



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique
et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي
بجرج بوجريج
Université Mohamed
El Bachir El Ibrahimy
de Bordj Bou Arreridj



**Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Génie de l'Environnement**

Projet de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : **Master**

**Filière : Génie des Procédés
Option : Génie des Procédés de l'Environnement**

THÈME :

**Optimisation de l'élimination d'un colorant alimentaire
par adsorption**

Préparé par :

Melle : MEGUELLATI Rima

Melle : YALLAOUI Assia

Mr. H. Karce	Président	M.C.B	Université Bordj Bou Arreridj
Mr. S.Bahah	Examinateur	M.C.B	Université Bordj Bou Arreridj
Mme. M. ASSASSI	Promotrice	M.C.B	Université Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements



On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, on tient à remercier Dr H.Karce et Dr S.Bahah d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement du Dr. M.Assassi, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques.



Dédicaces

Grace à Dieu le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce modeste travail que je tiens très chaleureusement à le dédier à :

Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leurs soutiens tout au long de mes études.

A mes adorables frères et sœurs.

Mes chers amis de loin ou de près, pour leurs encouragements permanents et leurs soutiens moraux.

Je vous Remercie tous

Y. Assia



Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents, à mes frères et mes sœurs à mes ami(e)s qui ont partagé avec moi le chemin du savoir et au-delà les passions, les bons et les mauvais moments.

A tous mes enseignant(e)s qui m'ont aidé par le savoir qu'ils m'ont prodigué et leur assistance.

M. Rima



Dédicaces

Je dédie ce travail à la mémoire de mon père, à ma chère mère que Dieu lui accorde Longue vie.

A mon mari bien aimé.

A mon cher fils Mohamed.

A mes frères et à toute ma grande famille.

A tous mes amis.

Dj. Salssabíl

Sommaire

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur les colorants

I. Introduction.....	2
I.1. Historique des colorants.....	2
I.2. Origine des colorants.....	2
I.3. Classification des colorants.....	3
I.3.1. Classification selon la constitution chimique.....	3
I.3.2. Classification tinctoriale.....	5
I.3.3. Classification technique.....	8
I.4. Utilisation des Colorants	9
I.5. Toxicité et impact environnemental.....	9
I.5.1. Toxicité sur la santé humaine.....	9
I.5.2 Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels.....	10
I.5.3 Impacts environnementaux.....	11
I.6. Normes et réglementation.....	11

Chapitre II : Méthodes de traitement des colorants

II. Introduction.....	13
II.1. Les méthodes chimiques.....	13
II.1.1. Les procédés classiques d'oxydation chimiques	13
II.1.2. Les procédés d'oxydation avancée (POA).....	14
II.2. Les méthodes biologiques.....	16
II.3. Les méthodes physiques	17
II.3.1. Filtration membranaire.....	17
II.3.2. Coagulation/floculation.....	17

II.3.3. Adsorption sur charbon actif.....	17
II.4. Comparaison entre les procédés étudiés	21

Chapitre III : Résultats et Discussion

III. Résultats et discussion.....	24
III.1. Matériels et méthodes	24
III.1.1. Méthodes d'analyse	25
III.2. Modélisation et optimisation par la méthode de Box Benkhen.....	26
III.2.1. Choix des facteurs d'étude.....	28
III.2.2. Modèle mathématique postulé	29
III.2.3. Méthode de calcul des coefficients	30
III.2.3.1. Modélisation.....	30
III.2.3.2. Evaluation de l'équation du modèle statistique.....	31
III.2.4 Simplification du modèle.....	33
III.2.4.1 Validation du modèle simplifié.....	34
Conclusion générale.....	38

Références bibliographiques

Résumé

Liste des abréviations

TRZ : Tartrazine

Cu : Cuivre

Ni : Nickel

Co : Cobalt

Pt : Platine

NO₂ : Dioxyde d'azote

DL : Dose Létale

NaCl : Sodium chloride

H₂O₂ : Peroxide d'hydrogène

Na₂S₂O₄ : Dithionite de sodium

COOH : groupe carboxylique (R-COOH)

DCO : Demande Chimique en Oxygène

POA : Procédés d'oxydation avancée

O₃ : Ozone

US : Ultrason

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours

UV-VIS : Ultras violet visible

IUPAC : International Union of Pure and Applied Chemist

Liste des tableaux

Chapitre II : Méthodes de traitement des colorants

Tableau II.1 : Principaux avantages et inconvénients des techniques de traitements des colorants.....	21
--	----

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III. 1 : Réactifs chimiques utilisés.....	24
Tableau III. 2 : Caractéristique de Jaune de Tartrazine (TRZ).....	25
Tableau III .3 : Matrice d'expérience du plan choisit.....	28
Tableau III. 4 : Facteurs et domaine d'étude.....	28
Tableau III.5 : Matrice d'expériences et les réponses.....	30
Tableau III.6 : Analyse statistique des résultats.....	32
Tableau III. 7 : P-value des coefficients du modèle.....	34
Tableau III. 8 : Facteurs choisis pour la validation du modèle.....	36
Tableau III. 9 : Points expérimentaux pour la validation du modèle.....	36
Tableau III. 10 : Valeurs correspondant au meilleur résultat.....	37

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les colorants

Figure I. 1: Domaine d'absorption de la lumière visible.....	3
Figure I. 2: Exemple de colorant azoïque	3
Figure I. 3: Structure de colorant indigoides.....	4
Figure I. 4: Structure danthraquinoniques	4
Figure I. 5: Structure de la phtalocyanine	5
Figure I. 6: Structure du xanthine.....	5
Figure I.7: Exemple de colorant nitre.....	6
Figure I. 8: Structure de colorant acide	6
Figure I. 9: Structure de colorant basique	7
Figure I. 10: Structure de colorant direct	7
Figure I.11: Exemple de colorant à mordants	8

Chapitre II : Méthodes de traitement des colorants

Figure II.1 : Différents POA générant OH^\bullet utilisés dans le traitement des effluents liquides.....	15
Figure II.2 : Principaux procédés de production des radicaux hydroxyles.....	16
Figure II.3 : Etapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption.....	19

Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III.1 : Courbe d'étalonnage du Jaune de Tartrazine.....	26
Figure III.2 : Illustration du plan de Box-Behnken pour trois facteurs.....	27
Figure III.3 : Effet des facteurs principaux et leurs interactions.....	31
Figure III.4 : Résumé de l'ajustement.....	32
Figure III.5 : Le tracé des réponses observées en fonction des réponses prédites.....	33
Figure III.6 : Diagramme de la dispersion des résidus.....	33

Figure III.7 : Réponses du modèle observé en fonction des réponses du model prédit simplifié.....35

Figure III.8 : Comparaison entre le modèle simplifier les points de validation.....37

INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale

Depuis la plus haute antiquité l'homme à tenter d'inclure des colorants dans de nombreux industries tel que : textile, papèterie, cosmétique et alimentaire. Due à leur facilité de synthèse et leur rapidité de production, les colorants synthétiques sont les plus utilisés. En outre la majorité de ces colorants sont toxiques et provoquent beaucoup de problèmes dans l'environnement et sur la santé humaine, d'où l'intérêt de traitement des eaux usées issues de ces industries.

Il existe de nombreux procédés de traitement qui peuvent être utilisés pour l'élimination des colorants des eaux usées on peut citer : l'adsorption, échange ionique, coagulation /floculation, oxydation. Parmi ces procédés de traitement, l'adsorption reste une des techniques les plus prometteuses en raison de sa commodité et de sa simplicité d'utilisation. Dans ce contexte, l'adsorption apparaît comme une méthode alternative très intéressante aux procédés physico-chimiques classiques, en utilisant des matériaux déchets naturels d'origine végétale qui sont souvent peu ou mal valorisés.[1]

De nombreuses études se focalisent sur l'utilisation de certains adsorbants à partir de déchets naturels, on cite à titre d'exemple : la sciure de bois, les coquilles de noix, la peau d'orange ou encore les déchets de blé, ces adsorbants sont des matériaux naturels disponibles en grandes quantités et à bas prix. [1]

Notre travail a pour but d'étudier une méthode pratique et économique pour l'élimination du colorant Jaune de Tartrazine (TRZ) de l'eau par adsorption sur Charbon Actif.

Ce manuscrit comporte trois chapitres :

Le premier chapitre, comporte une synthèse bibliographique qui rassemble des données essentielles sur les colorants synthétiques.

Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé sur les méthodes de traitement des colorants.

Dans le dernier chapitre nous avons discuté les résultats obtenus.

Enfin, on terminera par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS SUR LES
COLORANTS

I. Introduction

La contamination des ressources en eau est un problème qui se pose avec acuité de nos jours. Elle est le résultat de l'utilisation massive de polluants organiques et minéraux d'origine agricole, urbaine et industrielle. Ainsi, les colorants synthétiques employés dans l'industrie textile, représentent ce type de contaminants. Dans ces conditions, la contamination est essentiellement due à leurs rejets dans les rivières. De ce fait, ils peuvent nuire tant à la faune qu'à la flore.

Un colorant est une substance ayant la propriété d'absorber une partie des rayonnements lumineux dans le spectre visible (entre 380 et 750 nm). [2]

I. 1. Historique des colorants

Les colorants prennent une grande partie de notre vie, ils sont reconnus depuis la préhistoire, ils sont d'origine naturelle, animale ou végétale et même extraits de minerais, jusqu'à l'histoire antique où les égyptiens ont synthétisé des colorants à base de minerais.

L'évolution de l'industrie des colorants a été étroitement liée à la découverte de la mauvéine (aniline, colorant basique) par William Henry Perkin en 1856 et la fuchsine par Verguin en 1858. Les colorants ont été appliqués quotidiennement pour la peinture et la teinture du papier et du vêtement

Au début de 20^{ème} siècle, les colorants synthétiques ont presque complètement supplanté les colorants naturels. [3]

I.2. Origine des colorants

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture du papier, de la peau, des textiles et des aliments etc. Jusqu'à la moitié du 19^{ème} siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Ces colorants sont tous des composés aromatiques d'origine végétale, extraits des plantes, des arbres, ou bien d'origine animale, extraits des insectes comme le kermès ou des mollusques comme la pourpre. ... Dans leur ensemble, ils sont obtenus à partir de sources végétales. [4]

A l'heure actuelle, presque la totalité des matières colorantes employées sont des dérivées des hydrocarbures contenus dans le goudron de houille.

I.3. Classification des colorants :

Les colorants présentent une diverse structure considérable et ils sont classifiés de plusieurs manières, classification selon leur constitution chimique, tinctoriale et technique [5] :

I.3.1. Classification selon la constitution chimique :

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore.

✓ Les colorants azoïques :

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes. [6]

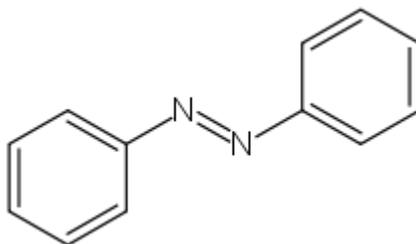


Figure I.1 : Exemple de colorant Azoïque. [6]

✓ Les colorants indigoïdes :

Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicales. [7]

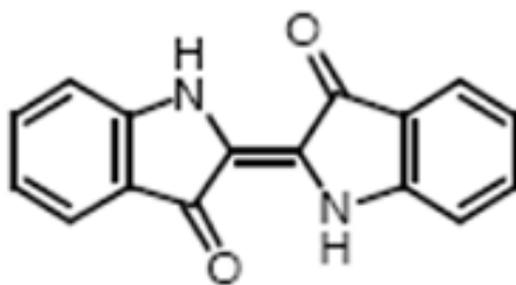


Figure I.2 : Structure du colorant indigoïdes. [7]

✓ **Les colorants anthraquinoniques :**

Toutefois, une teinture uniforme est obtenue plus facilement avec les anthraquinoniques car ils ont une taille moléculaire plus faible. Par conséquent, ce type de colorants est plus adapté à la teinture en nuances claires alors que les colorants azoïques, qui ont une taille moléculaire plus importante et qui sont moins chers, conviennent mieux pour l'obtention de nuances foncées. [8]

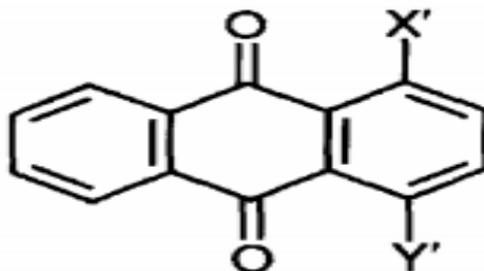


Figure I.3 : Structure d'anthraquinoniques. [8]

✓ **Les colorants phtalocyanines :**

Une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt,...etc). [9]

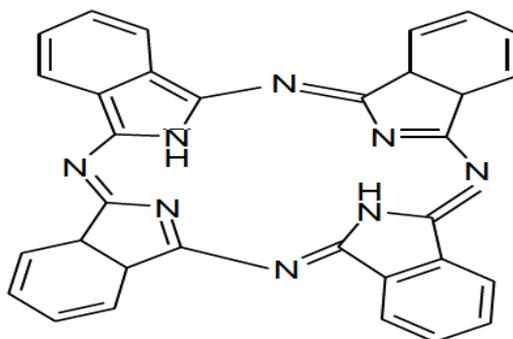


Figure I.4 : Structure de la phtalocyanine. [9]

✓ **Les colorants xanthines :**

Les xanthines sont des composés organiques tricycliques. Ils sont constitués d'un cycle de pyrane encadré par deux cycles de benzène. Les colorants de cette famille sont caractérisés par une intense fluorescence. Ils sont utilisés comme colorants alimentaire, cosmétique, textile et pour l'impression. [10]

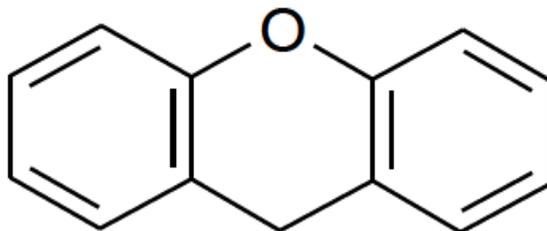


Figure I.5 : Structure du xanthine. [10]

✓ **Les colorants nitrés et nitrosés**

Forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO₂) en position ortho d'un groupement électro-donneur (Hydroxyle ou groupes aminés). [11]

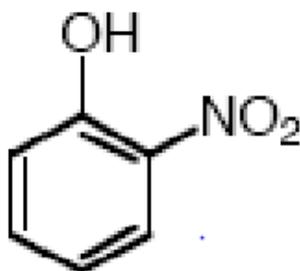


Figure I.6 : Exemple de colorant nitré. [11]

I.3.2. Classification tinctoriale

La classification tinctoriale intéresse le teinturier. Les éléments clés sont : la solubilité du Colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la Fixation. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les Autochromes. [12]

✓ **Les colorants acides ou anioniques**

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements Sulfonâtes 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. [13]

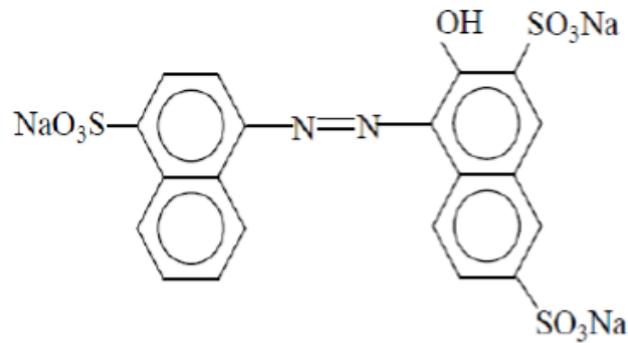


Figure I.7 : Structure de Colorant acide. [13]

✓ **Les colorants basiques ou cationiques**

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 phase 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. [14]

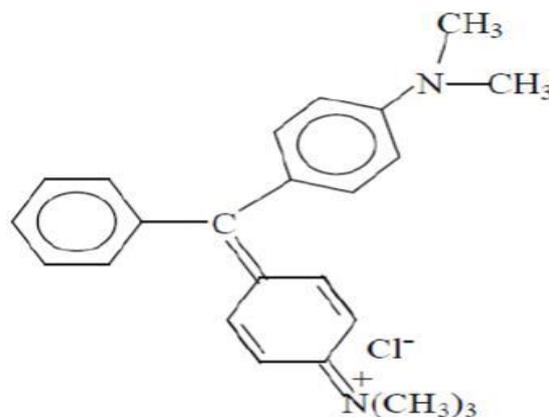


Figure I.8 : Structure de Colorant basique. [14]

✓ **Les colorants de cuve**

Les colorants de cuve sont insolubles et doivent être transformés en leuco dérivés par réduction alcaline. La teinture termine par la réoxydation in situ du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim. [15]

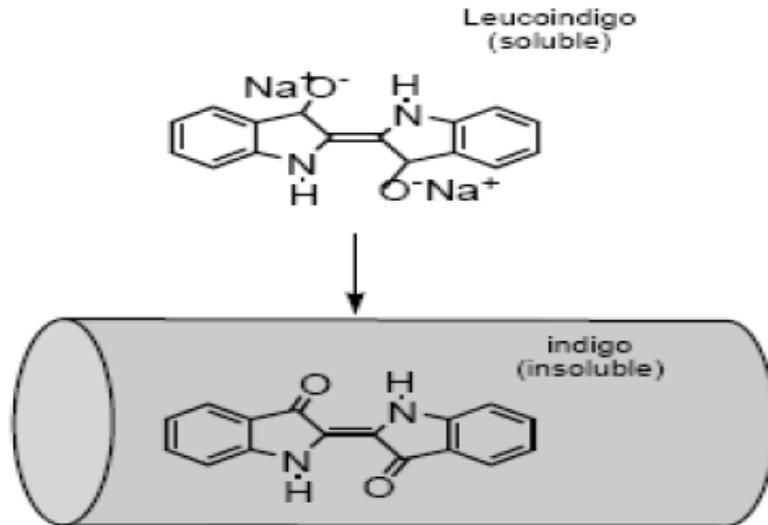


Figure I.9 : Exemple de Colorant de cuve. [15]

✓ Les colorants directs

Ce sont des colorants à caractère anioniques ; ils sont solubles dans l'eau et utilisés en solution aqueuse. La solubilité de ces colorants dans l'eau est réduite par l'addition des sels neutres de métaux Alcalins (sulfate de sodium, chlorure de Sodium etc.) sont utilisés à la teinture des tissus de doublures, des fils de laine, des tapis et pour beaucoup d'articles à bon marché. [16]

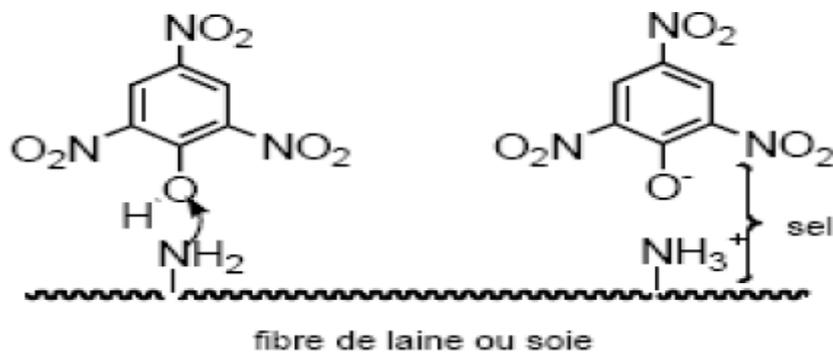


Figure I.10 : Structure de Colorant direct. [16]

✓ Les colorants à mordants

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile. [17]

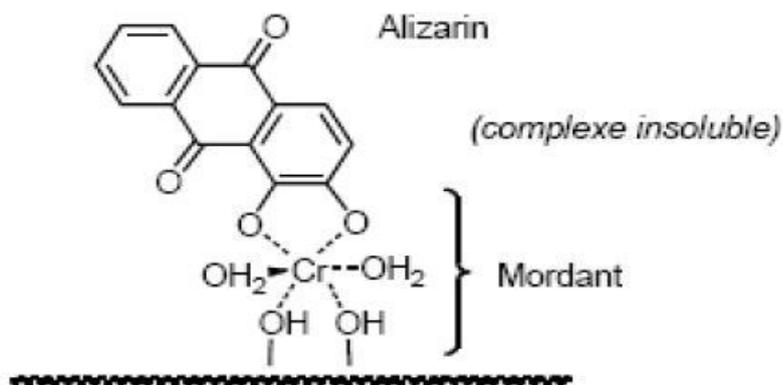


Figure I.11 : Exemple de Colorant à mordants. [17]

✓ **Les colorants dispersés**

Les colorants dispersés (ou dispersifs) donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde. Ils sont non-ioniques, insolubles dans l'eau et sont utilisés pour la coloration sous forme de dispersion aqueuse. Pratiquement insolubles dans l'eau, ils sont par contre solubles dans la phase organique des fibres dépourvues de groupement acide ou basique (fibres synthétiques telles que polyester, polyamide, poly acrylonitrile...). Ils sont importants pour la teinture de l'acétate de cellulose et des fibres synthétiques. [18]

I.3.3. Classification technique :

La caractéristique des colorants utilisés dans l'industrie textile est les groupes acides sulfonique qui permettent à la molécule du colorant de se lier ioniquement aux sites chargés du réseau polymérique du tissu, suivant leur synthèse on peut les classés selon deux catégorie :

✓ **Colorants naturels :**

Ils sont très répons, surtout dans les plantes (bois, racines, grains, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : garance, cochenille, indigo, pourpre.

Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. Du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementations plus strictes.

✓ **Colorants synthétiques :**

Les colorants synthétiques dominent aujourd'hui le marché surtout que leurs propriétés peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphthalène, xylène, et anthracène), ils ont de plus en plus utilisés dans l'industrie de coloration et des textiles grâce à leurs synthés assez faciles, à leur production rapide et à la variété de leurs couleurs comparées aux colorants naturels. [19]

I. 4. Utilisation des Colorants :

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants :

- Dans l'industrie textile de la fourrure, du cuir (textile à usage vestimentaire, de décoration, de bâtiment, de transport, textile à usage médical...).
- Dans l'industrie de matières plastiques (pigments).
- Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigments).
- Dans l'industrie pharmaceutique (colorants)
- Dans l'industrie des cosmétiques.
- Dans l'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- Dans diverses industries utilisées pour des carburants et des huiles.
- Dans l'imprimerie (encre, papier). [20]

I.5. Toxicité et impact environnemental :

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les micro-organismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux. [21]

I.5.1. Toxicité sur la santé humaine :

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés et ont montrés que les colorants sont :

- Génotoxiques ;
- Mutagènes ;
- Peuvent entraîner des cancers de la thyroïde ;
- Peuvent entraîner des tumeurs des glandes surrénales ;
- Contiennent des substances cancérigènes ;

- Peuvent avoir des actions sur le système nerveux central ;
- Inhibent certaines enzymes ;
- Augmentent la perméabilité intestinale. [22]

I.5.2. Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels :

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire grandement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers micro-organismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité, pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible. De ce fait, ils peuvent persister longtemps dans ce milieu, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques...) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes...). Dans ces conditions la dose létale (DL₅₀) reste le meilleur paramètre pour évaluer les effets toxiques causés par ces déversements. Ainsi une DL₅₀ signifie la mort de 50% d'espèces animales testés en expérimentation. Les données bibliographiques ont mentionné que :

- Les algues peuvent être inhibés (à 35%) ou stimulés (à 65%) par les rejets d'effluents dans les industries textiles. Ces résultats ont été obtenus lors des prélèvements effectués sur la côte Est des U.S.A.
- Le colorant "noir de l'uxanthol G" est très nocif pour les jeunes guppies à la concentration de 5mg/L.
- La fuchsine inhibe la croissance des algues et des petits crustacés pour des concentrations minimales de 1 mg/L et 20 mg/L respectivement.
- Le bleu de méthylène est toxique pour les algues et les petits crustacés à partir des concentrations de 0,1 mg/L et 2 mg/L respectivement.
- Le bleu de victoria, le violet de méthyle, le noir anthracite et le vert diamant sont très toxiques pour la faune et la flore à partir de concentrations de 1mg/L.
- Les colorants cationiques (ou basiques) sont généralement très toxiques et résistent à toute oxydation. En effet, d'autres études ont montré que le colorant cationique (sandocryl orange) est très toxique pour les micro-organismes, après un temps de contact de 5 jours, le taux d'inhibition a été de l'ordre de 96,5%. Ce taux, est cependant plus faible avec le colorant acide, le Lanasyne Black (32,8%) est pratiquement nul avec un autre colorant de cette même famille, le sandolan

(3,18). Donc le traitement des effluents chargés en colorants s'avère indispensable pour la sauvegarde de l'environnement. [23]

I.5.3. Impacts environnementaux :

Beaucoup de colorants sont visibles dans l'eau même à de très faibles concentrations (< 1 mg/L). Ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable d'eau usée contenant des colorants résiduels. Le rejet de ces eaux résiduaires dans l'écosystème est une source dramatique de pollution, d'eutrophisation et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique et par conséquent présente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire. [24]

I.6. Normes et réglementation

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 d'effluents textiles dans le milieu hydrique. Certaines substances à risques ont été réglementées par le législateur européen et parfois par les législateurs nationaux, afin d'imposer aux professionnels des obligations visant à protéger le consommateur. Ainsi, il existe des réglementations sur les colorants azoïques (directive 200/61), le pentachlorophénol (Directive 199/51), le nickel (Directive 1994/27), le cadmium (Directive 1991/338), le mercure (Directive 89/677), les phtalates (Décision 99/815). Le règlement 552/2009 du 22/06/2009 est venu intégrer l'ensemble de ces textes (repris initialement dans la directive européenne 76/769/CEE) à l'annexe XVII du règlement 1907/2006 du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH). Cette annexe reprend donc l'ensemble des réglementations en termes de toxicité, parmi lesquelles on retrouve celles applicables au secteur textile-habillement. Ces textes font désormais partie intégrante du Dispositif « REACH » au titre des restrictions. Toutefois, certaines substances ne font pas l'objet d'un texte précis mais peuvent avoir des effets néfastes sur la santé du consommateur ou sur l'environnement comme les colorants allergènes et cancérigènes, exemple : le formaldéhyde,...etc. [25]

CHAPITRE II :
PROCÉDÉS DE TRAITEMENT
DES COLORANTS

II. Introduction

Des quantités plus ou moins importantes de colorants sont rejetées dans l'environnement. Ceci est dû en grande partie au degré de fixation des colorants aux fibres cellulosiques.

Les techniques de dépollution des eaux usées chargées en colorants les plus importantes, sont brièvement discutées dans les sections suivantes. [26]

II.1. Les 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 :

1. Les procédés classiques d'oxydation chimique ;
2. Les procédés d'oxydation avancée. [27]

II.1.1. Les procédés classiques d'oxydation chimique

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 :

- **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 ;
- **Oxygène O_2** : Il est considéré comme un oxydant modéré, le coût tolérable de ce procédé le rend fréquemment choisi ;
- **Peroxyde d'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 ;

- **Ozone O₃** : 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.

Il a été observé que l'oxydation chimique avec l'un de ces oxydants n'est pas toujours efficace pour le traitement des polluants organiques persistants. Dans ce cas, on fait appel aux procédés d'oxydation avancée. [27]

II.1.2. Les procédés d'oxydation avancée (POA) :

Les POA regroupent des méthodes chimiques, photochimiques ou électrochimiques. Le développement de ces méthodes est en plein essor depuis environ trois décennies. Ces méthodes de traitement consistent à dégrader les molécules de colorants en CO₂ et H₂O au en présence d'hydrogène peroxyde. [28]

- Procédé d'oxydation avancée chimique : Réaction de Fenton

La possibilité d'utilisation du réactif de Fenton dans le domaine de l'environnement, en particulier dans le traitement des eaux usées, a été abordée durant les deux dernières décennies. Le réactif de Fenton n'est autre que le peroxyde d'hydrogène activé au moyen d'un sel ferreux et constitue un agent oxydant adapté au traitement d'effluents contenant des colorants résistants à la biodégradation ou toxiques vis-à-vis des microorganismes. [29]

- Procédés d'oxydation avancée électrochimique :

Traitement des effluents colorés par électrochimie semble être plus intéressant, dans la mesure où le procédé dans ce cas fait preuve d'une bonne efficacité technique et économique. En effet, les effluents recueillis en sortie ne présentent généralement aucun danger pour les organismes vivants et la mise en œuvre de ce procédé nécessite très peu ou pas du tout de réactifs chimiques. [30]

- Procédés d'oxydation avancée photochimique :

La photo dégradation des colorants peut avoir lieu en présence ou non de catalyseurs et/ou d'agents oxydants, tels que le peroxyde d'hydrogène, ou l'ozone. La réaction peut conduire à la minéralisation complète de la molécule polluante. Ce phénomène est dû en particulier à l'action des radicaux hydroxyles. [31]

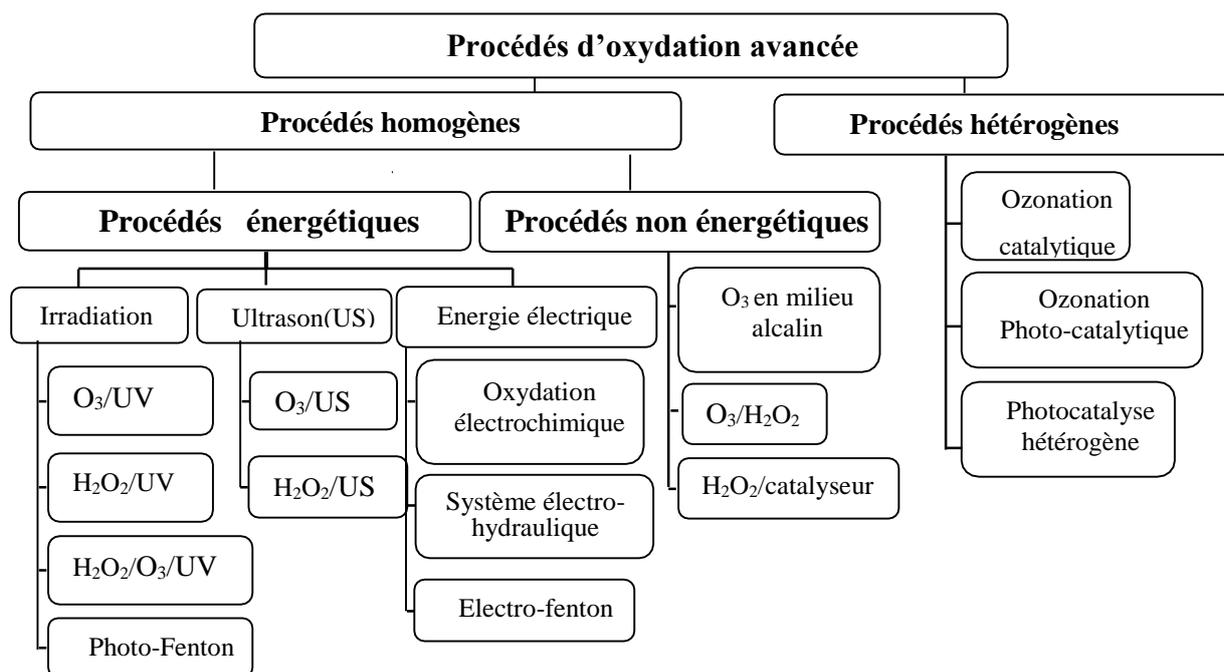


Figure II.1 : Différents POA générant OH[•] utilisés dans le traitement des effluents liquides.

[32]

D'autre part, les radicaux hydroxyles sont relativement non sélectifs et réagissent rapidement avec la plupart des composés organiques. Cette propriété est intéressante dans le cas du traitement des eaux usées, car elles ont, la plupart du temps, une composition très hétérogène. Cette forte réactivité implique une durée de vie éphémère et des concentrations instantanées très faibles dans le milieu. Ce radical permet d'oxyder, voire de minéraliser, des contaminants organiques qui sont réfractaires à une oxydation par des oxydants classiques, tels que H₂O₂ ou l'ozone, avec des temps de réaction de quelques minutes à quelques heures. Les radicaux hydroxyles sont produits de façon continue au moyen d'une des méthodes de génération présentées sur la figure II.2 :

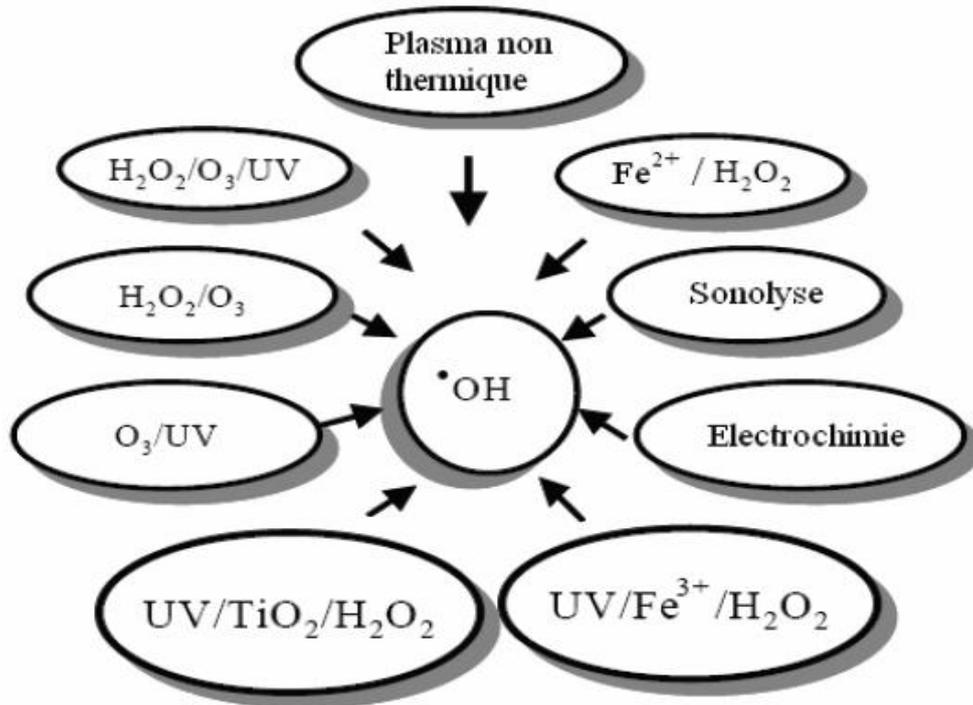


Figure II.2 : Principaux procédés de production des radicaux hydroxyles. [33]

II.2. Les méthodes biologiques :

Les procédés d'épuration par voie biologique sont basés sur la biotransformation microbienne des colorants. En outre, la majorité des colorants sont très stables et non biodégradables. Néanmoins, beaucoup de recherches ont démontré la biodégradation partielle ou complète des colorants par voie biologique. Si ces techniques sont adaptées à un grand nombre de polluants organiques, elles ne sont pas toujours applicables sur les effluents industriels en raison des fortes concentrations de polluants, de leur toxicité qui entraînerait la mort des microorganismes ou de leur très faible biodégradabilité. De plus, ces techniques génèrent des quantités importantes de boues biologiques à retraiter. Selon Loehr [34], la biodégradation est favorable pour les eaux usées présentant un rapport $\text{DBO}_5/\text{DCO} > 0,4$, par contre elle est très limitée lorsque ce rapport dépasse 0,2. Le rapport DBO_5/DCO , appelé degré de dégradation biochimique, sert de mesure pour la dégradation biochimique des polluants dans les eaux usées.

Les eaux usées bio récalcitrantes nécessitent alors d'autres techniques d'épuration. Parmi les choix basés sur l'oxydation des polluants, plusieurs possibilités s'offrent pour ce genre de situation, telles que l'incinération, l'oxydation par voie humide, ainsi que les procédés d'oxydation avancée (POA). Cependant, bien que les POA soient moins coûteux, l'incinération et

l'oxydation par voie humide sont inévitables lorsque la charge polluante devient trop élevée. [35]

II.3. Les méthodes physiques :

II.3.1. Filtration membranaire

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nano-filtration et osmose inverse. Parmi les quatre types de procédés, la nano-filtration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la réduction partielle de la couleur et des petites molécules organiques [36], mais l'osmose inverse reste la plus répandue [37]. La nano-filtration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire, tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une "membrane écran" [38]. L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de la DCO et des solides en suspension [39], et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/floculation.

II.3.2. Coagulation/floculation

La coagulation/floculation est souvent appliquée pour le traitement des eaux usées 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 floccs avec les polluants organiques, ces floccs sont ensuite éliminés par décantation et filtration. Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules en suspension et produire des floccs, sont : le sulfate d'aluminium (alun) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, l'aluminate de sodium NaAlO_2 , le chlorure ferrique $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, le sulfate ferreux $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Toutefois, ce procédé génère des quantités énormes de boues en fin de traitement, ce qui nécessite des investissements supplémentaires pour leur traitement en vue de valorisation. [40]

II.3.3. Adsorption sur charbon actif :

Le charbon actif ou d'autres matériaux adsorbants peuvent être utilisés pour éliminer plusieurs colorants des eaux usées. Comme les colorants ne sont pas tous ioniques, la plupart des adsorbants ne peuvent pas les réduire. Le charbon actif, l'adsorbant le plus communément utilisé pour la réduction de la couleur (à cause de sa capacité d'adsorption élevée), est capable d'adsorber la plupart des colorants [41,42]. Toutefois, cette technique ne résout pas le problème,

elle ne fait que déplacer la pollution de l'état liquide à l'état solide. De plus, ces techniques, non destructives, nécessitent des opérations postérieures onéreuses de régénération et de post traitement des déchets solides [43]

A / Définition de l'adsorption :

L'adsorption est un phénomène d'interface (phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide) pouvant se manifester entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide.

Aux interfaces, les attractions intermoléculaires ne sont pas compensées dans toutes les directions, et il subsiste par des forces résiduelles dirigées vers l'extérieur. Ces forces représentent une énergie superficielle par unité de surface. Ces forces sont neutralisées lorsque des particules mobiles (un gaz ou un soluté) se fixent en surface, on dit qu'elles s'adsorbent. Cette adsorption se produit spontanément et s'accompagne d'une diminution de l'énergie libre du système. [44]

B / Type d'adsorption :

✓ **L'adsorption chimique (ou chimisorption)**

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide. La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol.

✓ **L'adsorption physique (ou physisorption) :**

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol. Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (La liaison physique est plus faible). La physisorption est rapide et réversible. [45]

C / Le mécanisme d'adsorption d'un colorant :

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organique ou inorganiques qui sont susceptibles de faire une interaction avec le solide. Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

- Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- Diffusion extra granulaire de matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
- Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure Poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile. [46]

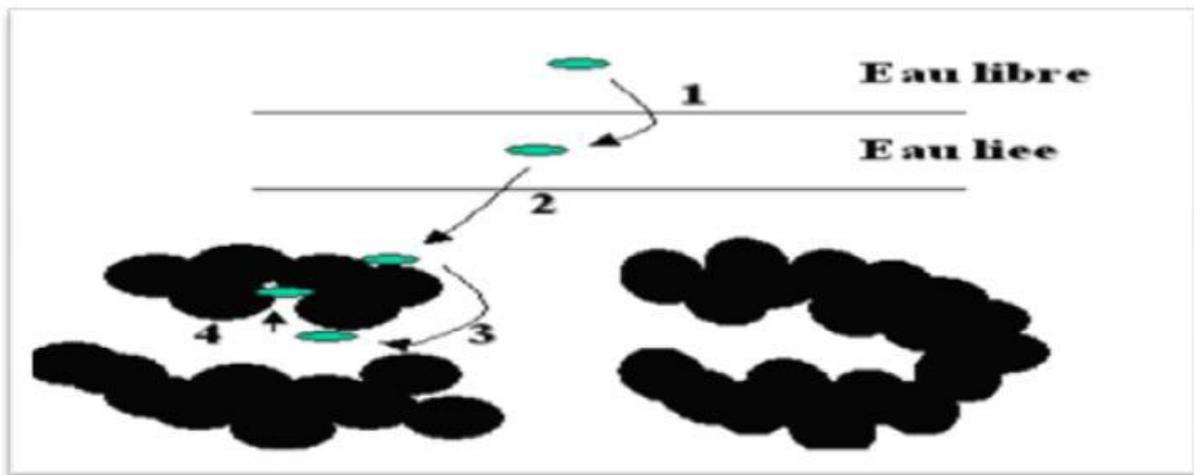


Figure II.3 : Etapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption.[47]

D / Facteurs influençant l'adsorption :

L'équilibre d'adsorption, dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont décrits ci-après :

- La température :

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique).

- **Influence du pH :**

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption du fait qu'il peut influencer à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbât ainsi que le mécanisme d'adsorption.

- **Surface spécifique :**

Plus la surface spécifique est grande, plus on aura une meilleure adsorption.

- **Solubilité de l'adsorbat :**

La solubilité d'un adsorbat joue un rôle important lors de son adsorption. Plus la solubilité est grande, plus faible sera l'adsorption. On constate que les capacités d'adsorption suivent l'ordre inverse des solubilités.

- **Polarité :**

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire. Il faut que l'adsorbant et l'adsorbat soient de polarité voisine.

- **Structure moléculaire de l'adsorbat :**

Plus la structure moléculaire des particules à fixer est grande, plus le remplissage des pores s'effectue rapidement et la saturation est atteinte avec des rendements faibles. [48]

E/ Généralités sur le charbon actif :

Le charbon actif est un matériau carboné poreux. Il peut être préparé à partir de plusieurs types de matières premières telles l'anhracite, les schistes bitumineux, le bois, la lignine, la bagasse, la mélasse, la coque de noix de coco, et autres. [49]

Tous ces matériaux peuvent servir à produire, après carbonisation, le charbon brut ce dernier est activé pour dégager les cavités remplies de goudron issues de la carbonisation et pour développer des pores ; ce qui augmente la surface spécifique et le volume poreux du matériau. Il existe deux méthodes pour activer le charbon : la méthode physique et la méthode chimique.

F/ Principales applications :

Les charbons actifs sont utilisés dans plusieurs domaines :

- Le traitement des eaux potables ou des eaux industrielles qui sont produites à partir des eaux de surface. Le charbon actif fixe alors les composés organiques dissous qui n'ont pas été éliminés par autoépuration (ou élimination biologique naturelle). Nous citons en

exemple les substances qui donnent le goût et la saveur à l'eau. Ces adsorbants retiennent également certains métaux lourds à l'état de traces.

- Le traitement tertiaire des eaux résiduaires ou industrielles. Dans ce cas le charbon actif peut être considéré comme un complément au traité biologique.
- Le traitement des eaux résiduaires industrielles : ce traitement est employé lorsque l'utilisation des techniques biologiques n'est pas permise. Le but du charbon actif est donc d'éliminer les composés toxiques non biodégradables.
- La purification industrielle des produits pharmaceutiques, chimiques ou alimentaires (sucre, huiles végétales...). [50]

II. 4. Comparaison entre les procédés étudiés :

Le tableau II.1 présente les principaux avantages et inconvénients des techniques citées précédemment pour le traitement des colorants. On peut constater que chaque technique peut être employée en décoloration moyennant des objectifs bien établis et des conditions opératoires de traitement bien déterminées. [51]

Tableau II.1 : Principaux avantages et inconvénients des techniques de traitements des colorants. [51]

Technologies	Exemples	Avantages	Inconvénients
Coagulation/ Floculation	<ul style="list-style-type: none"> - Chaux, - Fe Cl₃, - Polyélectrolyte 	<ul style="list-style-type: none"> -Equipement simple, -Décoloration relativement rapide - Réduction significative de la DCO 	<ul style="list-style-type: none"> -Formation de boues -Adjonction de produits chimiques nécessaires -Fonctionnement onéreux -Coagulants non réutilisables -Réduction spécifique de la Couleur

			-Peu d'informations sur la réduction de DBO et DCO
Filtration sur membranes	<ul style="list-style-type: none"> - Osmose inverse, -Nano filtration, -Microfiltration, -Ultrafiltration. 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation simple et rapide - Pas d'addition de produits chimiques - Faible consommation énergétique - Réduction de la couleur - Grands volumes traités 	<ul style="list-style-type: none"> -Investissement important -Sélectif - Encrassement rapide des membranes - Pré et post traitement nécessaires
Adsorption	<ul style="list-style-type: none"> -Carbone activé, - Silice. 	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction efficace de la couleur -Technologie simple -Faible coût d'utilisation pour certains adsorbants 	<ul style="list-style-type: none"> -Régénération des adsorbants onéreuse voire impossible -Sélectif -Formation de boue
Oxydation Chimique	<ul style="list-style-type: none"> - Ozone - Réactifs de Fenton - Chloration 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement de gros volumes - Diminution nette de la chloration - Décoloration rapide et efficace - Opération simple - Oxydant puissant 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement et coût de fonctionnement très élevés - Efficacité limitée pour certains colorants - Produits d'oxydation inconnus - Cout élevé

Chapitre II : Procédés de traitement des colorants

			<ul style="list-style-type: none"> - Produits d'oxydation inconnus - Formation de sous-produits de chloration (cancérogènes)
Procédés biologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Aérobie - Anaérobie 	<ul style="list-style-type: none"> -Approprié pour les colorants insolubles -Décolore la plupart descolorants par un mécanisme de réduction -Réutilisation du méthane produit comme source d'énergie sur le site 	<ul style="list-style-type: none"> -Spécifique à certains colorants -Décoloration variable -Grandes quantités de bouesgénérées -Besoins énergétiques importants -Produits de dégradation inconnus -Beaucoup de produits toxiques non dégradés -Nécessite de grands réservoirs d'aération

CHAPITRE III :

RÉSULTATS ET DISCUSSION

III. Résultats et discussion

III.1 Matériels et méthodes :

Les réactifs utilisés, le mode opératoire ainsi que la méthode d'analyse utilisée et l'ensemble des expériences effectuées ont été détaillés dans ce chapitre.

- Réactifs et produits utilisés :

✓ Réactifs chimiques :

Les réactifs chimiques utilisés pendant l'étude expérimentale sont regroupés dans le tableau (III.1) suivant :

Tableau III. 1 : Réactifs chimiques utilisés.

Réactifs	Formule brute	Pureté (%)
Acide chlorhydrique	HCl	36%
Hydroxyde de sodium	NaOH	100%

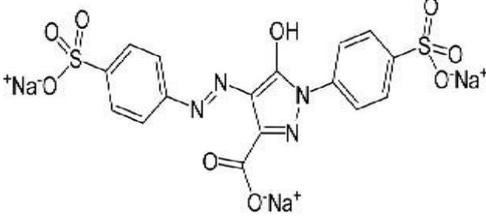
✓ Produit chimique : Le Jaune de Tartrazine (E102) :

Le Tartrazine est un colorant alimentaire de synthèse de la famille des colorants azoïques, il se présente sous forme de poudre de couleur jaune ou orange hydrosoluble ou directement en solution, il est utilisé comme colorant dans plusieurs produits industriels comme les chips, la moutarde ou les gâteaux. Il est utilisé parfois en Afrique du nord dans le couscous.

Le Tartrazine est soupçonné de provoquer l'hyperactivité et asthme chez les enfants. Il est aussi potentiellement cancérigène et de ce fait a été interdit dans certains pays scandinaves, mais l'E102 reste autorisé dans quelques pays. Ce colorant présente aussi d'autres effets secondaires tels que les troubles de la vue et les insomnies.

Les caractéristiques du TRZ sont regroupées dans le tableau III.2.

Tableau III. 2 : Caractéristique de Jaune de Tartrazine (TRZ)

Nomenclature	Jaune de Tartrazine
Formule chimique	$C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$
Structure	
Poids moléculaire	534,36 g/mol
Solubilité	200 à 25°C
Nom IUPAC	Trisodium ; 5-oxo-1-(4-sulfonatophenyl)-4-[(4-sulfonatophenyl) diazenyl]-4Hpyrazole-3-carboxylate

✓ **Adsorbant :**

Au cours de ce travail, nous avons utilisé le charbon actif commercial comme adsorbant.

- **Mode opératoire :**

Pour les différentes expériences, l'adsorption du TRZ a été effectuée dans une solution de volume 250 mL, agité à une vitesse égale à 400trs/minet à température ambiante. Des prélèvements sont effectués au cours du temps, l'échantillon est centrifugé dans une centrifugeuse de type **SIGMA4-165** pendant 15 min à une vitesse de 4100 trs/min., le surnageant est ensuite analysé au spectrophotomètre à 426nm.

III.1.1 Méthode d'analyse :

Spectrophotomètre UV-VIS :

Le spectrophotomètre utilisé est un appareil à double-faisceaux de marque SHIMADZU UV 1800. Il permet de quantifier les molécules présentes en solution, capables d'absorber des photons, dans la gamme de longueurs d'onde 200 -800 nm. L'absorbance (A) de la solution est calculée à partir de la loi de Beer Lambert :

$$A = \epsilon Cl = \log \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (\text{III.1})$$

Tel que :

- ϵ : Coefficient d'absorbance ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), il dépend de la longueur d'onde, de la nature chimique de l'entité et de la température ;
- C : la concentration de l'espèce absorbant (mol. L^{-1}) absorbant, exprimée en moles par litre ;
- l : Le trajet optique (cm) ;
- I_0 : Intensité du faisceau incident ;
- I : Intensité transmise du faisceau traversant l'échantillon.

Les échantillons sont analysés à la longueur d'onde (λ_{max}) correspondant au maximum d'absorption de la molécule utilisée dans l'étude à savoir : (jaune de Tartrazine). La valeur de λ_{max} est déterminée après balayage des longueurs d'ondes comprises entre 800 et 200 nm sur des échantillons. La cuve utilisée est en quartz d'un volume de 1,5 ml

La courbe d'étalonnage du Jaune de Tartrazine est issue de la représentation graphique de la variation des différentes densités optiques en fonction de la concentration du colorant (**figure III.1**)

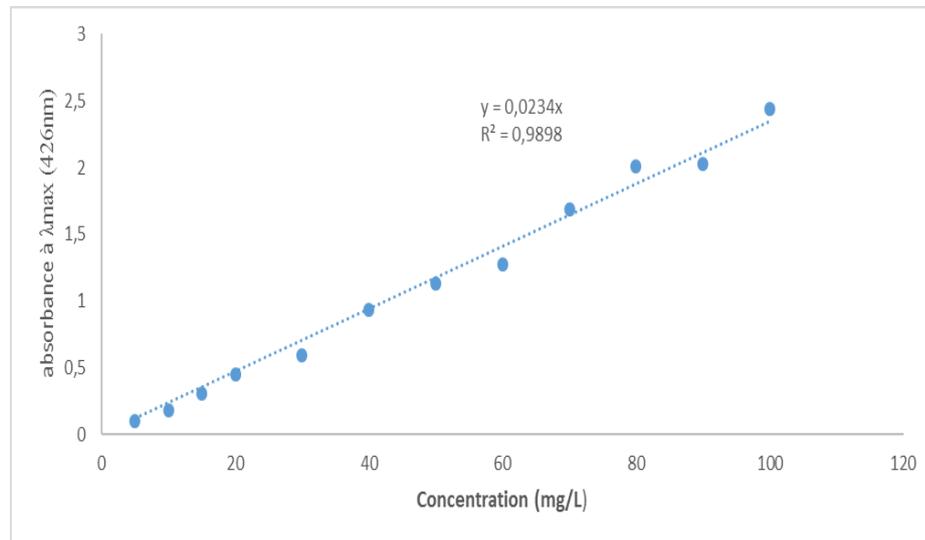


Figure III. 1 : Courbe d'étalonnage du Jaune de Tartrazine.

III.2. Modélisation et optimisation par la méthode de Box Benkhen :

✓ Principe

Box et Behnken (1960) ont introduit un type différent de plans d'expériences pour les modèles du deuxième ordre qui permettent l'estimation de certaines interactions[52]. Ce plan

est construit sur un cube où les points expérimentaux ne sont pas placés aux sommets du cube mais au milieu des arêtes. On ajoute ensuite des points au centre du domaine d'étude.

Le plan de Box-Behnken pour trois facteurs est illustré par la figure III.2.

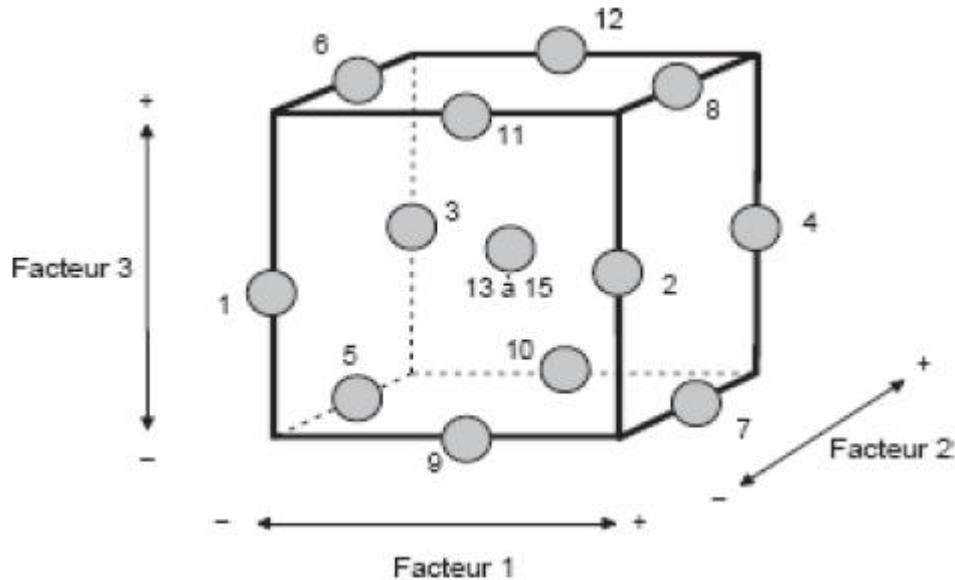


Figure III.2 : Illustration du plan de Box-Behnken pour trois facteurs.

Le nombre d'essais (N) requis pour construire la matrice de Box-Behnken pour 3 facteurs est défini selon l'équation III.2. [53]

$$N = (K-1) + \theta \quad (\text{III.2})$$

Avec :

K : Le nombre de facteurs,

θ : Le nombre de points au centre.

Donc 15 essais à réaliser, la construction du plan suit le principe suivant : deux facteurs décrivent un carré (4 essais d'un plan 22) et les coordonnées correspondantes au troisième facteur valent zéro (tableau III.3).

Tableau III .3 : Matrice d'expérience du plan choisi.

N° d'essai	(x ₁)	(x ₂)	(x ₃)
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

III.2.1. Choix des facteurs d'étude :

Le choix des facteurs d'étude lors de la réalisation d'un plan d'expérience s'avère l'un des points les plus importants. Dans notre étude, le choix de facteurs s'est porté sur les trois paramètres nécessaires et affectant directement les caractéristiques de l'adsorbant, dont la concentration du Jaune de Tartrazine (X₁), la concentration du charbon actif (X₂) et le pH noté (X₃).

Le tableau **III.4** présente les facteurs choisis et le domaine d'étude dans lequel devrait être réalisée l'expérience :

Tableau III. 4 : Facteurs et domaine d'étude.

	Facteurs	Niveau -1	Niveau 0	Niveau +1
X ₁	Concentration du Colorant (mg/L)	5	15	25
X ₂	Concentration du charbon actif (g/L)	0.5	1	1.5
X ₃	pH	3	6	9

Tous les autres paramètres sont maintenus constants lors des expériences.

Soit :

- Température ambiante (~ 25 °C) ;
- Temps d'équilibre : 85 min;
- Volume (250 mL) ;
- Agitation (400trs/min).

La réponse choisie dans cette étude est le rendement d'adsorption qui est calculé à l'aide de l'équation (III.3) :

$$R_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) * 100 \quad \text{(III.3)}$$

Avec :

C_0 : La concentration initiale du colorant (mg/L) ;

C_e : La concentration résiduel (à l'équilibre) du colorant dans la solution (mg/L) ;

III.2.2 Modèle mathématique postulé :

Le modèle mathématique postulé que l'on utilise, en général, avec le plan de Box-Behnken est un modèle du second degré avec des interactions d'ordre deux.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12} X_1X_2 + b_{13} X_1X_3 + b_{23} X_2X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 \quad \text{(III.4)}$$

Avec :

- ✓ Y : la réponse ;
- ✓ X_1 , X_2 et X_3 , représentent les niveaux (+1, 0 ou -1) des essais pour les facteurs 1, 2 et 3 respectivement ;
- ✓ b_1 , b_2 et b_3 représentent les effets des facteurs 1, 2 et 3 respectivement ;
- ✓ b_{12} , b_{13} et b_{23} représentent l'interaction entre les facteurs 1 et 2, 1 et 3, et 2 et 3 respectivement ;
- ✓ b_{11} , b_{22} et b_{33} sont des coefficients quadratiques.

Ce modèle comporte 10 coefficients. Il faut donc au minimum 10 équations pour les estimer. Le plan classique de Box-Behnken pour trois facteurs comporte 15 points expérimentaux donnant chacun une équation. Il reste donc 5 équations ou 5 degrés de liberté, pour calculer le résidu.

III.2.3 Méthode de calcul des coefficients :

Nous avons déterminé les coefficients du modèle cité précédemment (équation III.4) en utilisant le logiciel MODDE 6.0.

III.2.3.1 Modélisation :

Notre objectif consiste à optimiser les paramètres considérés par la maximisation du rendement d'adsorption.

La matrice d'expériences et les résultats expérimentaux (réponses) obtenus lors de la réalisation des 27 essais du plan de Box-Behnken, sont présentés dans le tableau (III.5).

Tableau III.5 : Matrice d'expérience et les réponses.

Exp N°	Polluant	Charbon	pH	Rendement (%)
1	5	0,5	6	11
2	25	0,5	6	36,254
3	5	1,5	6	40
4	25	1,5	6	26
5	5	1	3	81,25
6	25	1	3	91,885
7	5	1	9	72,093
8	25	1	9	89,402
9	15	0,5	3	83,524
10	15	1,5	3	86,564
11	15	0,5	9	68,490
12	15	1,5	9	84,235
13	15	1	6	73,254
14	15	1	6	72,985
15	15	1	6	71,765

L'interprétation commence par le calcul des coefficients du modèle et des écarts types correspondants.

On obtient les coefficients calculés par le MODDE 6.0 :

$$\begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_{12} \\ b_{13} \\ b_{23} \\ b_{11} \\ b_{22} \\ b_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 72.668 \\ 4.899 \\ 4.691 \\ -3.625 \\ -9.814 \\ 1.668 \\ 3.176 \\ -20.700 \\ -23.654 \\ 31.689 \end{pmatrix}$$

En remplaçant les différents facteurs dans l'équation du modèle appliqué (équation III.4), nous avons obtenu l'équation mathématique suivante (III.5) :

$$Y(\%) = 72.668 + 4.899X_1 + 4.691 X_2 - 3.625 X_3 - 9.814 X_1X_2 + 1.668 X_1X_3 + 3.176 X_2X_3 - 20.7 X_1^2 - 23.654 X_2^2 + 31.689 X_3^2 \text{ (III.5)}$$

La représentation des coefficients et leurs interactions obtenus, sont rapportés sur la Figure (III.3).

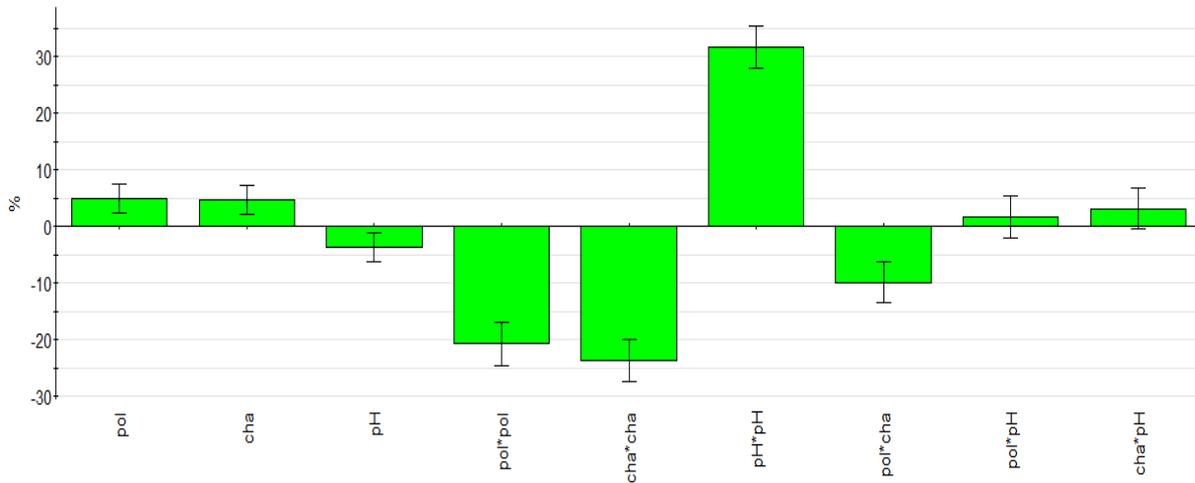


Figure III. 3 : Effet des facteurs principaux et leurs interactions.

La figure (III.3) nous permet d'observer l'effet des facteurs étudiés sur les réponses. Les résultats obtenus montrent que la concentration du polluant et du charbon actif influent de façon positive sur la réponse, cependant le pH influe négativement. On observe une influence positive pour l'interaction polluant/pH et charbon/ pH contre une influence négative pour l'interaction polluant/charbon.

III.2.3.2 Evaluation de l'adéquation du modèle statistique :

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la qualité du modèle statistique, parmi lesquelles on peut citer : le coefficient de détermination (R^2), la prédiction (Q^2) et la reproductibilité, qui sont calculés à l'aide du logiciel MODDE 6.0 [54]

Pour estimer l'adéquation du modèle, le coefficient de détermination R^2 indique à quel point le modèle explique les valeurs observées. Plus il est proche de 1, plus le modèle est bien ajusté.

Le coefficient de prédiction (Q^2) indique la puissance prédictive ; au-delà de 0,8 le modèle présente un bon pouvoir prédictif [55]

La reproductibilité est la variation des réponses dans les mêmes conditions comparée à la variation totale des réponses.

Le modèle est valide lorsque la barre de validité est supérieure à 0,25, donc il n'y a aucun manque d'ajustement du modèle (MODDE 6.0. index).

Le résumé de l'ajustement donné par le MODDE 6.0 est représenté par un diagramme à barre dans la figure III.4 et regroupé dans le tableau III.6.

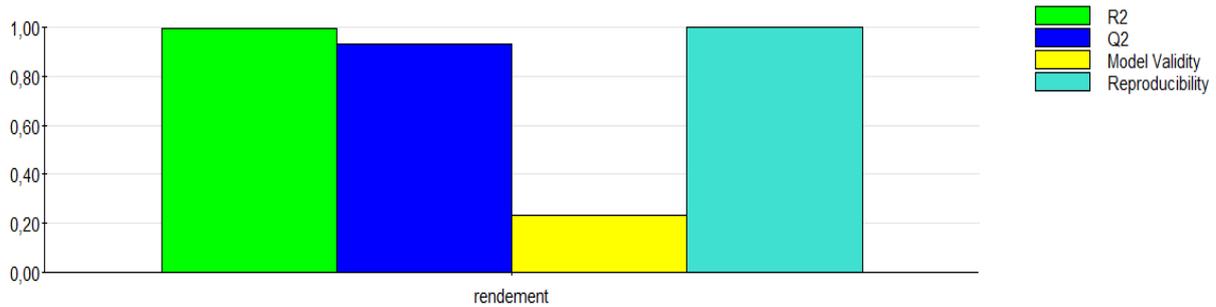


Figure III. 4 : Résumé de l'ajustement.

D'après la figure III.4 et le tableau III.6 on constate un coefficient de détermination R^2 proche de 1, un pouvoir de prédiction (Q^2) supérieure à 0,8, une mesure de validité supérieure à 0,25 et une reproductibilité proche de 1 donc il n'y a aucun manque d'ajustement du modèle et confirment également que le modèle est fortement significatif .

Tableau III.6 : Analyse statistique des résultats.

Coefficient de prédiction Q^2	0,930
Coefficient de détermination R^2	0,995
R^2_{Adj}	0,987
Reproductibilité	0,999
Validité	0,3

Les résultats des résidus concernant les réponses mesurées et prédites sont représentés sur la Figure (III.5).

Nous observons que les réponses suivent une distribution normale et linéaire, ce qui représente un indice pour la vérification du modèle statistique.

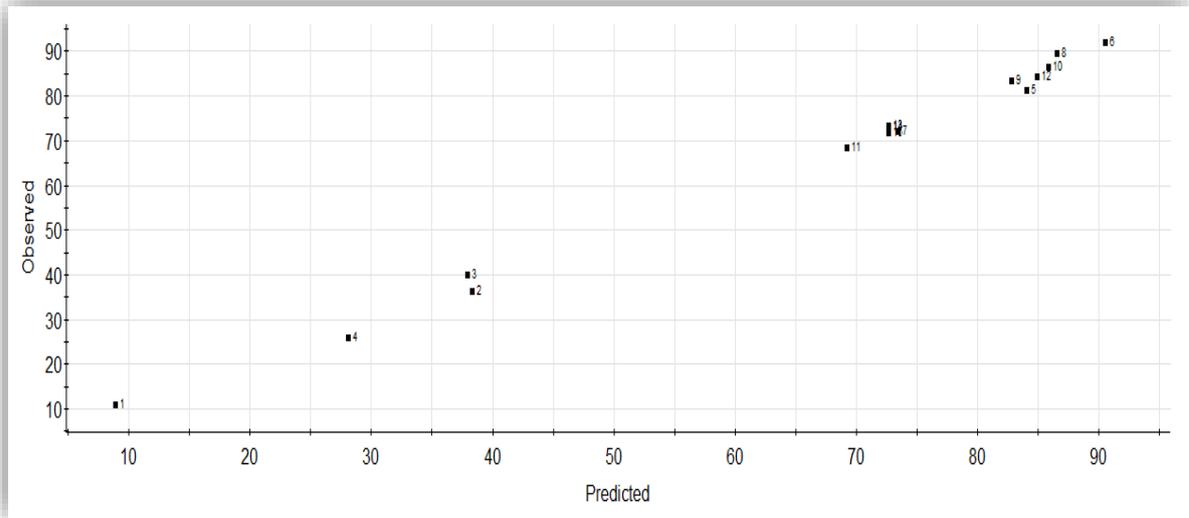


Figure III.5 : Le tracé des réponses observées en fonction des réponses prédites.

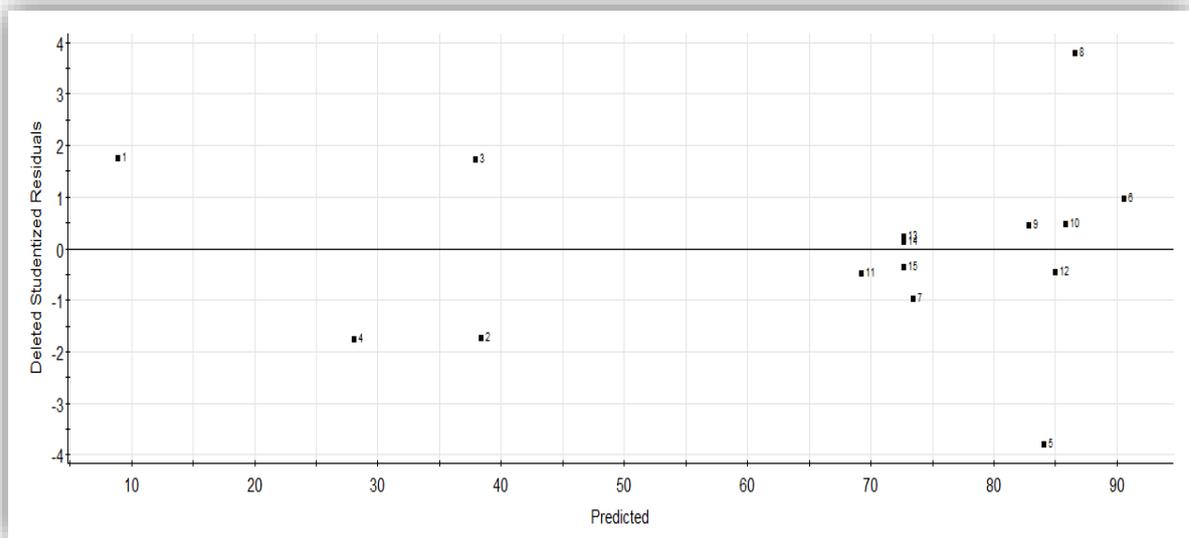


Figure III. 6 : Diagramme de la dispersion des résidus.

Aussi, le diagramme de la dispersion des résidus (Figure III.6), montre que le modèle est bien validé ; cette validité du modèle revient à la distribution des points sur le domaine.

III.2.4 Simplification du modèle :

Afin de comparer l'influence des coefficients, nous avons calculé le rapport entre le coefficient et l'écart-type qu'on appelle le « t-student ». A partir de la valeur obtenue par le test « t-student », on peut prévoir si le coefficient est influent ou pas. Cette probabilité est appelée « p-value ». [56]

- Si la « p-value » est inférieure à 0,05, le coefficient est influent.
- Si la « p-value » est supérieure à 0,05 le coefficient n'est pas influent. [57,58]

Le Tableau (III.7) présente les p-values correspondantes à chaque coefficient du modèle.

Tableau III. 7 : P-value des coefficients du modèle.

Rendement	Coefficient	P-value	Remarque
b₀	72,6681	1,0934 E-007	Influent
b₁	4,8997	0,00451641	Influent
b₂	4,69138	0,00542683	Influent
b₃	-3,62539	0,0152569	Influent
b₁₁	-20,7003	3,30513 E-005	Influent
b₂₂	-23,6544	1,71763 E-005	Influent
b₃₃	31,6896	4,05324 E-006	Influent
b₁₂	-9,81351	0,000963667	Influent
b₁₃	1,66833	0,292105	Non influent
b₂₃	3,17632	0,0750998	Non influent

D'après les résultats du tableau (III.7), on remarque que quelques coefficients peuvent être éliminés (non influents) [56], l'équation (III.5) devient alors :

$$Y(\%) = 72.668 + 4.899X_1 + 4.691 X_2 - 3.625 X_3 - 9.814 X_1X_2 - 20.7 X_1^2 - 23.654 X_2^2 + 31.689 X_3^2 \text{ (III.6)}$$

III.2.4.1 Validation du modèle simplifié.

Dans la pratique, les méthodes de validations utilisées sont :

- Test de signification globale de la régression (R^2).
- L'utilisation des points tests [58]

a) Test de signification globale de la régression :

L'adéquation du modèle est estimée grâce au coefficient de détermination R^2 . D'après la figure (III.7), on constate l'obtention d'une régression linéaire simple et une proportionnalité sur la bissectrice des valeurs (réponses mesurées = f (réponses prédites)), donnant une valeur de $R^2 = 0,989$ très proche de 1, donc on conclue que le modèle est significatif.

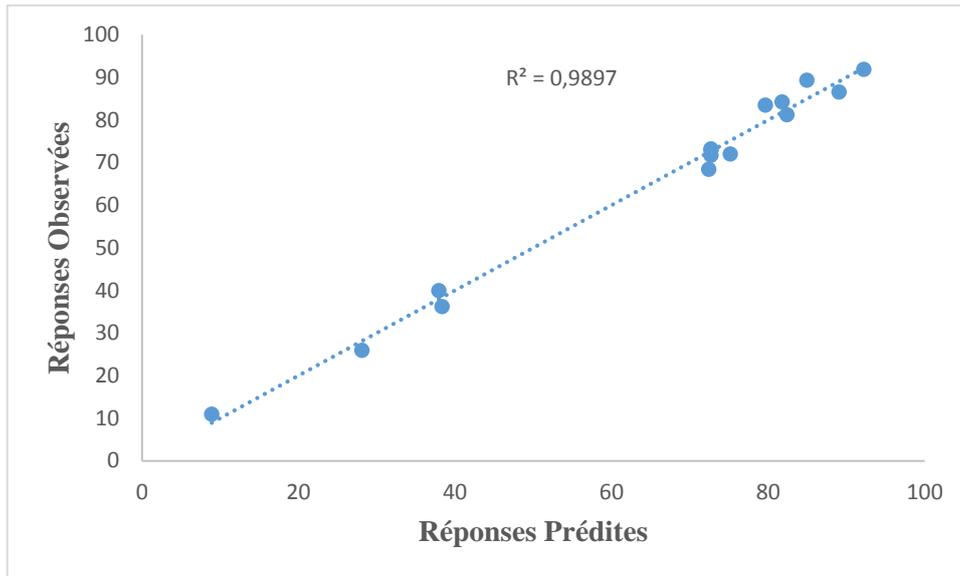


Figure III. 7 : Réponses du modèle observé en fonction des réponses du model prédit simplifié.

La valeur du coefficient de détermination et R^2 ajusté obtenus (0,979) montre que le modèle simplifié est bien validé.

b) Validation en utilisant des points tests.

La validation du modèle par des points tests, s'est faite en utilisant certains points qui n'ont pas été utilisés dans la construction du modèle, pour cela, nous avons réalisé quatre nouvelles expériences en choisissant des points situés à l'intérieur du domaine d'étude.

La valeur réelle de la grandeur est reliée à la valeur réduite du plan par la relation (III.7), en fonction des bornes du domaine étudié.

$$\text{Valeur réelle} = X \cdot \Delta V + V_0 \quad \text{(III.7)}$$

Avec :

- V_0 : Valeur réelle moyenne au centre [0] ;
- ΔV : Le pas, où : $\Delta V = (V_0 - V_{\min}) = (V_{\max} - V_0)$;
- V_{\max} : Valeur réelle maximale, au niveau [+1] ;
- V_{\min} : Valeur réelle minimale, au niveau [-1] ;
- X : Le point où s'effectue l'expérience.

Exemple : Détermination des valeurs réelles de la concentration du polluant pour les deux valeurs expérimentales (-0,5) et (0,5)

- Valeur (-0,5) = $(15 - 5) * (-0,5) + 15 = 10$
- Valeur (+0,5) = $(15 - 5) * (0,5) + 15 = 20$

Le Tableau (III.8) présente les facteurs choisis et le domaine d'étude dans lequel devrait être réalisée l'expérience :

Tableau III. 8 : Facteurs choisis pour la validation du modèle.

	X₁ (g/L)	X₂ (g)	X₃
+0,5	10	0.75	4.5
-0,5	20	1.25	7.5

Les points expérimentaux choisis et les réponses prédites et observé sont présentés dans le Tableau (III.9) :

Tableau III. 9 : Points expérimentaux pour la validation du modèle.

N° (essaie)	X₁	X₂	X₃	Prédit	Observé
16	0,5	0,5	0,5	70,031	75,031
17	-0,5	-0,5	-0,5	64,066	62,152
18	-0,5	0,5	0,5	70,038	68,735
19	0,5	0,5	-0,5	78,563	82,563

Pour la clarté et la compréhension facile de la validation, la représentation des valeurs prévues employant le modèle ainsi que les valeurs mesurées correspondantes aux réponses des points tests sont reportées sur la Figure (III.8).

Le modèle développé est considéré précis lorsque toutes les valeurs mesurées sont alignées ou sont étroites avec la ligne idéale (bissectrice). Les valeurs mesurées de chaque réponse sont tracées (figure III.8) et leur proximités à la ligne idéale confirme la validité du modèle.

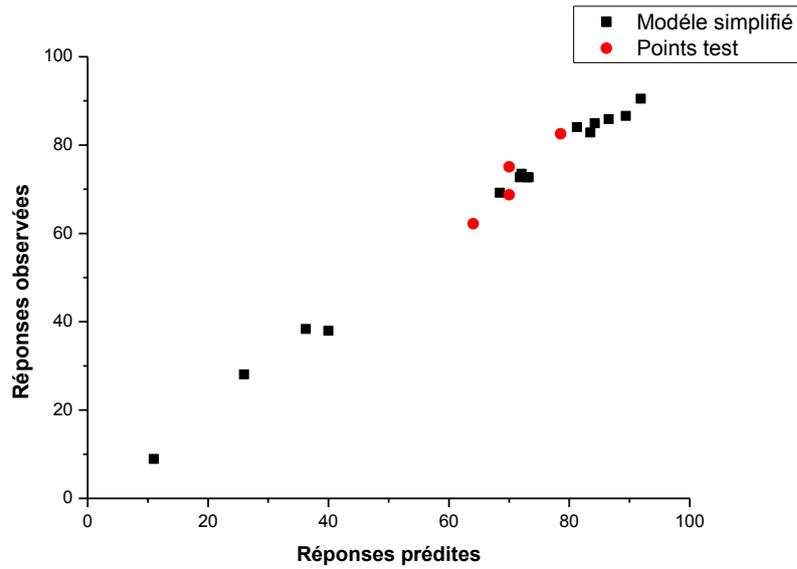


Figure III. 8 : Comparaison entre le modèle simplifier les points de validation.

Les résultats obtenus des deux tests de validations permettent de constater la validité du modèle simplifié dans le domaine d'étude [59]

La meilleure condition correspondant à la plus grande valeur du rendement d'adsorption, est regroupée dans le Tableau (III.10).

Tableau III. 10 : Valeurs correspondant au meilleur résultat.

Concentration du colorant (mg/L)	Concentration du charbon actif (g/L)	pH	Rendement d'adsorption (%)
9.004	1.111	3	98.77

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

La problématique des eaux usées colorées et les risques liés à ses rejets évoqués dans le début de ce mémoire, rendent plus évident la nécessité de traiter cette pollution au niveau de sa source d'émission.

La présente étude s'intéresse à l'optimisation de l'élimination du Tartrazine en milieu aqueux par adsorption via le modèle de box Behnken à trois facteurs et de proposer une équation mathématique de prédiction.

Les résultats obtenus sont :

- L'application du plan Box-Behnken pour trois facteurs, nous a permis d'établir un modèle très représentatif de l'élimination du TRZ. Ce modèle a été validé dans le domaine d'étude avec une erreur très faible inférieure à 5 %.
- Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que le TRZ a été éliminé par adsorption, un rendement d'élimination maximal de 98,77% est obtenu pour une concentration du colorant (x_1) égale à 9 mg/L, une dose de charbon actif (x_2) de 1.11 g/L pour un pH (x_3) acide de 3 à température ambiante (25°C).

En perspective, il serait intéressant de tester ce modèle en dehors du domaine d'étude pour le valider d'une manière générale et de refaire l'étude sur un effluent réel en fixant les paramètres optimaux.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] : **Aitsalem. Dj**, Adsorption d'un colorant sur un matériau naturel, mémoire d'un master, université Mouloud Meammeri de Tizi-Ouzou, département de chimie, 1p, (2018).
- [2] : **Lachheb. M**, Etude d'adsorption de violet de gentiane sur la sciure de bois, mémoire de master, Université A.M.Oulhadj-bouira, département de génie de procédés, 16p, (2018)
- [3]: **Robert. A.** Charvat and Associates, Inc Cleveland, Ohio: coloring of plastics, 2004.
- [4] : **Wuithier. P**, Raffinage et génie chimique, Édition Technip. Paris, (1972).
- [5] : **Kushwaha .A.K, Gupta. N, Chattopadhyaya M.C.** Removal of cationic methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of *Daucus carota*. Journal of Saudi Chemical Society, (2011).
- [6]: **DEPA (Danish Environmental Protection Agency)**, Survey of azo colorants in Denmark, Toxicity and fate of azo dyes, (2000).
- [7] : **Sahnoun. S.** Synthèses, caractérisation et application des argiles organophiles, Thèse de Magister, Université du Sétif. (2011)
- [8] : **Lillie .R. D.** Les taches biologiques de Conn Williams & Wilkins, Baltimore, MD., USA Catalogue chimique Aldrich, Aldrich Chemical Company, Milwaukee, WI, États-Unis. (1992)
- [9] : **Stolte. M, Vieth. M.** Acta Endosc. 31 (2) 125–130, (2001).
- [10]: **Tavlieva. M.P, Genieva. S. D, Georgieva. V.G, Vlaev. L.T.** Kinetic study of brilliant green adsorption from aqueous solution onto white rice husk ash. Journal of Colloid and Interface Science 409 112–122. (2013)
- [11] : **Barka. N.** L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photo catalytique sur TiO₂ supporté. Thèse Université Ibn zohr Agadir, N°65. (2008).
- [12] : **Stolte. M , Vieth. M.** Acta Endosc. 31 (2) 125–130, (2001).
- [13]: **Kumar. R, Barakat. M.A.** Decolourization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel. Chemical Engineering Journal 226 -377-383. (2013).

- [14]: **Hazourli .S, Ziati .M, Hazourli .A, Cherifi .M.** Valorisation d'un résidu naturel ligno cellulosique en charbon actif -exemple des noyaux de dattes. Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen 187-192. (2007).
- [15]: **BARKA N.,** L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photo catalytique sur TiO₂ supporté. Thèse Université Ibn zohr Agadir, N°65, (2008).
- [16]: **Hedyatullah. M.** Les colorants synthétiques. 4ème trimestre, 1ère édition, (1976).
- [17]: **Errais. E,** Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques. Thèse Université de Strasbourg, France, (2011).
- [18]: **Hedyatullah M .** Les colorants synthétiques. 4ème trimestre, 1ère édition, (1976).
- [19]: **Simont .G.** Guide des techniques de l'ennoblissement textile. Chapitre 11, édition industrie textile 1982.
- [20]: **Zidani. L.** Thèse magister. Etude de la dégradation de quatre colorants azoïques par photo-catalyse comparaison avec d'autres procédés d'oxydation avancés (POA), Université Batna, 2009.
- [21]: **Lachheb.M,** Etude d'adsorption de violet de gentiane sur la sciure de bois, mémoire de master, Université A.M.Oulhadj-bouira, département de génie de procédés, 24p, (2018)
- [22]: **Saidi. FZ.** Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée. Mémoire Magister : Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen, 2013.
- [23]: **Milano. J C.** Environ. Technol, Vol 16, p329-341. (1995).
- [24]: **Zhenwang, L., Zhenlu, C., Jianyan L.** The PT dye molecular structure and its chromophoric luminescences mechanism. 166. 15th World Conference on Non- Destructive Testing, October, pp. 15-21. (2000).
- [25]: **Bouafia .S.** Dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de fenton, application à la dépollution des rejets industriels, Thèse Université PARIS-EST, p75-101. (2010).
- [26]: **Harchouche. S, Boulfiza. H.** Application du plan d'expérience Box-Behnken pour l'optimisation de la dégradation photocatalytique des colorants, Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procédés, 8P. (2018).
- [27]: **Harchouche. S, Boulfiza. H.** Application du plan d'expérience Box-Behnken pour l'optimisation de la dégradation photocatalytique des colorants, Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procédés, 10P. (2018).

- [28]: **Tzong-Horng. L.** Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. *Chem. Eng. J.* 158, 129–142 (2010)
- [29]: **Tavlieva. M.P, Genieva. S. D, Georgieva. V.G, Vlaev. L.T.** Kinetic study of brilliant green adsorption from aqueous solution onto white rice husk ash. *Journal of Colloid and Interface Science* 409, 112–122(2013).
- [30]: **Ghaedi. M, Hossainian. H, Montazerzohori .M, Shokrollahi. A, Shojaipour. F, Soyak .M, Purkait. M.K.** A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green, *Desalination* 281, 226–233 (2011).
- [31]: **Tzong-Horng. L.** Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. *Chem. Eng. J.* 158, 143–147 (2010)
- [32]: **Papic S., Koprivanac N., Bozic A. L. C.** Removal of reactive dyes from wastewater using Fe(III) coagulant, *Color. Technol.* 116, 352-358(2000).
- [33] : **Harchouche. S, Boulfiza. H.** Application du plan d'expérience Box-Behnken pour l'optimisation de la dégradation photocatalytique des colorants, Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procédés, 12P (2018)
- [34] : **Nait merzoug. N.** Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques, Mémoire de Magister, Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras, Département des Sciences de la matière, 20 P, (2013-2014).
- [35]: **López. C, Valade. A, Combourieu. B, Mielgo. I, Bouchon .B., Lema .J.M.** Mechanism of enzymatic degradation of the azo dye Orange II determined by exsitu ¹H nuclear magnetic resonance and electrospray ionization-ion trap mass spectrometry, *Anal. Biochem.* 335, 135–149 (2004).
- [36]: **McKay .G, Ramprasad .G, Mowli. P.** Desorption and regeneration of dye colours from low-cost materials. *Water Res.* 21, 375-377(1987).
- [37]: **Taylor J.S., Jacobs E.P.** *Water treatment membrane processes*, New York, McGraw-Hill, 9.1-9.70(1996).
- [38] : **Calabro V., Pantano G., Kang R., Molinari R., Drioli E.,** Experimental study on integrated membrane processes in the treatment of solutions simulating textile effluents. Energy and exergy analysis, *Desalination* 78, 257-277(1990).

- [39]: **Van Der Bruggen B., Lejon L., Vandecasteele C.**, Reuse, treatment and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes. *Environ. Sci. Technol.* 37, 3733-3738 (2003).
- [40]: **Anselme C., Jacobs E.P.**, Water treatment membrane processes, New York, McGraw Hill Mallevalle, 401-1087(1996)
- [41]: **Lambert S.D., Graham N.J.D., Sollars C.J., Fowler G.D.**, Evaluation of inorganic adsorbents for the removal of problematic textile dyes and pesticides, *Water Sci. Technol.* 36 ,173-180(1997).
- [42]: **Lin S.H.**, Adsorption of disperse dye by powdered activated carbon, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 57, 387-391(1993).
- [43] : **Ramakrishna K.R., Viraraghavan T.**, Dye removal using low cost adsorbents, *Water Sci. Technol.*36 ,189-196. (1997)
- [44] : **Sedira. N**, Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes, Mémoire de Master, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, Département de sciences de la matière, 30P. (2012)
- [45] : **Benamraoui .F** , Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture, Mémoire de Magister , Université Ferhat Abbas Setif-1 UFAS (ALGERIE), Département de génie des procédés, 11P, (2014).
- [46]: **W.J.Weber, B, M Vanvliet, In.** Activated carbon adsorption of organic from the aqueous phase, Ed. I. H. Suffet, M.J.McCuivre
- [47] : **Roussac. F, Roussac. A.** Analyses chimique, méthode et technique instrumentales modernes, Edition Masson. (1994).
- [48] : **Lachheb. M**, Etude d'adsorption de violet de gentiane sur la sciure de bois, mémoire de master, Université A.M.Oulhadj-bouira, département de génie de procédés, 36p, (2018)
- [49]: **El-hendawy A. A.** Influence of HNO₃ oxidation on the structure and Adsorptive properties of corn-cob-based activated carbon. *Carbon*, Vol.41, 713-722(2003).
- [50]: **Wu .F, Tseng .R, HU. C.** Microporous and mesoporous materials. *Carbon*, Vol.80, 95-106(2005).
- [51] : **Lamri. N** .Elimination du colorant organique en solution aqueuse par voie photochimique et par adsorption optique chimie analytique physique et environnement
- [52] : **Zawlotski. G V.** Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée "Electro-Fenton". Application à la minéralisation des colorants synthétiques, Thèse de Doctorat, Université de Marne-La- Vallée, p35-38, (2004).

- [53] : **Kimouche. K**, Etude de quelques plans d'expériences associées aux surfaces de réponse, thèse de magister, (2008).
- [54] : **Samed. B**, Etude prédictive de fiabilité de nouveaux concepts d'assemblage pour des «system-in-package» hétérogènes, pp 40,(2011).
- [55] : **Zhang. H, Li. Y, Wu. X, Zhang. Y, Zhang. D**, Application of response surface methodology to the treatment landfill leachate in a three-dimensional electrochemical reactor, Waste Management 30 ,2096–2102, (2010).
- [56]: **Zhang. H, Ran. X, Wu. X, Zhang. Y, Zhang.D**, Evaluation of electro-oxidation of biologically treated landfill leachate using response surface methodology Journal of Hazardous Materials 188 ,261–268, (2011).
- [57]: **Arslan-Alaton.I, Tureli.G, Olmez-Hanci.T**, Treatment of azo dye production wastewaters using photo-Fenton-like advanced oxidation processes: optimization by response surface methodology, Photochem.J. Photobiol.A: Chem. 202, 142–153, (2009)
- [58] : **Kimouche Karima**, Etude de quelques plans d'expériences associées aux surfaces de réponse, thèse de magister, (2008).
- [59]: **Manohor,M., Joseph, J., Selvaraj,T., Sivakumar,D.**, Application of Box Behnkendesigne to optimize the parametres for turing Inconel 718 using coated carbide tools ,(2013).

الملخص:

تطرح الإفرازات المحملة بالأصبغ مشكلتين رئيسيتين، إحداهما جمالية والأخرى مرتبطة بالصحة العامة، ومن هنا تأتي الحاجة إلى العلاج.

في هذا العمل، تم تحسين إزالة الصبغة (Tartrazine) عن طريق الامتزاز باستخدام تصميم Box-Behnken ثلاثي العوامل. تمكنا من إنشاء نموذج رياضي يمثل بشكل كبير إزالة الملوثات بفارق أقل من 5% عن النموذج التجريبي. يتم الحصول على أفضل عائد 98.77% بتركيز ملوث يساوي 9 مجم / لتر، جرعة من الكربون المنشط 1.11 جم / لتر لدرجة الحموضة الحمضية 3 عند درجة حرارة الغرفة (25 درجة مئوية).

الكلمات الرئيسية: الامتزاز، التارترازين، بوكس-بهنكن، التحسين

Résumé :

Les rejets chargés de colorants posent deux problèmes majeurs, l'un esthétique et l'autre lié à la santé publique, d'où la nécessité de traiter.

Dans ce travail l'élimination d'un colorant (Tartrazine) par adsorption a été optimisée en utilisant le plan de Box-Behnken à trois facteurs. Nous avons pu établir un modèle mathématique très représentatif de l'élimination du polluant avec un écart inférieur à 5% avec l'expérimental. Le meilleur rendement 98,77 % est obtenu avec une concentration en polluant égale à 9 mg/L, une dose de charbon actif de 1.11 g/L pour un pH acide de 3 à température ambiante (25°C).

Mots clés: Adsorption, Tartrazine, Box-Behnken, Optimisation.

Abstract:

The discharges loaded with dyes pose two major problems, one aesthetic and the other linked to public health, hence the need for treatment.

In this work, the elimination of a dye (Tartrazine) by adsorption was optimized using the three-factor Box-Behnken design. We were able to establish a mathematical model very representative of the elimination of the pollutant with a difference of less than 5% with the experimental. The best yield 98.77% is obtained with a pollutant concentration equal to 9 mg / L, a dose of activated carbon of 1.11 g / L for an acidic pH of 3 at room temperature (25°C).

Keywords: Adsorption, Tartrazine, Box-Behnken, Optimization.