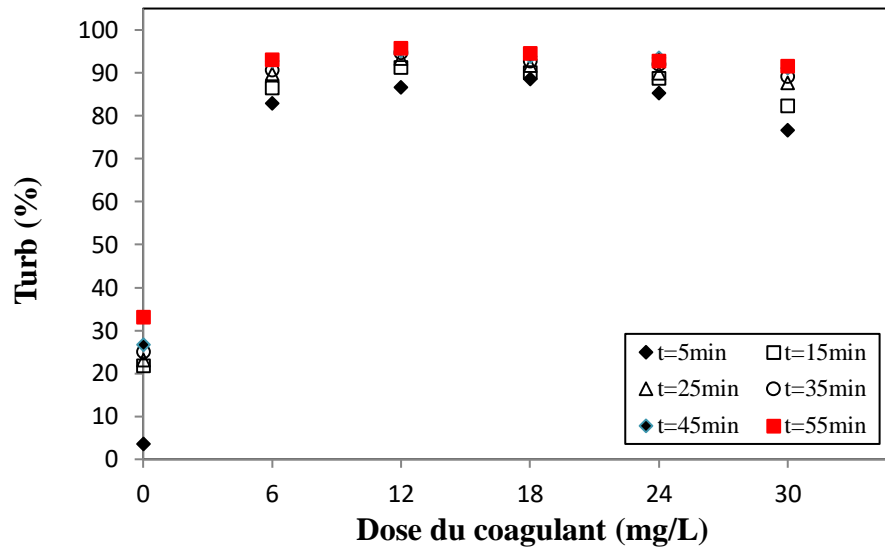


Figure IV.4 : Effet de la dose du coagulant ($AlSO_4$) et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : C_i (pesticide) = $0.4g/l/L$, pH initial = 7.68, conductivité κ = $1.2mS/cm$

On voit clairement que le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant et de temps de décantation pour les premières concentrations (06 – 12 mg/L). Comme le montre cette figure, un taux maximal de **95.74 %** est enregistré pour une dose de **12 mg/L** du coagulant après 55 min de décantation. Pour des doses supérieures à 12 mg/L, on voit l'effet inverse, c'est-à-dire, le taux diminue et ce en raison de la précipitation étendue de l'excès d'hydroxyde d'aluminium, qui gêne légèrement la coagulation [69]. Il est à noter que le temps de décantation a une influence sur l'abattement de la turbidité.

IV.5.2. Chlorure ferrique

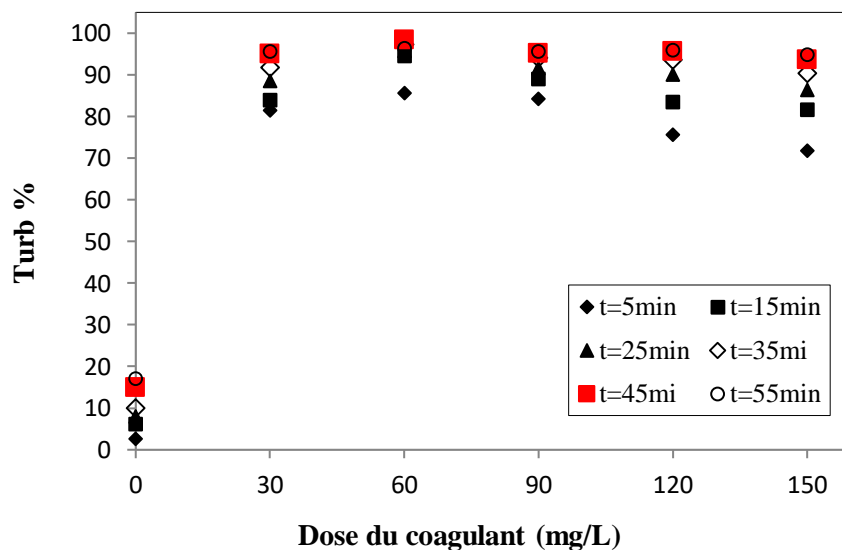


Figure. IV.5 : Effet de la dose du coagulant ($FeCl_3$) et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : C_i (pesticide) = $0.4g/l/L$, pH initial = 7.74, conductivité κ = $1.2mS/cm$

D'après la figure (IV.5), on voit que l'allure des courbes d'élimination de la turbidité en fonction de la dose du coagulant est semblable à celle obtenue pour le cas de sulfate d'alumine. Le maximum d'abattement (**96.37 %**) correspondant à la plus faible valeur de la turbidité est enregistré à une dose de **60mg/L** de **FeCl₃**.

IV.6. Effet du pH initial:

IV.6.1. En présence (SA):

Le pH initial est l'un des principaux paramètres jouant un rôle important dans l'efficacité de la coagulation-floculation par la formation des précipités tels que, $\text{Al}(\text{OH})_3$ et FeCl_3 [70,71].

Afin d'étudier l'effet de ce paramètre, le pH initial a été varié de 2.5 à 11.2 en utilisant une solution de HCl (0.1 N) ou une solution de NaOH (2 N) (Fig IV.6).

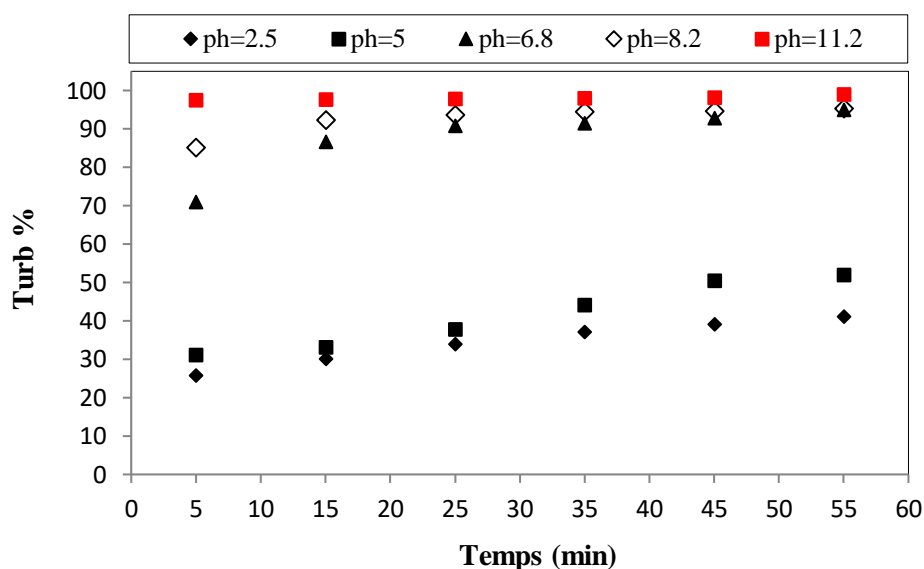


Figure IV.6: Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : C_i (pesticides) = 0.4g/l/L, $C(\text{SA}) = 60\text{mg/L}$ conductivité $\kappa = 1.2\text{mS/cm}$

La figure (IV.6) montre que, Y_{Turb} dépasse **95%** pour les pH **11.2** et **8.2** et **6.8** et ne dépasse pas **71%** pour les autres pH (**2.5** et **5**). Le maximum d'élimination de la turbidité a été observé à un pH de **11.2** avec $Y_{\text{Turb}} = 98\%$.

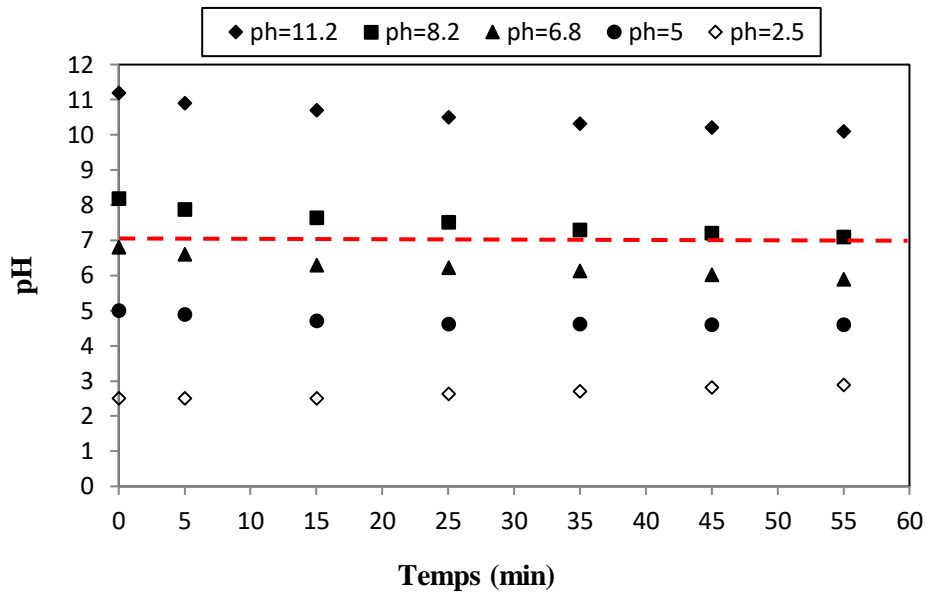


Figure IV.7: Evolution du pH au cours de la C-F en présence (SA)

Le pH a changé pendant la période de traitement par C-F et son évolution dépend du pH initial. On remarque un certain pouvoir tampon en raison d'une balance entre la production et la consommation de OH^- et du besoin de la neutralisation de la charge avant la transformation finale des composés solubles du coagulant sous forme d'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_3$) [64,69,72] qui empêche le changement élevé du pH de la neutralité, comme dans la figure (IV.7). Lorsque le pH initial est au-dessus de cette valeur, le pH diminue pendant la coagulation-floculation; autrement, on observe le même comportement.

IV.6.2. En présence de FeCl_3 :

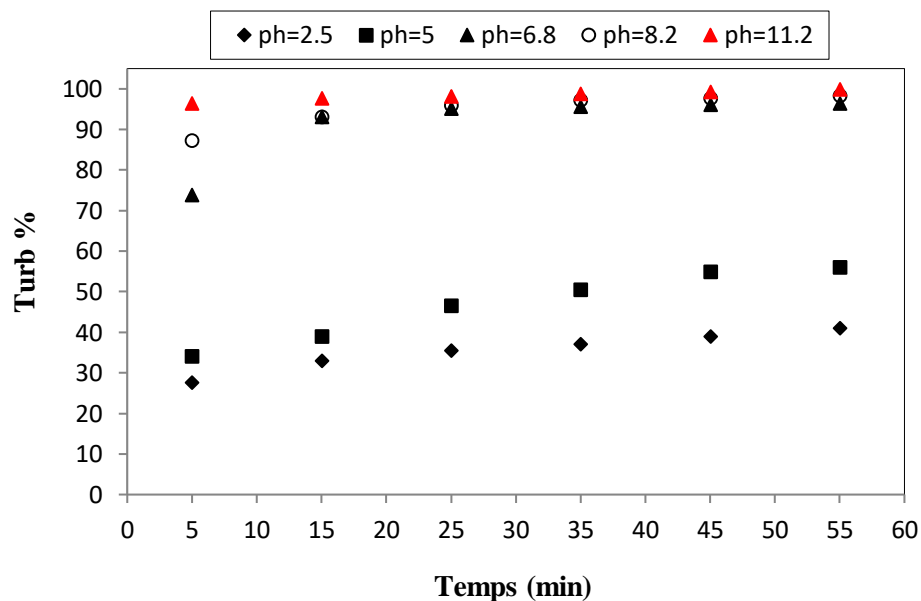


Figure IV.8 :Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité C_i (pesticide) =0.4g/l/L, $C(\text{FeCl}_3) = 60\text{g/L}$ conductivité $\kappa = 1.2\text{mS/cm}$

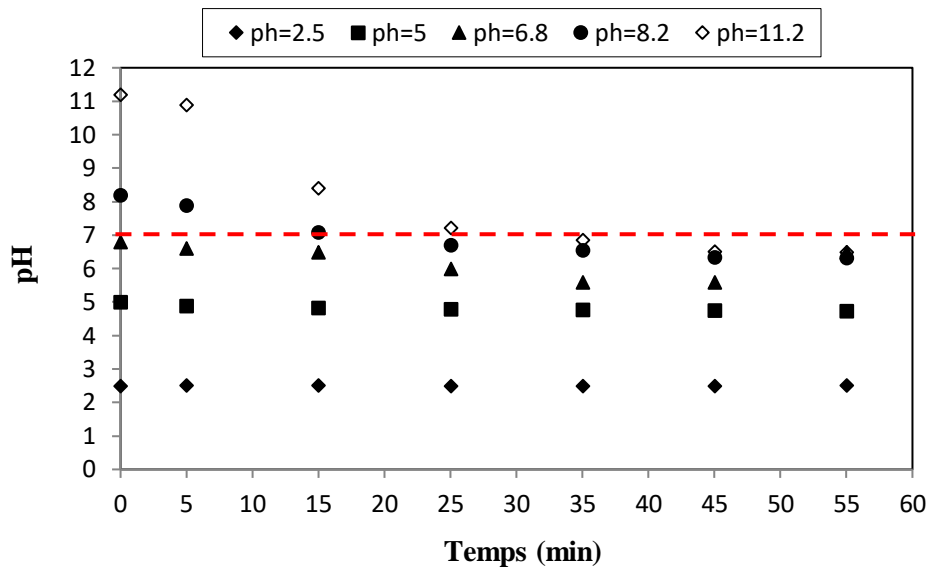


Figure IV.9 : Evolution du pH au cours de la C-Fen présence de FeCl_3

La figure (IV.6) montre que Y_{Turb} dépasse 95% pour les pH 6.8, 8.2 et 11.2 et ne dépasse pas 60% pour les autres pH (2.5 et 5). Le maximum d'élimination de la turbidité a été observé à un pH de 11.2 avec $Y_{\text{Turb}}=99\%$. Même interprétation que précédemment concernant l'évolution du pH au cours de la C-F (Fig. IV.8).

D'après l'étude de ce paramètre, nous pouvons dire que les deux coagulants sont efficaces, mais il est à signaler que pour le FeCl_3 , le pH final diminue rapidement et peut dépasser la norme de rejet (6.5 – 8.5).



Figure IV.10 : Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité en fonction du temps

IV.7. Influence de la concentration initiale du pesticide sur l'élimination de la turbidité:

Dans le but d'évaluer l'influence de la concentration initiale du pesticide sur le traitement par la coagulation floculation, nous avons étudié les concentrations suivantes : **0.4 ; 0.8; 1.2; 1.6; 2; 2.4g/l**

Les figures(IV .8)et (IV .9) illustrent la variation du pourcentage d'élimination de la turbidité en fonction de la concentration initiale du pesticide, en utilisant les conditions optimales obtenues précédemment .Selon les résultats obtenus, la coagulation-floculation peut traiter des concentrations très élevées en pesticide avec des taux d'abattement de la turbidité allant de 80 % à 100 %).

IV.7.1. En présence de sulfate d'alumine:

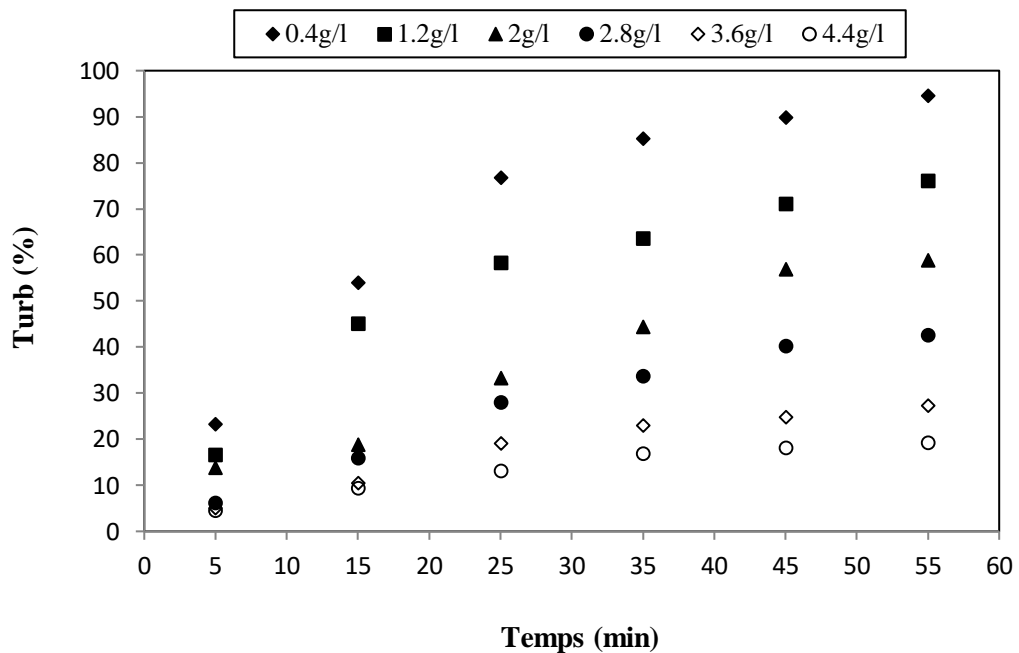


Figure IV .11: Effet de la concentration initiale du pesticide en présence (SA) sur l'élimination de la turbidité

IV.7.2. En présence de FeCl₃:

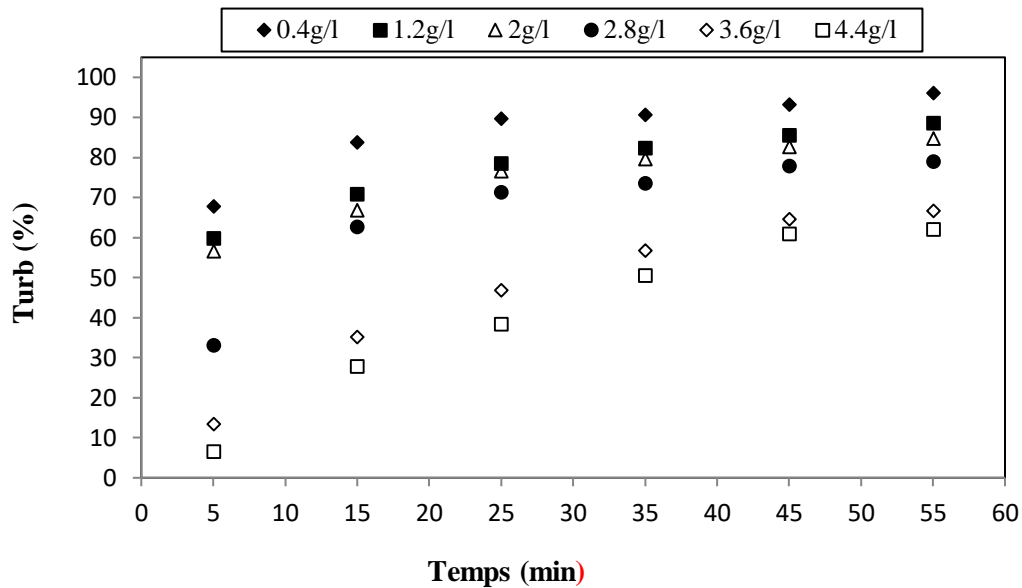


Figure IV.12 : Effet de la concentration initiale du pesticide en présence de FeCl₃ sur l'élimination de la turbidité

On peut diviser ces deux figures en deux parties :

- **0.4 à 1.2g/L** : L'abattement de la turbidité est très considérable pour cette gamme de concentrations. L'efficacité se situe entre **75 %** et **100 %** pour les deux coagulants.
- **1.2 à 4.4 g/L** : On constate que l'efficacité d'élimination de la turbidité est influencée par l'augmentation de concentration de pesticide de 9 à 11g/L. Ceci est prévisible quand la concentration de pesticide augmente la quantité du coagulant dissout ne suffit pas à éliminer la pollution. Les résultats montrent que l'efficacité de l'abattement de la turbidité pour ces concentrations se situe entre 19 % et 42 % pour (SA) et entre 62 % et 66 % pour FeCl₃.

IV.8. Conclusion:

Une série d'expériences a été réalisée afin de trouver les effets des paramètres influençant le procédé de coagulation-floculation, pour le traitement d'un effluent simulé constitué à base d'un pesticide (**Reldane EC40**) utilisé dans l'agriculture

Nos résultats soulignent l'opportunité d'appliquer cette technique pour un abattement efficace de la turbidité même pour des concentrations élevées. Le coagulant FeCl₃a montré une efficacité supérieure par rapport au sulfate d'alumine (SA), mais les valeurs du pH final sont

hors normes de rejet, ce qui requiert l'ajout des produits chimiques basiques engendrant ainsi des frais supplémentaires ; ce qui va rendre l'utilisation de ce coagulant un peu coûteuse.

Remarque:

Malheureusement nous avons rencontré des difficultés qui nous ont contraints à suspendre tous les essais, ce qui a influé directement sur l'avancement de notre travail, entre autre l'arrivée de la pandémie covid-19

Conclusion générale

Conclusion générale

Les pesticides constituent un enjeu important pour la qualité de notre alimentation et de notre environnement. On peut constater que l'agriculture dans le monde entier s'est grandement transformée pour suivre la concurrence du marché et est donc devenue plus intensive et hautement spécialisée. Alors que les propriétaires de terre diminuent, paradoxalement la productivité s'accroît et procure des gains importants. Malheureusement cette montée du secteur agricole n'a pas que des répercussions positives, elle détériore grandement l'environnement et elle est très néfaste pour la santé humaine et surtout pour celle de nos agriculteurs. Heureusement plusieurs actions sont entreprises afin de réhabiliter et de protéger nos milieux naturels.

Le but de l'épuration physicochimique du pesticide est d'assurer plusieurs opérations importantes, conjointes et nécessaires soit pour un rejet direct dans l'environnement, soit pour ne pas perturber le fonctionnement des stations d'épuration biologique.

L'objectif de cette mémoire est de traiter par des essais expérimentaux les effets négatifs des pesticides par l'application de l'une des techniques les plus utilisées dans le traitement des eaux polluées.

D'après notre étude, nous avons enrichi davantage nos connaissances en ce qui concerne le concept de l'élimination de pesticide. Alors nous avons partagé notre travail à quatre chapitres comme suite :

Le premier chapitre consacré pour la synthèse bibliographique. Dans cette partie nous avons présenté la pollution des eaux et les différents types de pollution. Les pesticides et ces différents types et les systèmes de classification des pesticides.

Tandis que dans le deuxième chapitre représente les procédés de traitement des eaux polluées. Dans ce domaine plusieurs méthodes de traitement ont été utilisées pour réduire et l'élimination des effets négatifs des polluants et parmi ces techniques nous citons le procédé de coagulation-floculation qui peut être considéré parmi les techniques efficaces et non coûteuses.

Pour le troisième chapitre est destiné pour le protocole expérimental. Matériels et méthodes utilisées pour réaliser notre essai expérimental pour l'élimination des effets nocifs des pesticides.

Et finalement dans le quatrième chapitre nous avons fait l'analyse et l'interprétation de résultats de nos essais expérimentaux. Alors nous avons conclu que d'après ces résultats que

le coagulant $FeCl_3$ a montré une efficacité supérieure par rapport au sulfate d'alumine ($Al_2(SO_4)_3$), mais les valeurs du pH final sont hors normes de rejet, ce qui requiert l'ajout des produits chimiques basiques engendrant ainsi des frais supplémentaires ; ce qui va rendre l'utilisation de ce coagulant un peu coûteuse.

- La vitesse d'agitation pour la coagulation doit être rapide en un temps de mélange très court (150 tr/ min - 3 minutes).
 - La dose optimale du sulfate d'aluminium est de 12g/L.
 - La dose optimale du chlorure ferrique est de 60g/L.
 - La coagulation-floculation fonctionne bien, même avec des concentrations élevées en pesticide, allant jusqu'à 2g/L (1009 NTU) pour le sulfate d'aluminium ($Y_{Turb} = 58.93$) et 4.4 mg/L (4233 NTU) pour le chlorure ferrique ($Y_{Turb} = 62.01\%$).
- . Malheureusement, nous n'avons pas pu terminer les expériences en raison de la pandémie covid-19

A titre de perspectives, d'autres travaux peuvent être envisagés :

- Etude d'autres coagulants et floculants naturels (bentonite, alginates, charbon actif...) et un floculant cationique.
- Etude du couplage électrocoagulation et coagulation-floculation.
- Etude de la variabilité des effluents avec le mélange de plusieurs pesticides.

Les recherches en termes de santé concernant l'exposition aux pesticides ont très bien démontré jusqu'à présent ses effets très néfastes sur notre organisme. Nous sommes actuellement dans une société où les gens veulent être informés de ce qu'ils consomment et leur santé les préoccupe d'avantage. Les lois existantes et les actions entamées pour régler le problème de résidus de pesticides sont bien, mais peu suffisantes. Ces lois doivent être plus strictes et comporter des solutions plus viables pour l'environnement et notre santé. En s'alliant vers une productivité biologique moderne nous pourrions arriver à faire de l'agriculture, une agriculture propre, qui aura de meilleurs avantages sur notre santé et environnement en plus de faciliter le développement de l'économie locale.

Alors la recherche des techniques plus efficace pour réduire les effets négatifs des pesticides est un sujet de recherche très important. Les recherches dans ce domaine se poursuivent pour atteindre les meilleurs résultats afin de protéger la santé des individus ainsi que l'environnement.