

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Saâd Dahlab de Blida**  
**Faculté de Technologie**  
**Département de Chimie Industrielle**



**MEMOIRE DE MASTER**

**En Chimie Industrielle**  
**Spécialité : Génie de l'Environnement**  
**Option : Procédés de Traitement des Effluents et Protection de**  
**l'Environnement (PTEPE)**

**Thème**

**Étude de la Coagulation des Colorants de**  
**l'Industrie des Textiles (bleu cibacette et**  
**rouge solophényle 3BL)**

Présenté par :

M<sup>elle</sup> Chahrazad LARIBI

Encadré par :

Dr. Djamel GHERNAOUT

Année Universitaire 2012/2013

***A toute ma famille***

*A ma mère en particulier qui m'a beaucoup encouragée*

*A mon père*

*A mes sœurs et frères*

***A tous mes amis (es)***

*En particulier FETTA, HADJER, SOUMEYA, MIMI et ROUMAYSSA*

## **REMERCIEMENTS**

Tout d'abord je remercie ALLAH pour m'Avoir donné la santé, le courage et la volonté pour achever mon travail.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Traitement des Eaux de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH) de Blida et aussi au niveau du Laboratoire de la Station de Traitement des Eaux de Sidi M'hamed Ben Taiba (Wilaya d'Ain Defla) sous la direction de Monsieur Djamel Ghernaout, Maître de Conférences A, au Département de Chimie Industrielle.

Je tiens à remercier vivement Monsieur D. Ghernaout qui a accepté de m'encadrer dans ce projet passionnant et intéressant et à qui j'exprime ma profonde gratitude pour son suivi constant et ses conseils dont il m'a fait part au cours de ce travail.

Je remercie Monsieur le Président du Jury, Professeur Bachir Bouzid, le responsable de notre Master PTEPE, pour m'avoir honorée en acceptant de présider ce Jury.

Je remercie également les autres membres du Jury pour avoir eu la gentillesse d'examiner ce travail.

Que M<sup>elle</sup> Amina Grini trouve ici l'expression de ma reconnaissance pour avoir suivi ce travail avec un grand intérêt. Je lui dois également une profonde gratitude pour ses conseils, son aide et surtout pour son amitié. Je la remercie infiniment ainsi que toute sa famille.

Je remercie tout le personnel du Département de la Chimie Industrielle, tout le personnel Laboratoire de Traitement des Eaux de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH) de Blida, tout le personnel du Laboratoire de la Station de Traitement des Eaux de Sidi M'hamed Ben Taiba (Wilaya d'Ain Defla) pour leurs soutiens et aides.

Je remercie tous les membres de ma famille pour leur présence continue à mes côtés.

## الملخص

في دراستنا، يتم تطبيق عملية التخثير لعلاج المحاليل التي تحتوي على الأصباغ الاصطناعية النسيج، cibacette الزرقاء (BC) و solophényle الحمراء 3 BL (RS). تأثير العوامل التشغيلية مثل تركيز المخثر، نوع المخثر ( $\text{FeCl}_3$ ) و  $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})$ ، ودرجة الحموضة الأولية، وتركيز الصبغة. في الواقع، لتركيز الأصباغ ثابت عند 15 ملغ ل<sup>-1</sup>، و الجرعات المثلى ل  $\text{FeCl}_3$  هي 80 و 20 ملغ ل<sup>-1</sup> RS و BC مع نسبة إزالة 65 و 89٪، على التوالي. فيما يتعلق بالشب، تم الحصول على تقليص اللون إلى 44 و 77٪ ل BC و RS للجرعات المثلى 80 و 40 ملغ ل<sup>-1</sup>، على التوالي. وتم الحصول على نتائج مماثلة لتركيز 50 ملغ ل<sup>-1</sup> للصبغين الإثنين.

*الكلمات المفتاحية:* ملون، التخثير،  $\text{FeCl}_3$ ،  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

## Abstract

In our study, the coagulation process is applied to treat synthetic solutions containing textile dyes, blue cibacette (BC) and red solophényle 3BL (RS). The effect of operational parameters such as coagulant dose, coagulant type ( $\text{FeCl}_3$  and  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), initial pH, and dye concentration. Actually, for a fixed 15 mg L<sup>-1</sup> concentration of the two dyes, the  $\text{FeCl}_3$  optimal doses are 80 and 20 mg L<sup>-1</sup> for RS and BC with removal rates of 65 and 89%, respectively. Regarding alum, discoloration is achieved at 44 and 77% for BC and RS with optimal doses of 80 and 40 mg L<sup>-1</sup>, respectively. Similar results are obtained for a 50 mg L<sup>-1</sup> concentration of the two dyes.

*Key words:* coagulation;  $\text{FeCl}_3$ ;  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ; blue cibacette (BC); red soléphényle (RS).

## Résumé

Dans notre étude, le procédé de coagulation est appliqué pour traiter des solutions synthétiques contenant des colorants textiles, le bleu cibacette (BC) et le rouge solophényle 3BL (RS). L'effet des paramètres opérationnels tels que : dose du coagulant, type du coagulant ( $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), pH initial, et concentration du colorant. Réellement, pour une concentration fixée à 15 mg L<sup>-1</sup> des deux colorants, les doses optimales de  $\text{FeCl}_3$  sont 80 et 20 mg L<sup>-1</sup> pour le BC et le RS avec des taux d'élimination de 65 et 89%, respectivement. Concernant l'alun, un rendement de décoloration est atteint à 44 et 77% pour le BC et le RS à des doses optimales de 80 et 40 mg L<sup>-1</sup>, respectivement. Des résultats similaires sont obtenus pour une concentration 50 mg L<sup>-1</sup> pour les deux colorants.

*Mots clés :* coagulation;  $\text{FeCl}_3$ ;  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ; bleu cibacte (BC), rouge solophényle (RS).



# TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

**INTRODUCTION GENERALE**.....1

## **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **Chapitre I Coagulation**

1.1. Système colloïdal .....3

1.2. Nature des systèmes colloïdaux .....3

1.3. Stabilité des systèmes colloïdaux.....3

1.4. Coagulation-Floculation .....5

1.5. Application de la C/F dans le domaine de la dépollution des effluents des rejets textiles

.....11

### **Chapitre II Colorants de l'industrie des textiles**

2.1. Introduction.....13

2.2. Colorants.....13

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre III Matériels et méthodes**

3.1. Techniques expérimentales .....17

3.2. Procédure expérimentale .....17

3.3. Expérience au jar test .....21

### **Chapitre IV Résultats et discussions**

4.1. Introduction .....22

4.2. Effet de la dose du coagulant .....22

4.3. Effet du type du coagulant .....24

4.4. Effet du pH .....24

4.5. Effet de la concentration initiale du colorant .....28

**CONCLUSION GENERALE**.....29

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1.1</b> Différents travaux sur la coagulation/floculation .....	12
<b>Tableau 3.1</b> Caractéristiques des colorants étudiés .....	18

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1</b> Potentiel électrique des particules colloïdales .....	4
<b>Figure 1.2</b> Représentation schématique de la compression de la couche diffuse .....	5
<b>Figure 1.3</b> Représentation schématique de la neutralisation des charges .....	7
<b>Figure 1.4</b> Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation .....	8
<b>Figure 1.5</b> Adsorption et pontage à l'aide de polymères .....	9
<b>Figure 3.1</b> Flocculateur (Jar test) .....	19
<b>Figure 3.2</b> Spectrophotomètre UV-vis .....	20
<b>Figure 4.1</b> Effet de la dose des coagulants sur l'élimination des deux colorants. (A) Bleu cibacette (BC), (B) Rouge solophényle 3BL (RS). [colorant] = 15 mg L <sup>-1</sup> .....	23
<b>Figure 4.2</b> Effet de la dose des coagulants sur l'élimination des deux colorants. (A) Bleu cibacette (BC), (B) Rouge solophényle 3BL (RS). [colorant] = 50 mg L <sup>-1</sup> .....	23
<b>Figure 4.3</b> Effet du pH sur l'élimination des deux colorants. (A) Bleu cibacette (BC), (B) Rouge solophényle 3BL (RS). [colorant] = 15 mg L <sup>-1</sup> .....	25
<b>Figure 4.4</b> Répartition molaire du fer (III) en fonction du pH .....	25
<b>Figure 4.5</b> Effet du pH sur l'élimination des deux colorants. (A) Bleu cibacette (BC), (B) Rouge Solophényle 3BL (RS). [colorant] = 50 mg L <sup>-1</sup> .....	26
<b>Figure 4.6</b> Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH .....	27



## CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude vise principalement l'élimination des colorants synthétiques, le bleu cibacette (BC) et le rouge solophényle 3BL (RS) présents dans les effluents d'industrie du textile par coagulation avec deux coagulants largement utilisés dans l'industrie de l'eau ( $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ). Pour cela, nous avons simulé le processus de coagulation au laboratoire en utilisant un Jar test. Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ La concentration du coagulant est un paramètre fort essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. En effet, l'augmentation de la dose du coagulant fait engendrer une augmentation de l'efficacité de traitement physicochimique jusqu'à une certaine valeur optimale. Au-delà de ce seuil, il y aura une diminution progressive du rendement d'élimination :
  - Réellement, pour une concentration fixée à  $15 \text{ mg L}^{-1}$  des deux colorants, les doses optimales de  $\text{FeCl}_3$  est de l'ordre de 80 et  $20 \text{ mg L}^{-1}$  pour le BC et le RS avec des taux d'élimination de l'ordre de 65 et 89%, respectivement. Concernant l'alun, pour une concentration maintenue à  $15 \text{ mg L}^{-1}$  des deux colorants, un rendement de décoloration est atteint à 44 et 77% pour le BC et le RS à des doses optimales de 80 et  $40 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivement.
  - Pour une concentration de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  des deux colorants, les doses optimales de  $\text{FeCl}_3$  sont 200 et  $80 \text{ mg L}^{-1}$  pour BC et RS avec des taux d'élimination de l'ordre de 82 et 89%, respectivement. Concernant l'alun, un rendement de décoloration est atteint à 73 et 78% pour BC et RS à des doses optimales de 300 et  $200 \text{ mg L}^{-1}$ .
- ✓ Le traitement par le coagulant  $\text{FeCl}_3$  permet une décoloration efficace des solutions synthétiques contenant les deux colorants.
- ✓ Le processus de coagulation a fait apparaître divers mécanismes qui sont complexes et dépendants du pH de l'eau colorée à traiter.
- ✓ Pour un pH compris entre 5 et 6, de grands taux d'élimination sont obtenus avec le  $\text{FeCl}_3$  pour les deux colorants à différentes concentrations. Les pH acides favorisent cette fois-ci un rendement plus ou moins élevé à une concentration optimale de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  pour les deux polluants et à différentes concentrations.
- ✓ La spéciation du coagulant dépend du pH, la concentration du coagulant et les anions minéraux ou organiques en présence. D'où les mécanismes prédominants à savoir la

neutralisation de charge suivie par une précipitation des complexes colorant-coagulant, qui sont insolubles, et éventuellement une adsorption des complexes formés dans les précipités d'hydroxydes du métal.

- ✓ L'augmentation de la teneur initiale en colorant induit un accroissement du pourcentage d'abattement, mais aussi une demande plus importante en coagulant ce qui permet de mettre en évidence une certaine stœchiométrie entre la dose du coagulant et la concentration initiale du colorant.
- ✓ L'élimination du colorant RS est plus élevée que celle du BC. Ceci est dû probablement à la différence de structure et de poids moléculaire des deux colorants.

En perspective, il serait intéressant de poursuivre cette étude en examinant particulièrement les points suivants :

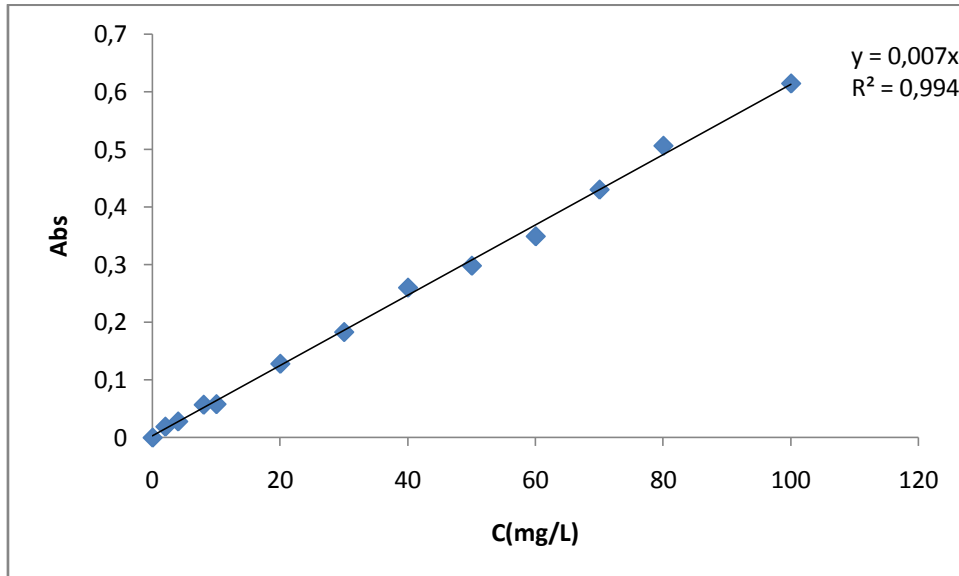
- ✚ une étude comparative entre la coagulation classique et la coagulation électrochimique (EC),
- ✚ une étude techno-économique de la coagulation des deux colorants examinés,
- ✚ une utilisation d'un coagulant naturel comme un agent flocculant dans le traitement des effluent textiles,
- ✚ et une application sur un effluent réel de l'industrie des textiles contenant éventuellement les deux colorants testés dans ce travail.

## LISTE DES ABREVIATIONS

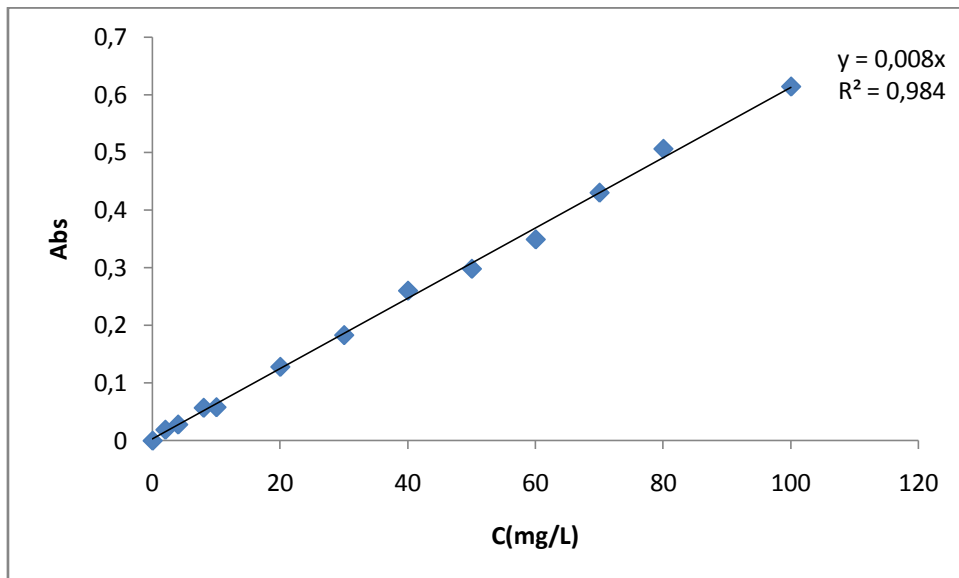
Alun	Sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ).
Abs	Absorbance UV-vis.
BC	Bleu cibacette
C/F	Coagulation/Floculation
MES	Matière en suspension (mg/L)
RS	Rouge solophényle
UV	Ultra Violet
$\lambda$	Longueur d'onde (nm)
R (%)	Rendement de la réduction de l'absorbance UV-vis.

Les courbe d'étalonnage de colorant bleu cibacette (BC) à  $\lambda_{\max} = 626 \text{ nm}$

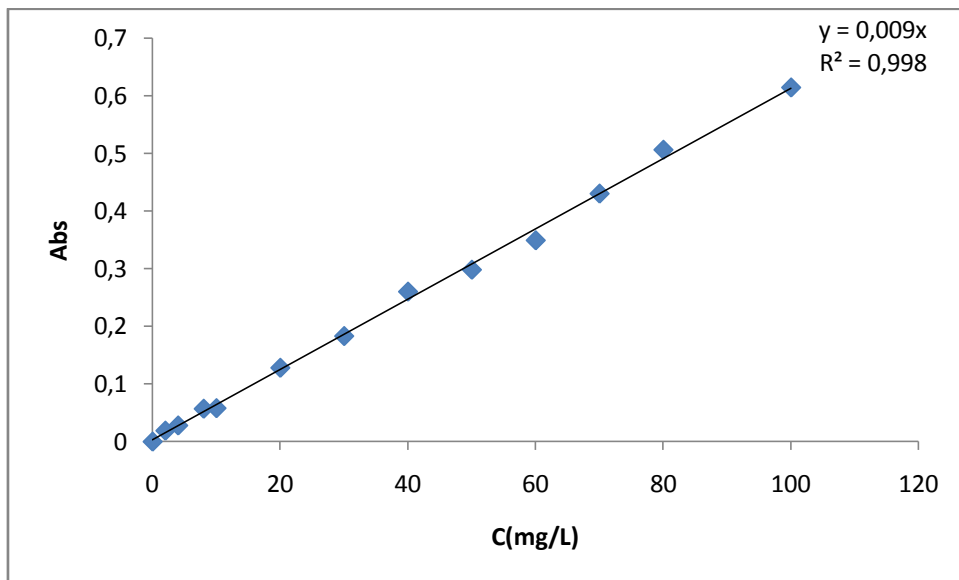
**pH=12**



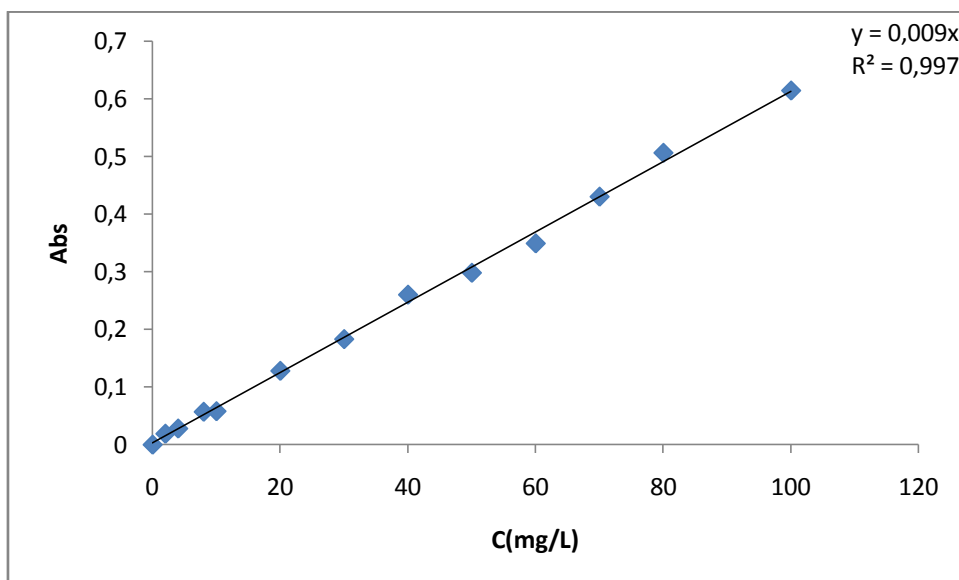
**pH=10**



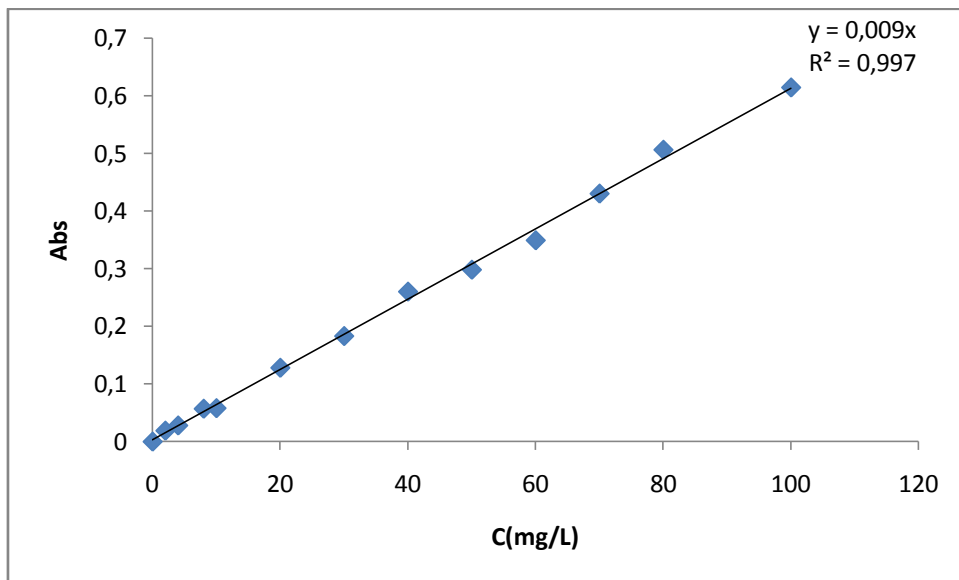
**pH=8**



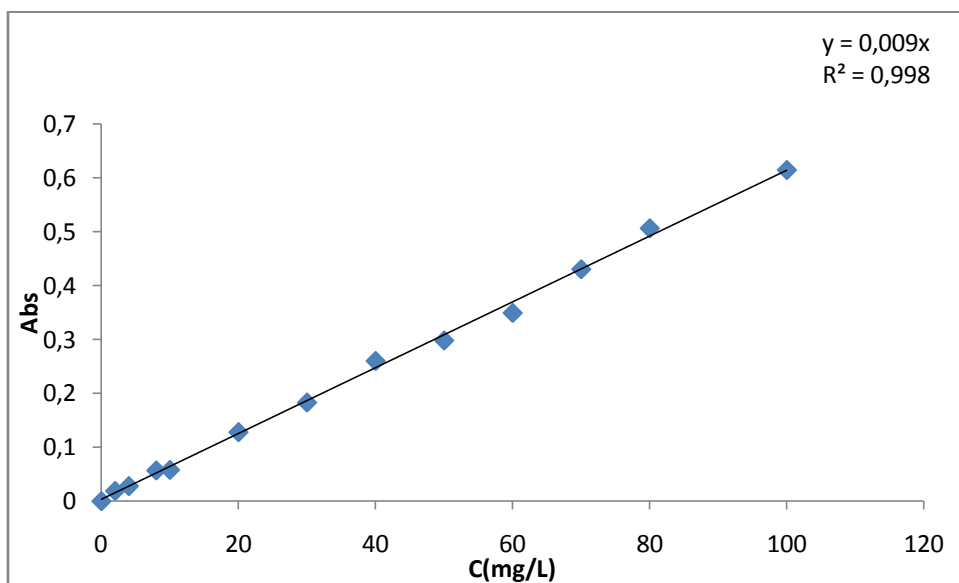
**pH=7**



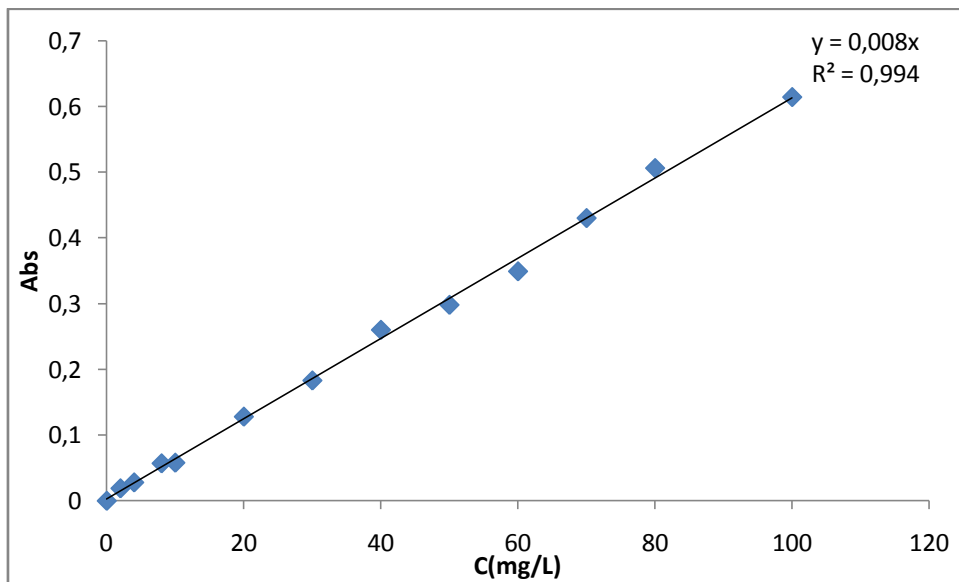
**pH=6**



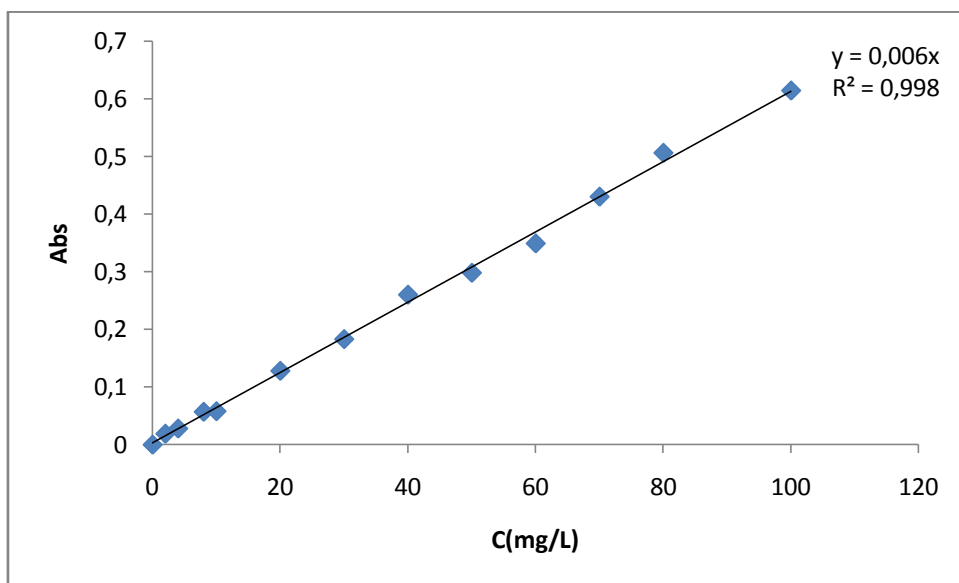
**pH=5**



**pH=4**

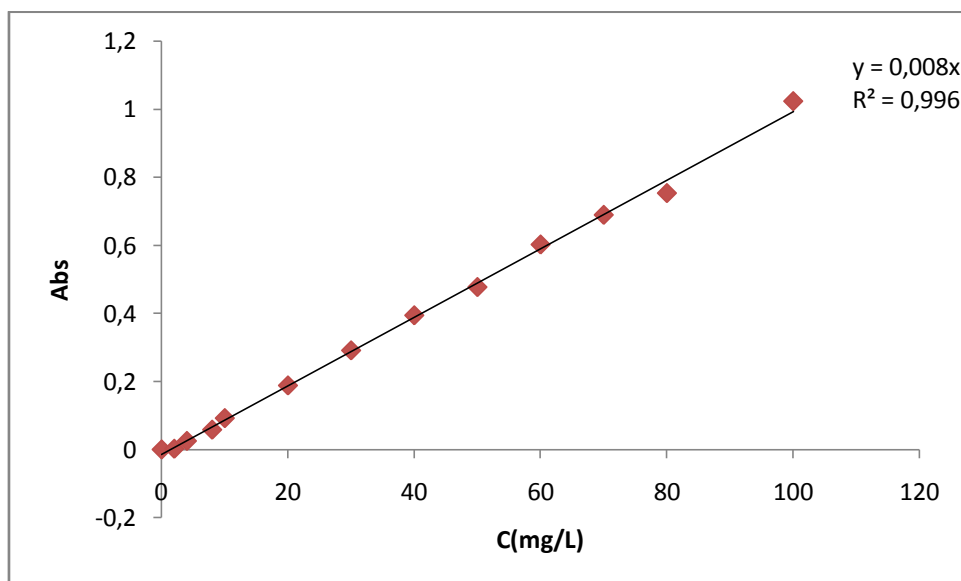


**pH=2**

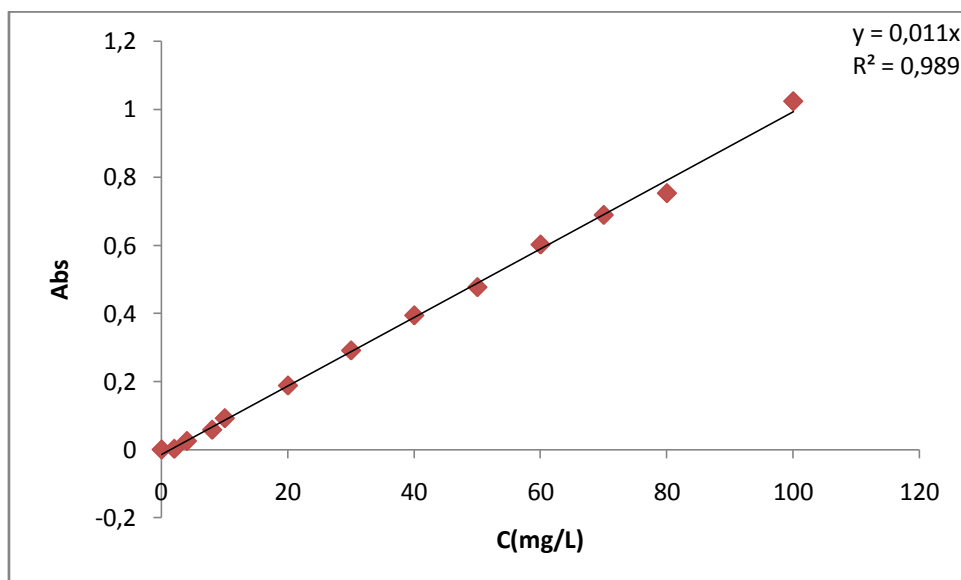


Les courbe d'étalonnage de colorant Rouge Solophényle (RS) à  $\lambda_{\max} = 544 \text{ nm}$

**pH=12**

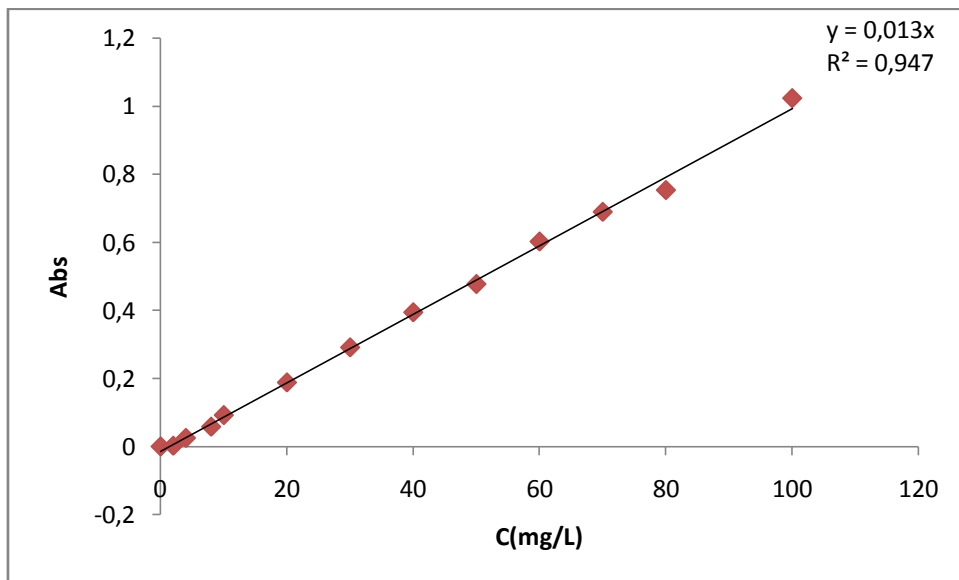


**pH=10**

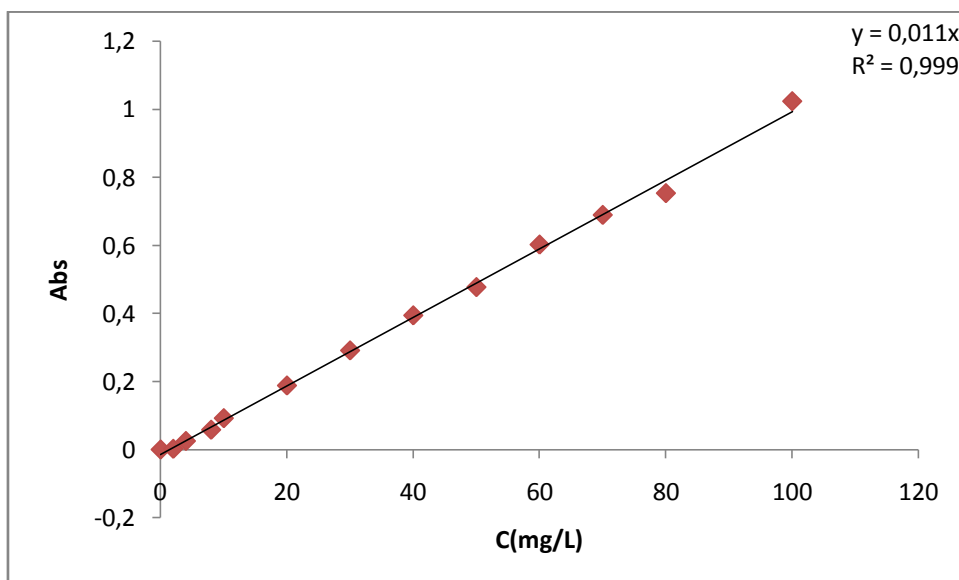




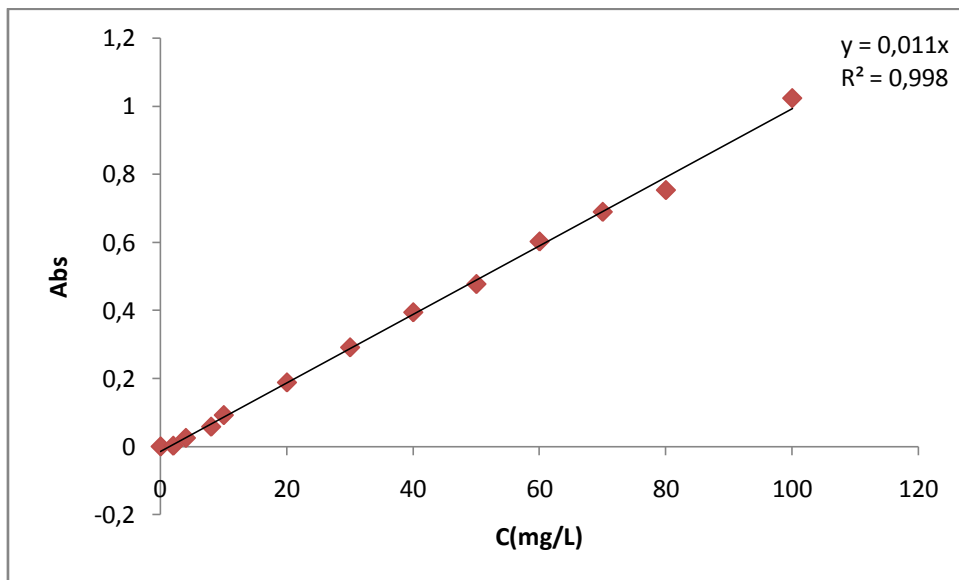
**pH=8**



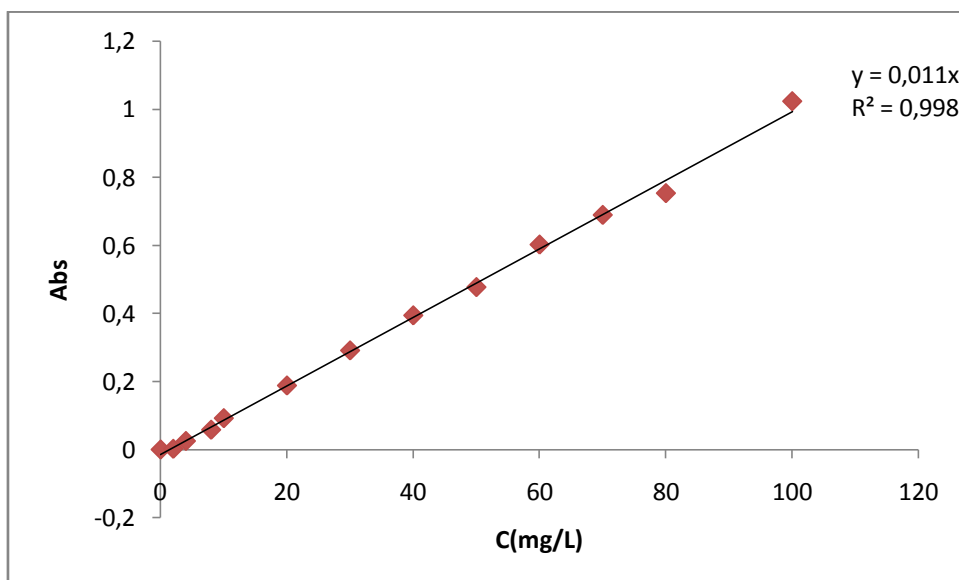
**pH=7**



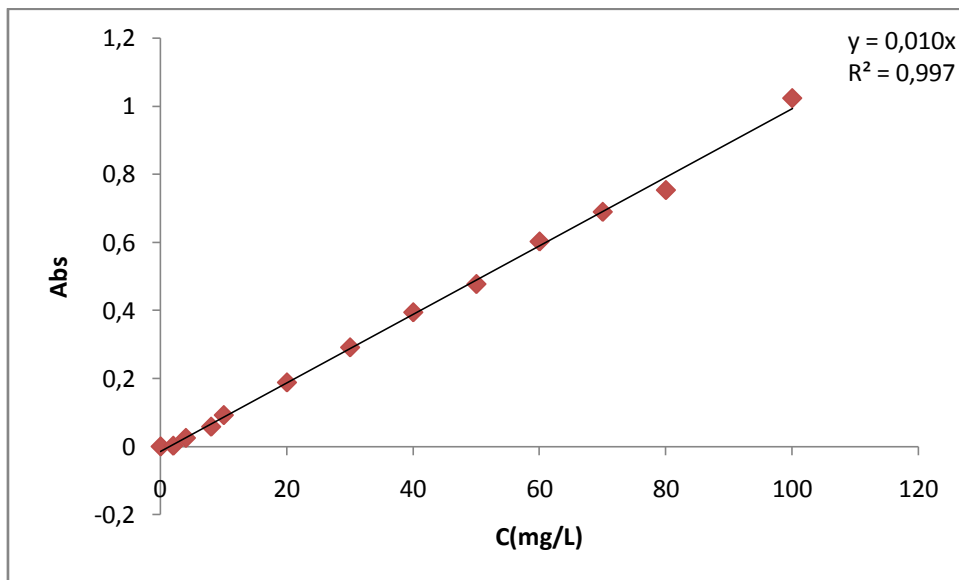
**pH=6**



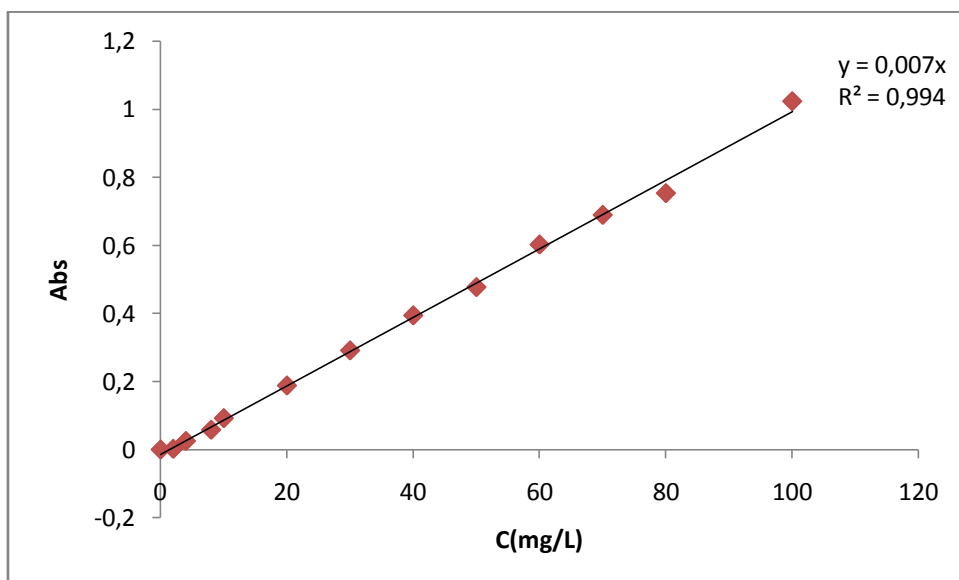
**pH=5**



**pH=4**



**pH=2**



# *Introduction générale*

# *Partie bibliographique*

# *Chapitre 1*

## *Coagulation/floculation*

# *Chapitre 2*

## ***COLORANTS DE L'INDUSTRIE DES TEXTILES***

# *Chapitre 3*

## *Matériel et méthodes*



# *Partie expérimentale*

# *Chapitre 4*

## *Résultats et discussions*

# *Conclusion générale*

*Références  
bibliographiques*

# ***ANNEXE***

# CHAPITRE 1

## COAGULATION/FLOCCULATION

### 1.1 Système colloïdal

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

- Matières en suspension (MES) qui regroupent les plus grosses particules. Ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1  $\mu\text{m}$ .
- Matières colloïdales sont de même nature et origine que les MES, mais de diamètre inférieur à 1  $\mu\text{m}$ .
- Les matières dissoutes sont généralement des cations, ou anions, voire-même des molécules de quelques nanomètres de diamètre.

La difficulté de la sédimentation des particules colloïdales est essentiellement due d'une part, à la faible taille des particules, à leur densité proche de l'eau et d'autre part, aux charges électriques réparties à leurs surfaces qui leur confèrent une grande stabilité [5].

### 1.2 Nature des systèmes colloïdaux

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

- *Particules hydrophiles*

Ce sont des particules (voire-même des molécules) de la matière organique, qui se dispersent spontanément dans l'eau et s'entourent de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules [6].

- *Particules hydrophobes*

Ce sont des particules de nature inorganique, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée, on doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques [6].

### 1.3 Stabilité des systèmes colloïdaux

#### *a) Force d'attraction-répulsion*

Les colloïdes sont chargés négativement. Etant de même signe, deux particules colloïdales se repoussent. Elles sont soumises à deux types de force de sens opposés :

- Force d'attraction ( $F_A$ ) gravitationnelle de Van der Waals, elle est liée à la surface spécifique et à la masse des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu.
- Force de répulsion ( $F_R$ ) électrostatique, elle est liée aux charges superficielles des colloïdes et, donc, à leur potentiel Zêta ( $pZ$ ).

Si  $F_A > F_R$ , l'agrégation se produit ;

Si  $F_R > F_A$ , il y a principalement la répulsion entre les particules colloïdales [7].

#### b) Double couche

Le colloïde s'entoure d'une double couche :

- une couche fixe, ou couche de Stern, se trouvant à la surface immédiate de la particule et au cœur de laquelle seuls les ions spécifiquement adsorbés peuvent pénétrer;
- une couche diffuse, ou couche de Gouy-Chapman, déformable et mobile, et est influencée par la force ionique de la solution [8]. La Figure 1.1 montre les différentes couches et le potentiel électrique des particules colloïdales.

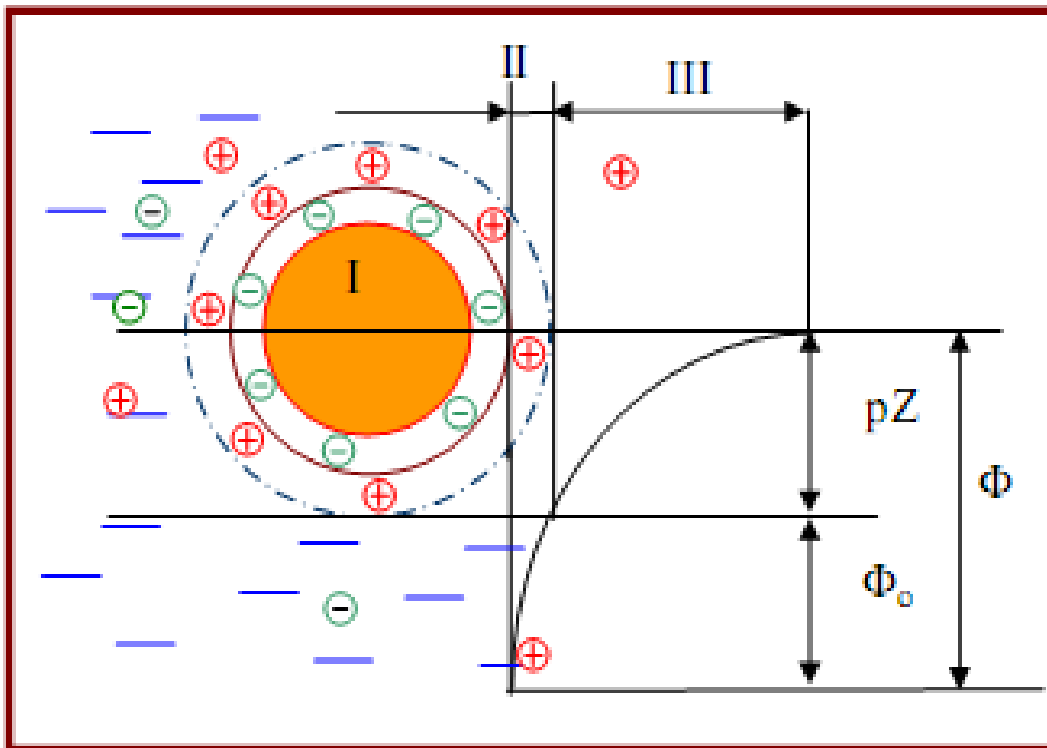


Figure 1.1 Potentiel électrique d'une particule colloïdale.

I : Particule colloïdale, II : Couche adhéree de Stern, III : Couche diffuse de Gouy-Chapman,  $\Phi$  : Potentiel total à l'interface colloïde-eau,  $\Phi_0$  : Potentiel différentiel dans la couche adsorbée,  $pZ$  : Potentiel Zêta.

## 1.4 Coagulation/floculation

Le procédé de coagulation/floculation (C/F) est un traitement primaire qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent. En effet, le procédé de C/F peut-être employé pour retirer plusieurs types de substances organiques et inorganiques [9].

### 1.4.1 Coagulation

La coagulation a pour but de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération. Elle est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques dits *coagulants* [9].

### 1.4.2 Mécanisme de la coagulation

Comme mentionné ci-dessus, le but de la coagulation est de déstabiliser les colloïdes. On peut obtenir cette déstabilisation par :

#### *a) Compression de la couche diffuse*

Lorsqu'on rapproche deux particules colloïdales semblables, leurs couches diffuses interagissent et génèrent une force de répulsion. Pour vaincre cette force répulsive, on ajoute un électrolyte fort qui va créer, au sein de l'eau, une force ionique plus élevée qui va contribuer à faire diminuer l'épaisseur du double couche. En effet, lorsque cette épaisseur diminue, les particules peuvent se rapprocher d'avantage et les forces d'attraction de Van der Waals vont être supérieures aux forces électrostatiques. Ce qui va favoriser l'agrégation des particules [5]. La Figure 1.2 représente schématiquement ce mécanisme.



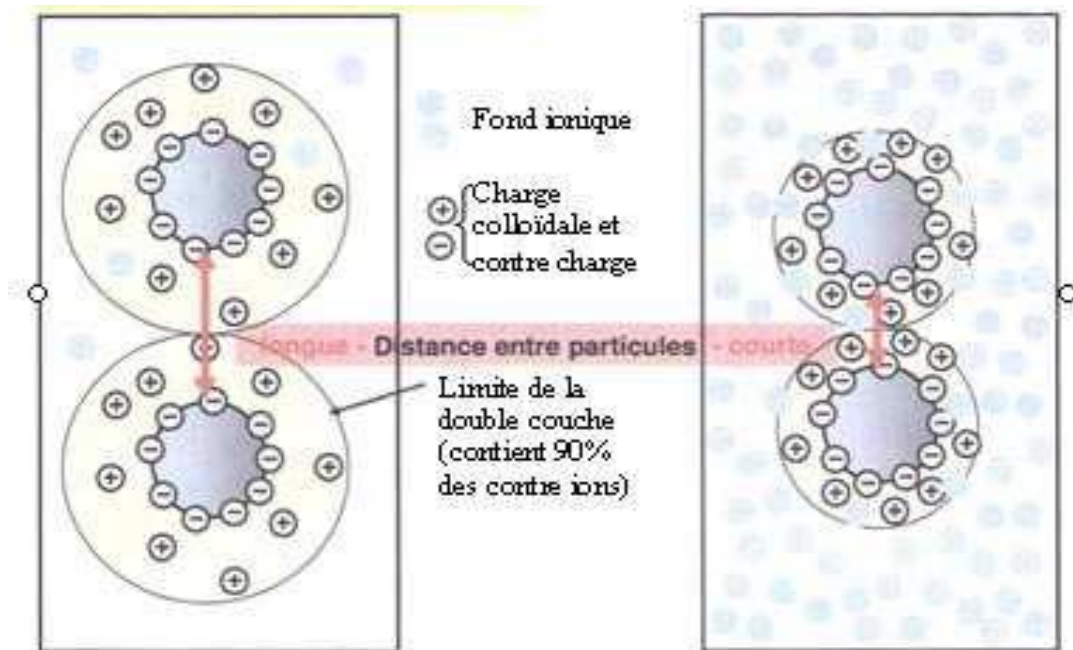


Figure 1.2 Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.

À une concentration d'électrolyte élevée, la force de répulsion disparaît et l'agglomération des particules se fait rapidement. Mais, aucune restabilisation des particules, due à une inversion de charge, ne devrait apparaître après ajout d'un surplus de coagulant [10].

#### b) Adsorption et neutralisation des charges

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface [5]. Une telle adsorption provoque une réduction de la charge surfacique et une déstabilisation des particules colloïdales [10].

En outre, la réduction de la charge de surface par adsorption a un mécanisme très différent de celui de la réduction par compression de la double couche en trois points principaux :

- Les espèces adsorbables sont capables de déstabiliser les colloïdes à un dosage beaucoup plus faible que les espèces non adsorbables.

- La déstabilisation par adsorption est stœchiométrique. La quantité de l'électrolyte nécessaire pour la coagulation par compression de double couche n'est pas stœchiométrique et elle est pratiquement indépendante de la concentration du colloïde.
- Il est possible qu'une surdose d'une espèce adsorbable cause une restabilisation par inversement de charge des particules colloïdales. Le fait que les ions peuvent être adsorbés au-delà du point de neutralisation de charge jusqu'à un inversement de charge peut être expliqué par une prédominance des interactions chimiques sur les effets de répulsion électrostatique dans certains cas [10]. La Figure 1.3 représente ce mécanisme.

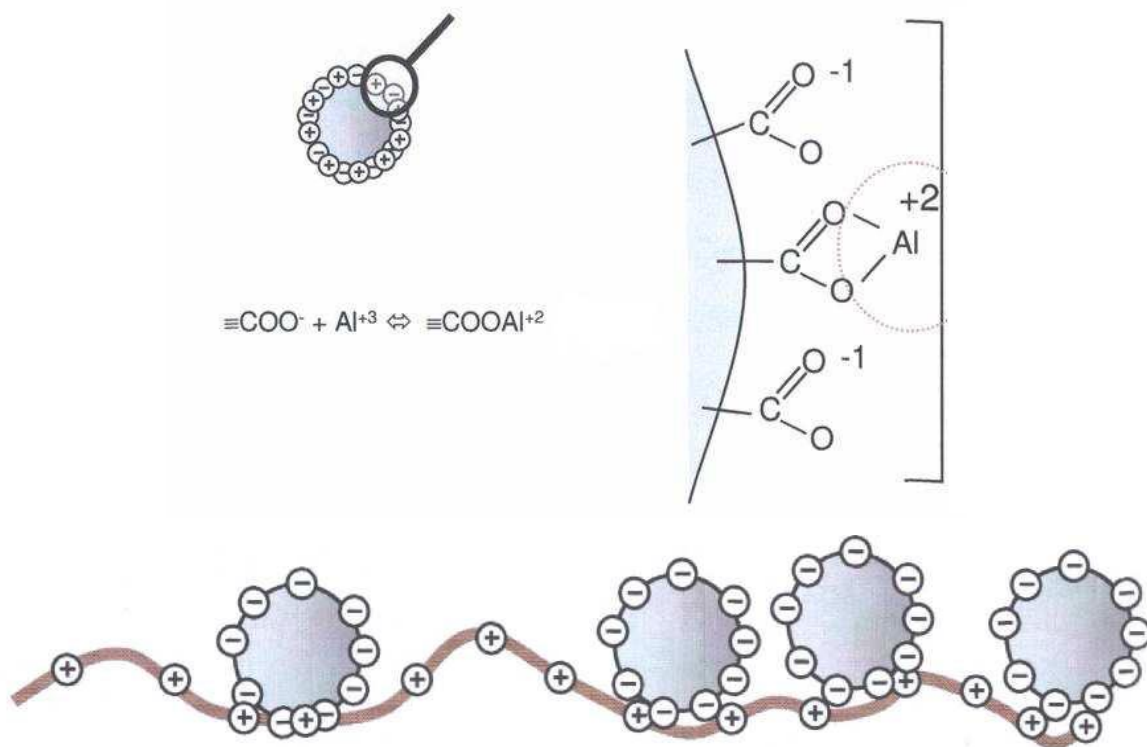


Figure 1.3 Représentation schématique de neutralisation des charges.

### c) Emprisonnement des particules dans un précipité

Dans ce cas, la déstabilisation des suspensions se fait selon un processus d'emprisonnement et d'entraînement des particules dans un précipité (*sweep coagulation*) [10]. En effet, lorsque des quantités suffisantes du coagulant, comme le sulfate d'aluminium (ou l'alun)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , ou le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ), 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 [5]. La Figure 1.4 montre ce mécanisme.

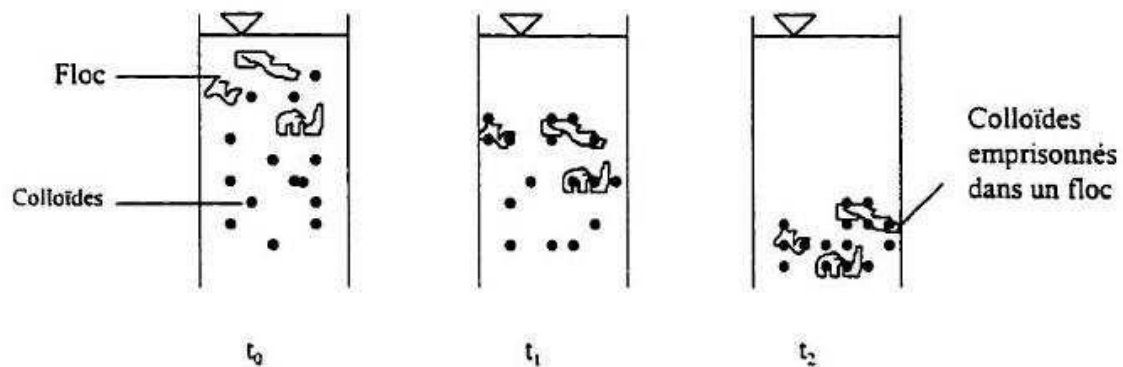


Figure 1.4 Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation.

#### d) Adsorption et pontage

L'utilisation de polymères synthétiques ou naturels, comme agents destabilisants dans le traitement des eaux, a montré que l'on obtenait des résultats très encourageants. Ce phénomène, parfois inexplicable à l'aide de la théorie de la double couche, peut être expliqué par l'adsorption et le pontage [5]. Ruehrwein et Ward (en 1952) et Lamer et Healy (en 1963), cités par [10], ont développé une théorie des ponts chimiques qui est valable pour expliquer le comportement observé de ces composés polymériques [10].

Réellement, les molécules des polymères, très longues, contiennent des groupes chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales à une de leurs extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules. Dans ce cas, le phénomène est décrit par la formation des *ponts* entre les particules colloïdales par l'intermédiaire des molécules des polymères. Cependant, il peut y avoir restabilisation de la suspension. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale [10]. La Figure 1.5 décrit ce processus.

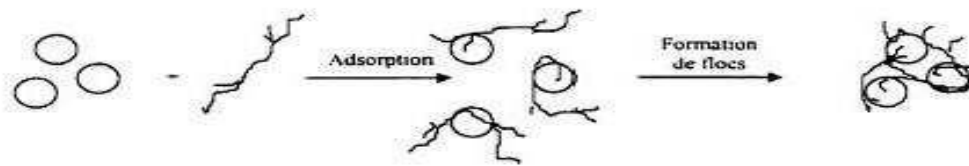


Figure 1.5 Adsorption et pontage à l'aide de polymères.

#### 1.4.3 Coagulant

C'est une substance chimique, comme l'alun, qui cause l'agglomération des particules fines et permet de former un précipité gélatineux dans l'eau usée (ou de surface) pouvant ensuite être retiré par décantation suivie d'une filtration [9]. Les principaux coagulants utilisés sont les sels d'aluminium et de fer :

##### - Sels d'aluminium

- Sulfate d'aluminium (alun):  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .
- Chlorure d'aluminium :  $\text{Al}_2\text{Cl}_3$ .
- Aluminate de sodium :  $\text{NaAlO}_2$ .

##### - Sels de fer

- Sulfate ferreux :  $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ .
- Chlorure ferrique :  $\text{FeCl}_3$ .
- Sulfate ferrique :  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ .

En outre, les produits les plus utilisés sont l'alun (même si celui-ci viens de connaitre une certaine réticence en Europe et aux Etats-Unis vue sa toxicité de plus en plus prouvée) et le chlorure ferrique. Ces coagulants, une fois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de la coagulation [11].

#### 1.4.4 Facteurs influençant la coagulation

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation [12]. Certaines sont liées à la qualité de l'eau à traiter : le pH, l'alcalinité, la

turbidité, la couleur, les matières organiques, et la température. D'autres sont liées au traitement lui-même : la nature et la dose du coagulant et le mode d'injection [5].

#### *a) Influence du pH*

Le pH est un des paramètres qui affecte beaucoup plus la C/F. Son contrôle est donc obligatoire. 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 donne une meilleure précipitation [7]. Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont résumées ainsi :

- $\text{Al(OH)}_3$ : pH 5,8-7,2;
- $\text{Fe(OH)}_3$ : pH 5,5-8,3.

Pour que la coagulation puisse se produire hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité du coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité [5].

#### *b) Influence de la température de l'eau*

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de la viscosité, c'est ce qui explique les difficultés de décantation du floc dans les eaux froides. L'abaissement de la température entraîne [5,11] :

- Une augmentation de la concentration en sulfate d'aluminium (alun) à l'optimum de la C/F.
- Une décroissance de la taille des floes.
- Un déplacement du pH optimum de la C/F vers les pH alcalins.
- La solubilité des coagulants est plus faible.

Une solution proposée par certains auteurs est d'augmenter l'intensité du mélange afin que le coagulant soit mieux dispersé et qu'un floc de meilleure qualité soit obtenu. Une autre solution proposée est d'ajuster le pH en eau froide afin que la solubilité des coagulants soit minimale [11].

#### *c) Concentration du coagulant*

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. En effet, un surdosage du coagulant produit inévitablement une restabilisation des particules colloïdales. Aussi, les sites d'adsorption des particules colloïdales ne seraient plus disponibles pour la formation des ponts interparticulaires dans le

cas de la C/F avec les polyélectrolytes. 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 [7].

#### *d) Influence du mélange*

Au cours de la C/F, on procède au mélange des produits chimiques en deux étapes :

- À la première étape, le mélange est énergique et de courte durée (120 s au maximum) : c'est ce qu'on appelle *le mélange rapide*. Ce mélange a pour but de disperser instantanément les produits chimiques dans la totalité du volume de l'eau à traiter.
- À la deuxième étape, le mélange est lent et il a pour but de favoriser les contacts entre les particules déstabilisées et les floccs. Le mélange doit être, cependant, suffisamment énergique pour engendrer des différences de vitesses de l'eau dans le bassin. En effet, si tel est le cas, les forces de cisaillement qui s'exercent sur les floccs risquent de les briser même si la durée du mélange dans un bassin de floculation peut n'être que de 10 min (elle varie en général de 30 à 60 min) [12].

#### 1.4.5 Floculation

La floculation représente l'étape où les particules déstabilisées sont rassemblées en agrégats (floccs). Cette réaction est réalisée par l'apport du flocculant. En raison de leur très haut poids moléculaire et de leur charge ionique qui permet de rassembler les particules déstabilisées, les polymères sont injectés comme flocculants. En effet, la floculation est généralement réalisée en 2 temps :

- Injection du flocculant : un brassage rapide permet une bonne répartition ;
- Maturation du flocc : un brassage plus lent permet la formation et le rassemblement du flocc [13].

#### 1.5 Application de la C/F dans le domaine de la dépollution des effluents des rejets textiles

De nombreuses études ont été réalisées pour étudier le degré d'efficacité de ce procédé pour éliminer les colorants susceptibles d'exister dans les différents écosystèmes. Le Tableau 1.1 présente une courte synthèse bibliographique relative à ces différents travaux.

Coagulant	Dose optimale (mg L <sup>-1</sup> )	Floculant	Type de colorant	pH optimum	R (%)	Référence
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	5000	Sulfate de cuivre comme catalyseur	Réactif	4	74	[14]
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	20	Floculant (Colfloc-RDeCiba)	Acide	Proche du neutre	98	[15]
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	200	Polyélectrolyte	cuve	9,4	90	[16]
FeCl <sub>3</sub>	400		cuve	8,3	100	[16]
FeCl <sub>3</sub>	293		Réactif et dispersé	6	71	[17]

Tableau 1.1 Différents travaux sur la C/F des colorants industriels.

## CHAPITRE 2 COLORANTS DE L'INDUSTRIE DES TEXTILES

### 2.1 Introduction

Les rejets de l'industrie des textiles constituent d'énormes nuisances pour la santé humaine, en particulier, les différents colorants qui sont utilisés en excès pour améliorer la teinture. Selon un rapport publié en 2000 par la Fédération des Industries des Textiles, la consommation en pigments et colorants de ce secteur en Algérie dépasse les 4012 tonnes annuellement, la consommation de produits chimiques auxiliaires atteint 16356 tonnes/an. De ce fait, les eaux des rejets se trouvent fortement concentrées en colorants dont la faible biodégradabilité rend les traitements biologiques difficilement applicables, ce qui constitue une source de dégradation de l'environnement.

Lors de notre présente étude, nous nous sommes intéressés au traitement des eaux contaminées par deux colorants : le bleu cibacette (BC) et le rouge solophényle (RS).

### 2.2 Colorants

Le premier écrit relatant l'utilisation de teintures naturelles est daté de 2600 ans avant Jésus-Christ (JC), mais ce n'est qu'en 1856 que William Henry Perken, en essayant de synthétiser de la quinine artificielle à partir d'allytoluidine pour soigner la malaria, découvre la première matière colorante synthétique qu'il appela « *mauve* » (colorant basique) [18].

Les colorants synthétiques organiques sont des composés utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que le domaine automobile, chimique, papeterie et plus particulièrement le secteur des textiles, où toutes les gammes de nuance et de familles chimiques sont représentées. Il n'est pas rare de constater qu'au cours des processus de teinture 15 à 20% des colorants, et parfois jusqu'à 40% pour les colorants soufrés et réactifs, sont évacués avec les effluents liquides qui sont la plupart du temps directement rejetés vers les cours d'eau sans traitement préalable. Ces rejets colorés posent un problème esthétique, mais également sanitaire car un grand nombre de ces colorants est toxique [19].

Il existe trois sources majeures du déversement des colorants dans l'environnement aquatique à partir des :

- Usines de fabrication des colorants.
- Utilisation de colorants (textile (60%), papier (10%), industrie plastique (10%), etc.).
- Décharges ménagères résultant du lavage des produits contenant des colorants [20,21].



### 2.2.1 Classification des colorants textiles

Les principes de la classification, les plus couramment rencontrés dans les industries textiles, sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.).

#### a) Classification chimique

Selon cette classification, on peut rencontrer les colorants suivants :

- Les colorants azoïques.
- Les colorants anthraquinoniques.
- Les colorants indigoïdes.
- Les colorants xanthène.
- Les phtalocyanines.
- Les colorants nitrés et nitrosés.

#### b) Classification tinctoriale

- *Les colorants acides ou anioniques*

Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonates ou carboxylates. Ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant - fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles [22].

- *Les colorants basiques ou cationiques*

Ce sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En passe de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes [22]. Parmi ceux-ci, nous citons :

- Les colorants de cuve.
- Les colorants directs.
- Les colorants à mordants.

- Les colorants réactifs.
- Les colorants développés ou azoïques.
- Les colorants dispersés.

### 2.2.2 Pollution provoquée par les colorants et leurs répercussions engendrées sur l'environnement

- La couleur d'une eau est due à la présence de composés (colorants) qui peuvent être en solution ou en suspension colloïdale [23,24].

- L'augmentation de la couleur rend l'eau des effluents industriels correspondants impropre aux usages domestiques et industriels. En outre, la transmittance de la lumière, à cause de la couleur, limite la croissance des plantes aquatiques et provoque indirectement un préjudice pour la pisciculture [25].

- Toutes les études, effectuées jusqu'à présent, ont montré des degrés variables de toxicité selon les espèces et les classes des colorants. Par exemple, les colorants responsables de la toxicité la plus aigüe chez les algues sont les colorants basiques ou cationiques. Quant aux poissons, ils semblent être relativement sensibles à différents colorants acides [26].

- La formation d'amines primaires, par rupture des liaisons azoïques, empêche le transport de l'oxygène dans le sang. Due à leur nocivité, les colorants peuvent entraîner une sensibilité par contact avec la peau (*eczéma*).

### 2.2.3 Méthode d'élimination des colorants

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants [27]. On peut employer différents procédés à savoir :

#### ✚ Physicochimiques :

- Méthodes de précipitation physicochimique (coagulation, décantation),
- Adsorption (sur charbon actif),
- Osmose inverse, filtration,
- Incinération.

#### ✚ Chimiques :

- Oxydation (oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>),
- Réduction (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>),
- Méthode complexométrique (complexation),
- Résines échangeuses d'ions.

✚ Biologiques :

- Traitement aérobie,
- Traitement anaérobie.

## CHAPITRE 3

### MATERIEL ET METHODES

#### 3.1 Techniques expérimentales

##### 3.1.1 Solutions de coagulants

Au cours de nos essais, nous avons utilisé comme réactif coagulant le sulfate d'aluminium (alun),  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , et le chlorure ferrique,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . En plus, nous avons préparé deux solutions à une concentration de  $1 \text{ g L}^{-1}$  pour les deux coagulants dans 1 litre d'eau distillée tout en ajoutant 1 g du coagulant donné. La solution doit être bien agitée jusqu'à la dissolution totale du coagulant. Les solutions mères de  $1 \text{ g L}^{-1}$  sont préparées périodiquement (avant chaque jar test).

##### 3.1.2 Solution de colorants

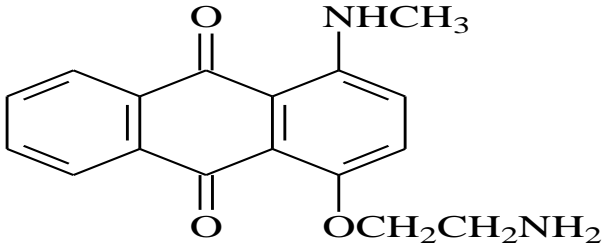
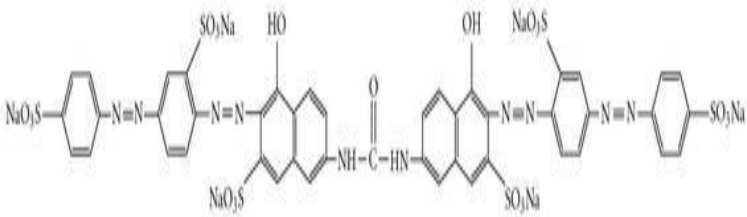
D'autre part, nous avons examiné la coagulation/floculation (C/F) de deux colorants à savoir le bleu cibacette (BC) et le rouge solophényle 3BL (RS). Les propriétés physicochimiques de ces colorants sont présentées dans le Tableau 3.1.

#### 3.2 Procédure expérimentale

##### 3.2.1 Préparation des solutions aqueuses des colorants

Des quantités de la poudre du colorant sont pesées et diluées dans de l'eau distillée, dans une fiole jaugée, de volume relatif à la concentration qu'on désire préparer. Cette préparation est suivie d'une homogénéisation, sur une plaque à agitation magnétique, tout en évitant le contact avec la lumière du jour (dégradation photochimique du colorant). Les solutions polluantes (BC et RS) utilisées sont préparées à des concentrations initiales respectivement  $15$  et  $50 \text{ mg L}^{-1}$  dans des flacons sombres.

Tableau 3.1 Caractéristiques des colorants étudiés BC et RS

Colorant	Structure chimique	Masse molaire (g mol <sup>-1</sup> )	$\lambda_{\max}$ (nm)
BC	 <p style="text-align: center;"><math>C_{17}H_{16}N_2O_3</math></p>	296.325	635
RS	 <p style="text-align: center;"><math>C_{45}H_{26}N_{10}Na_6O_{21}</math></p>	1373,05	544

### 3.2.2 Tests de la C/F (jar test)

Le jar test est un appareil qui permet de déterminer la concentration optimale du coagulant pour le processus de C/F. Toutes les doses sont exprimées en poids de produits commerciaux (solution ou poudre). Le mode de travail de cet appareil se fait selon le protocole général bien connu du "jar test" sur un flocculateur composé de six agitateurs mécaniques de type ISCO (Figure 3.1).

La procédure expérimentale pour réaliser les expériences au jar test est résumée comme suit :

- Utiliser, lors des essais, un jar test (flocculateur) ayant six rampes,
- Verser 500 mL d'échantillon dans chacun des six béchers,
- Placer les béchers sous les rampes du flocculateur qui est capable de générer une même vitesse,

- Régler les temps de contact des différentes étapes de traitement (coagulation injection-floculation-décantation),



Figure 3.1 Floculateur (jar test).

- Mesurer les valeurs initiales, trois fois pour assurer le contrôle du pH, de l'absorbance et de la température au préalable du commencement du test,
- Au temps  $t = 0$ , ajouter le coagulant le plus rapidement possible avec une pipette et de façon identique dans chaque béccher. Les doses sont croissantes de façon à "encadrer" la dose optimale présumée,
- Débuter l'agitation rapide à une vitesse de rotation de 150 tpm maintenue pendant 2 min,
- Démarrer le programme d'agitation lente qui est de 40 tpm maintenue pendant 20 min,
- Après les 30 min de décantation, prélever par pipete le surnageant à partir de chaque béccher pour mesurer l'absorbance,
- Les échantillons prélevés sont filtrés sur filtre Millipore (0,45  $\mu\text{m}$  de diamètre), les filtrats sont analysés par spectrophotométrie UV-vis pour apprécier l'efficacité du traitement à travers la mesure de l'absorbance.

### 3.2.3 Méthodes d'analyse

La méthode d'analyse utilisée dans notre étude est la spectrophotométrie UV-vis, pour le suivi de la décoloration de la solution aqueuse du colorant (Figure 3.2). La méthode spectrophotométrique nécessite, pour son utilisation, l'établissement des courbes d'étalonnage qui relie l'absorbance à la concentration de l'échantillon à analyser.



Figure 3.2 Spectrophotomètre UV-vis.

#### 3.2.3.1 Etablissement des courbes d'étalonnages

Les solutions aqueuses des colorants, BC et RS, étudiés, ont été préparées par dissolution respective de leur poudre dans de l'eau distillée. Cette démarche consiste à préparer d'abord une solution mère de concentration donnée. A partir de cette solution, nous préparons, par dilutions successives, une série de solutions de concentrations bien déterminées (100, 80, 60, 40, 20 et 5 ppm). Ces dernières seront, par la suite, analysées par spectrophotométrie UV-visible.

Nous établissons ainsi la droite d'étalonnage, représentant l'absorbance relative au maximum d'absorption ( $\lambda_{\max}$ ), en fonction de la concentration  $C$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), obéissant ainsi à la loi de Beer-Lambert. Cette loi sert à établir une relation entre l'absorbance, l'épaisseur de l'échantillon et la concentration des espèces absorbantes. Cette relation s'écrit :

$$A = \log I_0/I = \varepsilon \times C \times l \quad (3.1)$$

Avec:

$I_0$  : intensité du faisceau incident,

$I$  : intensité du faisceau émergent,

$A$  : Absorbance,

$\mathcal{E}$  : Coefficient d'extinction spécifique du soluté ( $10^3 \text{ cm}^2 \text{ mg}^{-1}$ ).

$l$  : Epaisseur de la cellule optique ( $l = 1 \text{ cm}$ ).

$C$  : Concentration du soluté ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Le rendement d'élimination des composés organiques est défini par :

$$R (\%) = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100 \quad (3.2)$$

où  $C_0$  est la concentration initiale du composé organique et  $C_f$  sa concentration résiduelle à la fin de l'essai.

La concentration  $C$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) est déduite de la mesure de l'absorbance ( $Abs$ ) par spectrophotométrie et un chemin optique de  $l = 1 \text{ cm}$ . Le dosage des colorants a été réalisé sur un spectrophotomètre de type LOVIBOND à la longueur d'onde de  $\lambda_{max} = 635 \text{ nm}$  pour BC et  $544 \text{ nm}$  pour RS.

### 3.3 Expériences au jar test

Afin de déterminer l'efficacité du processus de la C/F, plusieurs essais ont été effectués en mesurant l'absorbance des solutions avant et après. Deux paramètres clés de la C/F sont soigneusement examinés, à savoir :

#### *a) Effet de la concentration (dose) du coagulant*

Nous avons varié la dose à injecter du coagulant ajouté de  $10$  à  $500 \text{ mg L}^{-1}$ , pour les deux colorants.

#### *b) Effet du pH*

Afin d'apprécier l'effet du pH sur la C/F des deux colorants traités avec l'alun et le chlorure ferrique, le pH est balayé de  $2$  à  $12$ . Nous avons ajusté le pH des solutions grâce à des solutions de HCl et NaOH à  $0,1\text{N}$ .

#### *Remarque*

*Toutes les expériences faites dans le cadre de cette étude ont été réalisées trois fois pour examiner la reproductibilité des résultats.*



## CHAPITRE 4

### RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 4.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus à l'issue de cette étude expérimentale de la coagulation/floculation (C/F) de deux colorants organiques, bleu cibacette (BC) et rouge solophényle 3BL (RS), qui sont utilisés dans l'industrie des textiles.

#### 4.2 Effet de la dose du coagulant

Dans le but d'étudier l'effet de la dose du coagulant (chlorure ferrique et alun) sur l'élimination des deux colorants BC et RS, des séries d'expériences ont été effectuées à plusieurs doses de coagulants (10 à 500 mg L<sup>-1</sup>) et à différentes concentrations initiales des deux colorants. Les résultats obtenus, exprimés en termes de pourcentage d'élimination R (%) et portés en fonction de la dose de coagulant (mg L<sup>-1</sup>), sont présentés sur les Figures 4.1 et 2 pour les deux concentrations des colorants 15 et 50 mg L<sup>-1</sup>, respectivement.

De prime à bord, nous pouvons constater qu'avec l'augmentation de la dose du coagulant, le taux d'élimination augmente jusqu'à une certaine valeur dite *optimale*. En dépassant cet optimum, il y aura une diminution progressive du rendement R (%).

Nous remarquons que pour une concentration de 15 mg L<sup>-1</sup> des deux colorants :

- les doses optimales de FeCl<sub>3</sub> sont de l'ordre de 80 et 20 mg L<sup>-1</sup>, pour BC et RS avec des taux d'élimination de l'ordre de 65 et 89%, respectivement.
- Concernant l'alun, un rendement de décoloration est atteint à 44 et 77% pour BC et RS à des doses optimales d'environ 80 et 40 mg L<sup>-1</sup>, respectivement.

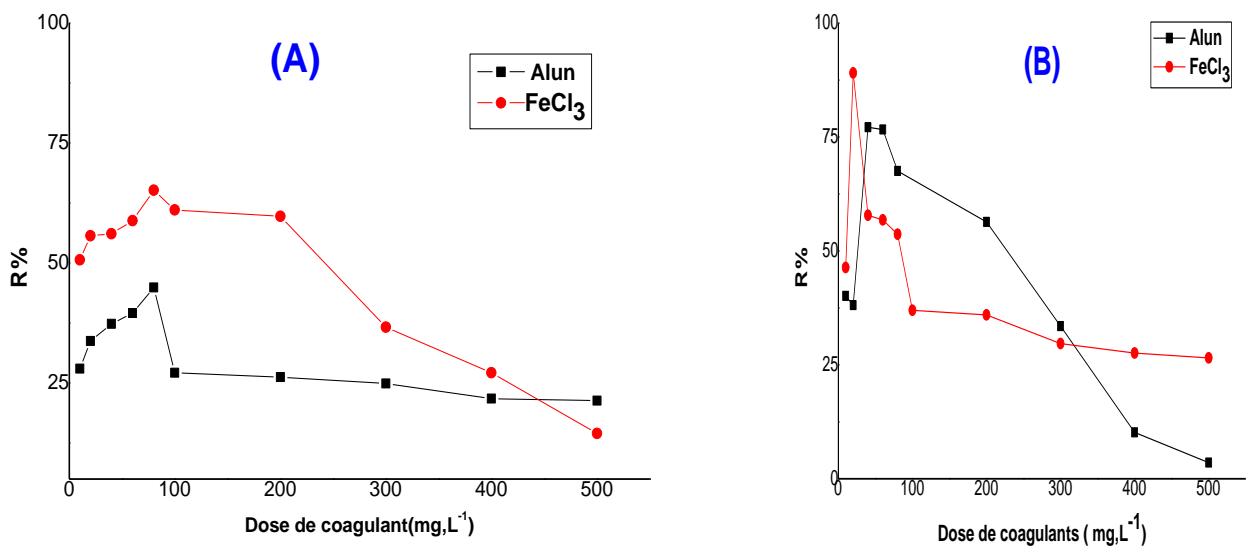


Figure 4.1 Effet de la dose des deux coagulants sur l'élimination des deux colorants. (A) pour BC, et (B) pour RS. [Colorant] = 15 mg L<sup>-1</sup>, pH initial pour BC=6,56 ,pH initial pour RS=6

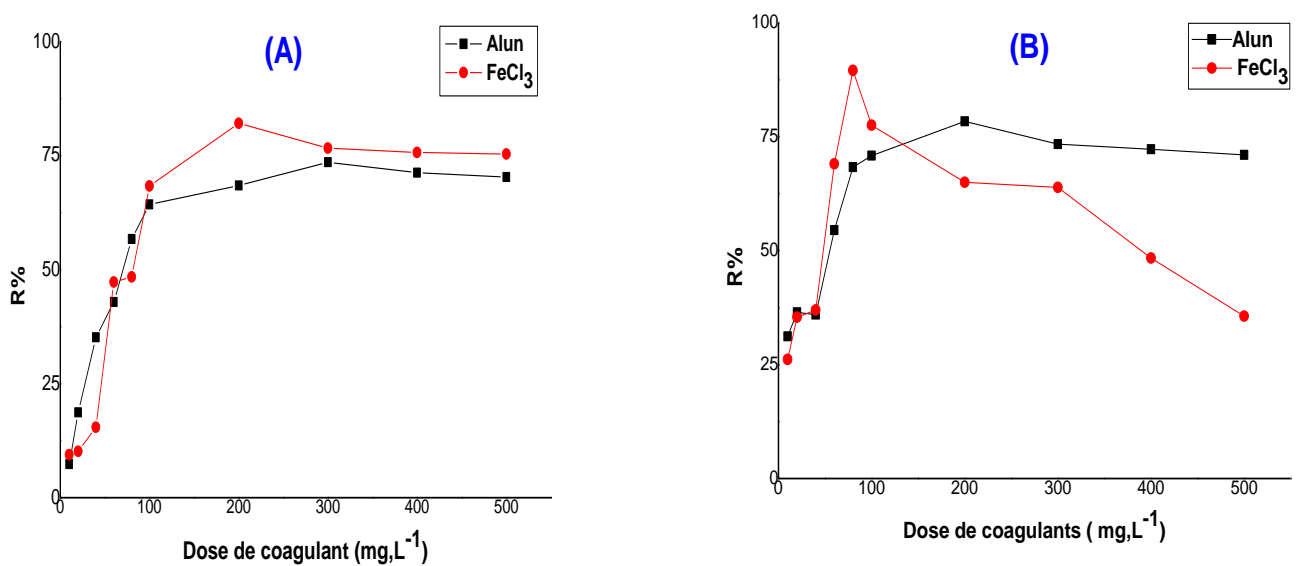


Figure 4.2 Effet de la dose des deux coagulants sur l'élimination des deux colorants. (A) pour BC, et (B) pour RS. [Colorant] = 50 mg L<sup>-1</sup>, pH initial pour BC=5,4 .pH initial pour RS=6,5

A des concentrations des deux colorants de 50 mg L<sup>-1</sup>, les résultats sont résumés de la manière suivante :

- Pour BC :

$[\text{FeCl}_3] = 200 \text{ mg L}^{-1}$ , R = 82%.

$[\text{Alun}] = 300 \text{ mg L}^{-1}$ , R = 73%.

- Pour RS :

$[\text{FeCl}_3] = 80 \text{ mg L}^{-1}$ , R = 90%.

$[\text{Alun}] = 200 \text{ mg L}^{-1}$ , R = 78%.

En examinant ces résultats, nous observons une faible performance des deux coagulants à des petites doses. Ceci suggère que le coagulant est insuffisant pour déstabiliser les molécules colorantes. Aux plus élevés dosages dépassant les optimums respectifs des deux coagulants testés, la réduction de la couleur devient moins satisfaisante qu'aux plus faibles dosages même. Ceci indiquerait une sorte de restabilisation colloïdale (ou bien moléculaire) s'était produite.

#### 4.3 Effet du type de coagulant

Les résultats discutés ci-dessus mettent en plus l'accent sur la performance bien révélée du chlorure ferrique en face de l'alun. Cette supériorité en matière d'efficacité du sel de fer est bien démontrée dans la littérature [28].

#### 4.4 Effet du pH

Nul ne doute que le pH initial d'une solution organique **en l'occurrence** (ou une suspension ou bien une eau de surface voire-même une eau usée) est le paramètre principal de la performance du procédé de la C/F. Pour étudier l'impact du pH initial sur l'élimination des colorants, nous avons fait varier celui-ci dans une gamme bien étendue allant de **2 à 12** tout en gardant les deux doses optimales des deux colorants. Les Figures 4.3 et 4 récapitulent les résultats obtenus et présentent l'évolution du rendement d'élimination de chacun des composés organiques testés en fonction du pH.

D'après la Figure 4.3, il semble que les taux d'élimination du BC et RS soient influencés par le pH de la solution selon la nature du coagulant utilisé. Nous pouvons observer que l'optimum de l'élimination de ces composés correspond à des pH acides, 6 pour BC et 5 à 7 pour RS.

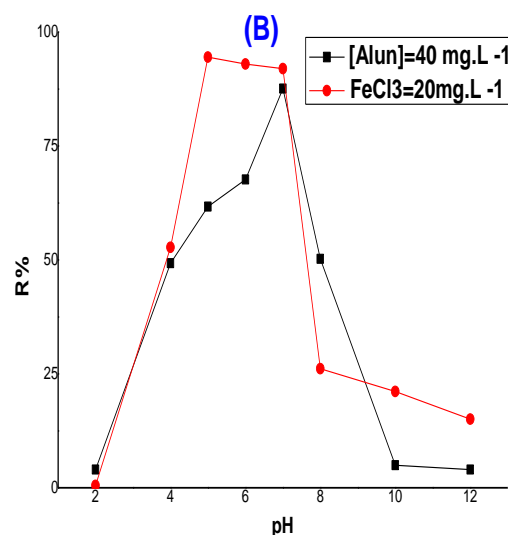
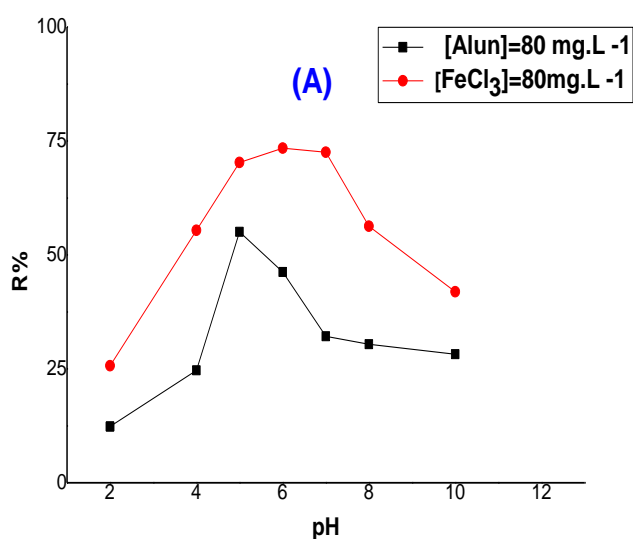


Figure 4.3 Effet du pH sur l'élimination des deux colorants. (A) pour BC et (B) pour RS. [colorant] = 15 mg L<sup>-1</sup>.

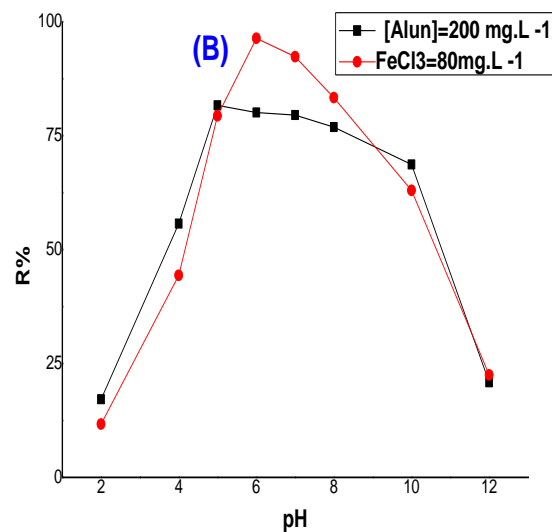
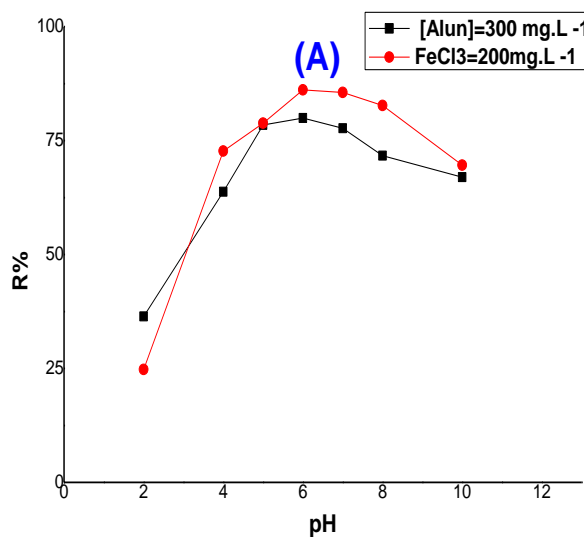


Figure 4.4 Effet du pH sur l'élimination des deux colorants. (A) pour BC et (B) pour RS. [colorant] = 50 mg L<sup>-1</sup>.

Dans le cas du chlorure ferrique, les efficacités d'élimination les plus élevées sont enregistrées dans la gamme de pH 5 à 6. Au-delà de cette plage, il y a une diminution remarquable du rendement épuratoire.

Pour le colorant BC, à 15 et 50 mg L<sup>-1</sup>, des taux de 73 et 86% sont enregistrés à pH 6, respectivement (Figures 4.3 et 4). De même pour le RS, 94 et 96% d'élimination sont obtenus à pH 5 et 6, respectivement. Plusieurs auteurs ont enregistré des efficacités plus ou moins élevées, par rapport aux nôtres, avec le FeCl<sub>3</sub> dans des gammes de pH semblables [29,30].

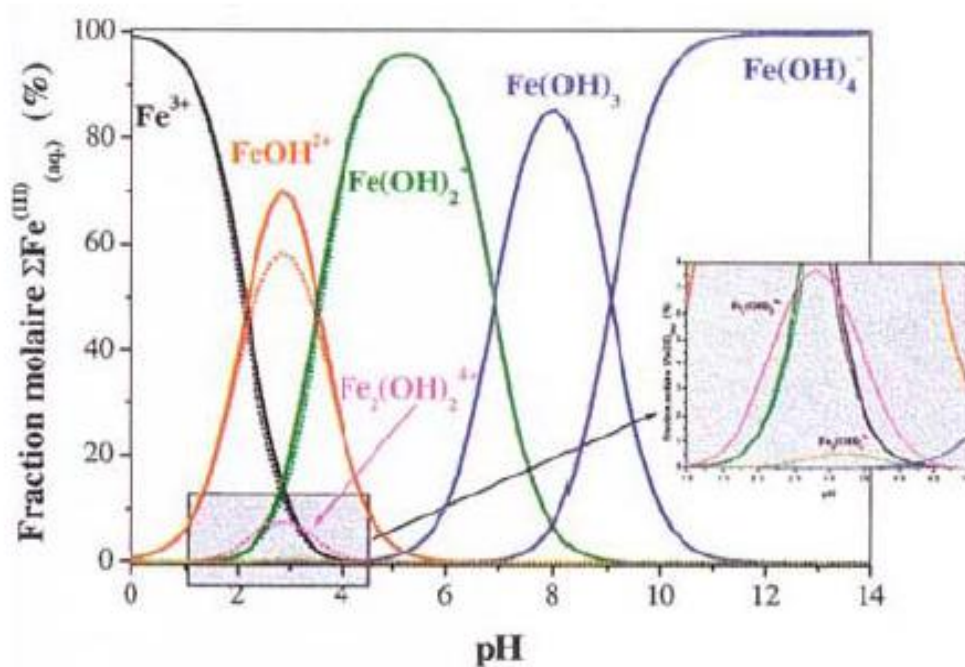


Figure 4.5 Répartition molaire du fer (III) en fonction du pH [4].

La Figure 4.5 illustre les différentes espèces du Fe (III) présentes en solution en fonction du pH. Puisque le pH conditionne aussi les formes chimiques de l'alun et FeCl<sub>3</sub>, il est évident que les mécanismes intervenant lors de l'élimination des molécules organiques pourraient être très divers. En effet :

- A des pH < 6, la présence des monomères et des polymères chargés positivement tels que Fe<sup>3+</sup>, Fe(OH)<sup>2+</sup>, Fe(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, Fe<sub>2</sub>(OH)<sup>4+</sup> vont entraîner une neutralisation de charge des colorants qui sont chargés négativement entraînant une précipitation directe des complexes (colorant-Fe).
- A des pH compris entre 6 et 8, 6 ≤ pH ≤ 8, où la forme prédominante est Fe(OH)<sub>3(s)</sub>, un solide de structure amorphe, les colorants étant chargés négativement donc ils sont piégés dans les précipités d'hydroxydes de fer (qui sont chargés positivement).

- A des pH > 8, la présence **prépondérante** de l'espèce  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  avec le polluant qui reste aussi chargé négativement, ce qui produit des répulsions électrostatiques se traduisant par une diminution rapide du taux d'élimination.

D'autre part, pour l'alun, les plus hauts niveaux de la décoloration sont obtenus à des pH inférieurs à 7,5 pour les deux colorants avec des taux d'efficacité de l'ordre de 55 et 80% pour le BC à des concentrations de 15 et de 50  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivement. Pour le RS, les performances sont de l'ordre de 87 et 81% pour des concentrations de 15 et de 50  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivement.

Dans les expériences où l'alun est utilisé, les ions d'aluminium générés par l'hydrolyse peuvent **former des complexes hydroxyo monomériques ou polymériques** selon le pH du milieu. En plus, ces complexes ont tendance à polymériser entre le pH 4 et 7 [31]. Le diagramme d'hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH a été également proposé et est représenté sur la Figure 4.6. En effet :

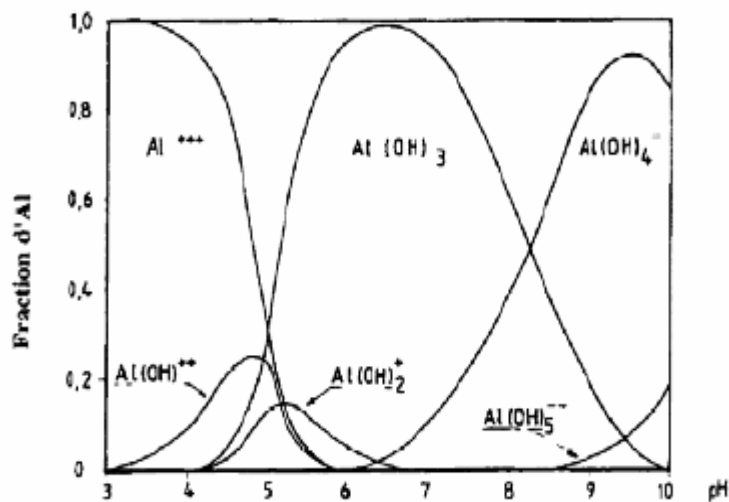
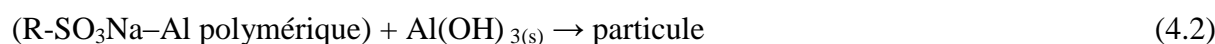
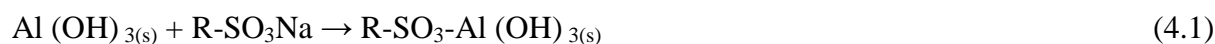


Figure 4.6 Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH [32].

- A des pH < 5, les formes prédominantes de l'hydrolyse d'aluminium sont les suivants :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , et  $\text{Al}(\text{OH})_2^{4+}$ . Ainsi donc, la présence majoritaire des espèces de **valence élevés** génère l'une des réactions les possibles, c'est-à-dire la formation de **complexes insolubles** entre le colorant et les composés hydroxyo-aluminiques solubles. **La présence de plusieurs groupements, sulfuriques et carboxyliques dans les deux structures favorise cette**

réaction qui va entraîner une compensation de la demande des charges négatives des colorants BC et RS. On aura, alors, une précipitation des complexes colorant-Al insolubles [33].

- A des pH compris entre 5 et 7,  $5 \leq \text{pH} \leq 7$ , la présence de la forme  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$  qui va adsorber les complexes formés dans les précipités d'hydroxyde d'aluminium de la manière suivante :



- A des  $\text{pH} > 7$ , l'alcalinisation du milieu est apparemment défavorable dans le cas du traitement par l'aluminium. Ceci est dû essentiellement à la présence d'espèces chargées négativement, comme  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  et  $\text{Al}(\text{OH})_4^{2-}$ , ce qui diminue leur attirance vers les composés organiques anioniques.

#### 4.5 Effet de la concentration du colorant

Dans le but d'évaluer le rôle joué par la charge massique (ou bien la concentration) du colorant lors du traitement par la C/F, nous avons étudié ce paramètre pour les deux colorants BC et RS avec les deux coagulants chlorure ferrique et alun. Ainsi, nous pouvons constater que l'augmentation de la teneur initiale en colorant induit un accroissement du pourcentage d'élimination (voir Figure 4.2), mais aussi une demande plus importante en coagulant. Les résultats obtenus montrent clairement qu'il y a un rapport entre la concentration initiale du colorant et la dose du coagulant. Ce comportement peut s'expliquer par ce qu'on appelle la *sweep coagulation* (coagulation par balayage) [30,34].

Il apparaît que le traitement des solutions de plus en plus coloré nécessite plus des complexes d'hydroxydes métalliques pour coaguler l'excès des molécules du colorant à des concentrations élevées. C'est pour cette raison, les doses optimales sont supérieures que celles réalisées avec des faibles concentrations du colorant.

D'une manière générale, nous observons que l'élimination du RS est plus élevée que celle du BC. Ceci est dû probablement à la différence entre les structures et les poids moléculaires des deux colorants [35,36]. En effet, les rendements d'élimination, qui sont plus importants pour le RS, peuvent être attribués au poids molaire élevé d'une part et d'autre part à sa structure chimique qui contient des fonctions phénoliques et carboxyliques. Ces groupements fonctionnels pourraient à leur tour conditionner l'efficacité du procédé de la C/F en facilitant leur élimination par : (1) neutralisation de charge et (2) formation, grossissement et sédimentation des floes [37].





## INTRODUCTION GENERALE

La pollution de l'eau, qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou avec un niveau de traitement insuffisant. Cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels textiles qui présentent un caractère toxique beaucoup plus prononcé. Les colorants et adjuvants, utilisés par les industries textiles, peuvent constituer une menace sérieuse pour l'environnement car leur présence dans l'eau, même à des quantités très faibles, et très visible est indésirable. Par conséquent, leur présence dans les systèmes aquatiques réduit la pénétration de la lumière et retarde, ainsi, l'activité photosynthétique [1].

En Algérie, on assiste, depuis le boom industriel des années 70 et l'urbanisation active qu'il a entraînée, à une pollution importante et croissante des cours d'eau, aggravée par l'absence de traitement des rejets urbains et industriels [2]. Depuis toujours, le traitement des eaux usées s'est fait de manière biologique. Se basant sur l'autoépuration naturelle des eaux, l'homme a alors construit des systèmes de traitement biologique de plus en plus perfectionnés. Cependant, les stations de traitement biologiques ne peuvent pas traiter les substances difficilement biodégradables ou toxiques [3]. Actuellement, dû au faible éventail de technologies de traitement *in situ* disponibles pour le traitement d'effluents, une grande quantité d'industries ne peuvent traiter les eaux usées correctement. Des solutions simples et peu coûteuses sont alors fortement exigées pour que ces dernières puissent remplir les conditions exigées [3].

Le traitement des eaux colorées a fait l'objet de plusieurs études afin de réduire l'intensité de la couleur et de la matière organique contenue dans ces eaux. Parmi les méthodes proposées, on peut citer : l'ultrafiltration, l'osmose inverse, l'adsorption sur charbon actif et les traitements biologiques. Malheureusement, elles sont d'un coût élevé ce qui a encouragé la recherche d'autres méthodes concurrentes. Dans ce contexte, la coagulation apparaît comme une méthode alternative très intéressante aux procédés physico-chimiques classiques. La coagulation apparaît, de plus en plus, comme non seulement un procédé de clarification mais également comme un traitement d'élimination spécifique capable, dans une certaine mesure, de rivaliser avec des traitements plus coûteux comme l'adsorption sur charbon actif ou l'oxydation par l'ozone [4].

Dans cette optique, nous nous sommes intéressés à l'élimination de deux colorants : le bleu cibacette (BC) et le rouge solophényle (RS), à partir de solutions aqueuses synthétiques à l'aide de deux coagulants : le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) et le sulfate d'aluminium ou alun [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ]. Afin de structurer notre travail, nous avons opté pour la démarche suivante :

❖ Une partie théorique traitant essentiellement :

\* Les différentes théories sur le traitement des eaux par la technique classique de la coagulation. Nous exposons également les différents paramètres physicochimiques influençant le bon fonctionnement du procédé.

\* Un aperçu sur les colorants organiques industriels.

❖ Une partie expérimentale traitant :

\* Les techniques expérimentales adoptées et les matériels utilisés, les deux coagulants utilisés dans les essais de la coagulation des eaux colorées.

\* Les résultats expérimentaux, ainsi que leurs interprétations et discussions.

Enfin, nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale relatant les principaux résultats obtenus et les perspectives à envisager dans le prochain futur.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] N. Oubagha, Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques, Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.
- [2] A. Aloui, Etude de la photodécomposition de colorants industriels par le  $TiO_2$  en solution aqueuse, Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2010.
- [3] S. Hammami, Etude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels, Thèse de Doctorat, Université El Manar (Tunisie), 2008.
- [4] S. Achour, N. Guesbaya, Coagulation-Floculation par le sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et de substances humiques, Larhyss J. 4 (2005) 153-168.
- [5] S. Ezziane, Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT, Ténès, Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali de Chelef, 2007.
- [6] Dégremont, Mémento technique de l'eau, Tome 2, Lavoisier. SAS – Lexique technique de l'eau, Paris, dixième édition, 2005.
- [7] B. Iakhdari, Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz, Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2011.
- [8] V. Pallier, Elimination de l'arsenic par coagulation-floculation et électrocoagulation d'eaux faiblement minéralisées, Thèse de Doctorat, Université de Limoges (France), 2008.
- [9] R. Vaillancourt, Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles, Rapport commandité par la SODIM N° 710.149, 2008.
- [10] E. Assaad, Etude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition, Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en chimie, Université de Montréal (Québec, Canada), 2006.
- [11] C. Desjardins, Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise en sciences appliquées, Université de Montréal, 1999.
- [12] R. Desjardins, Le traitement des eaux, Presses Inter Polytechnique, 1997.

- [13] J. Canler, J. Perret, Les clarifloculateurs plus particulièrement utilisés en traitement tertiaire, Document technique FNDAE N°35, 2007.  
[http://www.fndae.fr/documentation/numero\\_35.htm](http://www.fndae.fr/documentation/numero_35.htm) (06/12/13).
- [14] P. Kumar, B. Prasad, I.M. Mishra, S. Chand, Decolorization and COD reduction of dyeing wastewater from a cotton textile mill using thermolysis and coagulation, *J. Hazard. Mater.* 153 (2008) 635-645.
- [15] V. Golob, A. Vinder, M. Simonič, Efficiency of the coagulation/flocculation method for treatment of dyebath effluents, *Dyes Pigments* 67 (2005) 93-97.
- [16] G.R. Bidhendi, N. Torabian, A. Ehsani, H. Razmkhah, Evaluation of industrial dyeing wastewater treatment with coagulants and polyelectrolyte as a coagulant aid, *Iran. J. Environ. Health Sci. Eng.* 4 (2007) 29-36.
- [17] T.-H. Kim, C. Park, J. Yang, S. Kim, Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation, *J. Hazard. Mater.* B112 (2004) 95-103.
- [18] E. Zawlotzki, Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée, Electro-Fenton ; application à la minéralisation des colorants synthétiques, Thèse de Doctorat, Université de Marne-La-Vallée, 2004.
- [19] S. Hamses, Contribution à l'étude de la décoloration des eaux sur grignons d'olives valorisés. Étude dynamique, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bouguerra de Boumerdés, 2008.
- [20] J.-J. Donze, Technique d'ingénieur, 1989.
- [21] R. Perrin, J.P Schareff, Chimie industrielle, livre, Université Claude-Bernard de Lyon, 2000.
- [22] INRS, Dermatose professionnelle aux colorants, Document pour le médecin de travail N°100, 4<sup>ème</sup> trimestre, 2004.  
<http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=TA%2071>  
(06/12/13)
- [23] F. Augusto, Herrera grisales degradation of uniblue A and remazol brilliant blue R by iron: fonton photo-assisted process and hematite, Thèse de Doctorat N°2113; (1999).

- [24] N. Barka, L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur  $\text{TiO}_2$  supporté, Thèse de Doctorat, Université Ibn Zohr, N°d'ordre 65, 2008.
- [25] U. Pagga, D. Brown, The degradation of dyestuffs: Part II Behavior of dyestuffs in aerobic biodegradation tests, *Chemosphere* 15 (1986) 479-491.
- [26] A. Yadler, D. Linert, Appropriate technologies for the minimization of environmental impact from industrial wastewaters–textile industry, Final Report, Submitted to Volkswagen-Foundation, Germany, 2000.
- [27] S. Benchaita, Contribution au traitement des effluents textiles par électrocoagulation monopolaire et bipolaire, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach, 2005.
- [28] A. Hamidi, S. Alias, M. Nordin, A. Faridah, A.H. Asaari, M.S. Zahari, Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes, *Bioresource Technol.* 98 (2007) 218-220.
- [29] T.-H. Kim, C. Park, E.-B. Shin, S. Kim, Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride, *Desalination* 161 (2004) 49-58.
- [30] B. Merzouk, B. Gourich, K. Madani, Ch. Vial, A. Sekki, Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study, *Desalination* 272 (2011) 246-253.
- [31] D. Neff, Apport des analogues archéologiques à l'estimation des vitesses moyennes et à l'étude des mécanismes de corrosion à très long terme des aciers non alliés dans les sols, Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Compiègne (France), 2003.
- [32] A. Gürses, M. Yalçın, C. Doğar, Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables, *Waste Manag.* 22 (2002) 491-499.
- [33] F. Edeline, L'épuration physico-chimique des eaux, Editions Cebedoc, Liège, 1996.
- [34] F.R. Furlan, L.G. de Melo da Silva, A.F. Morgado, A.A.U. de Souza, S.M.A.G.U. de Souza, Removal of reactive dyes from aqueous solutions using combined coagulation/flocculation and adsorption on activated carbon, *Resour. Conserv. Recy.* 54 (2010) 283-290.
- [35] H.S. Peavy, D.R. Rowe, G. Tchobanoglous, *Environmental Engineering*, McGraw-Hill International Edition, New Delhi, 1985.

[36] Y. Zhou, Z. Liang, Y. Wang, Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate, *Desalination* 225 (301–311) 2008.