

**Université KASDI-MERBAH Ouargla**

**Faculté des sciences appliquées**

**Département de Génie des Procédés**



## **Mémoire**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine** : Sciences et Technologies.

**Filière** : Génie des Procédés.

**Spécialité** : Génie Chimique.

**Présenté par :**

**AIMENE SARA et KACHI AIDA**

**Thème :**

***Recyclage des matériaux biosorbants utilisé  
pour l'élimination de rouge Congo***

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Mr.	MAA	Président	UKM Ouargla.
Mr.	Pr	Examineur	UKM Ouargla.
Mr. Dr. Soulaf Ben Abdeslam	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.

**Année universitaire : 2019/2020**

# *Remerciement*

*Je remercie en premier lieu Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.*

*Nous remercions le professeur Dr. Ben Abdul Salam soulaf pour sa supervision et ses conseils*

*Nous remercions en particulier le Centre de recherche scientifique ou laboratoire de génie de l'eau et l'environnement en milieu sahrien de l'université kasdi merbah ouargla*

*Nous remercions tous nos professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours académique, qui nous ont fourni des informations*

*Aidez-nous à faire ce travail*





## *Dédicace*

*Louange et gratitude à Dieu, qui nous a permis de faire ce que nous voulons et qui a atteint, les fruits de nos efforts.*

*Aux honorables parents (Abdul Aziz et Khadija), que Dieu prolonge leur vie et leur offre plus de santé et de bien-être.*

*À tous les membres de ma famille et à ceux qui ont soutenu de près ou de loin.*

*À honorable et humble enseignant (Sulaf bin Abdul Salam), à qui nous demandons à Dieu.*

*À son succès et à son remboursement et à bénir ses pas.*

*À qui était bon et me soutenait en sa compagnie.*

*Et elle : a accompagné dans la préparation de ce travail (Sarah), que Dieu la protège ainsi que sa famille.*

*Aida*



## *Dédicace*

*Dédiez mon diplôme et mes parents généreux*

*Et à tous les membres de ma famille décente*

*Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin, qu'ils soient professeurs ou amis, que je suis fier de les connaître, ce sont les personnes les plus merveilleuses que j'ai rencontrées dans mon étude.*

*À :honorable et humble enseignant (Sulaf bin Abdul Salam), à qui nous demandons à Dieu.*

*À son succès et à son remboursement et à bénir ses pas.*

*À qui était bon et me soutenait en sa compagnie.*

*Et elle :a accompagné dans la préparation de ce travail*

*(Aida), que Dieu la protège ainsi que sa famille.*

*sara*

## Table des matières

Le titre	Page
Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Introduction générale	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les colorants</b>	
I -1-Généralités sur les colorants	3
I -2-Utilisation et application des colorants	3
I -3-Classification des colorants	4
I -3-1-Classification technologique ou (appellation usuelle)	4
I -3-2- Classification technique	4
I -3-2-1- Les colorants synthétiques	4
I -3-3- Classification chimique	5
I -3-4- Classification tinctoriale	7
I -4--Toxicités des colorants	10
I -4.1. Les dangers évidents	10
I -5-Les procédés d'élimination des colorants	10
I -5-1 Méthode biologique	11
I -5-2 Méthode physique	11
I -5-2-1 Adsorption sur les phases solides	11
I -5-2-2 La coagulation-floculation	11
I -5-2-3 Les techniques membranaires	12
I-5-3- Méthode chimique	12
I -6-Procédés classiques de traitement des colorants textiles	13
I -6-1. Procédés physiques	13
I -6-1-.1 Adsorption	13
I -6-1-2- Filtration membranaire	14
I -6-1-3-Coagulation/floculation	14
-6-2. Procédés chimiques	14
I -6-3-Procédés biologiques	14
I -7-Quelque types de colorants	15
I -7-1. Caractéristiques du colorant Rouge Congo	15
I -7-1.1. Description	15
I-7-1-2-Structure du colorant Rouge Congo	15
I -7-2-Caractéristiques du colorant Violet de Gentiane	16
I -7-2.1. Description	16
I-7-2-2-Structure du colorant violet de gentiane	16
I -7-3-Caractéristiques du colorant bleu de méthylène	17

I 7-3-1-Description de bleu de méthylène	17
I -7-3-2 Structure du bleu de méthylène	17
<b>Chapitre II : Généralités sur L'adsorption</b>	
II -adsorption	19
II -1-Introduction	19
II -2. Mécanisme d'adsorption :	19
II -3-Les types d'adsorption	19
II -3-1 Adsorption physique (physisorption)	19
II -3-2 Adsorption chimique (chimisorption)	19
II -4-Les Modèle d'adsorption	20
II -4-1- Modèle statiques	20
II -4-1-1-Modèle de Langmuir Langmuir	20
II -4-1-2-Modèle de Freundlich	21
II -4-1-3-Modèle de Temkin :	21
II -4-1-4-Modèle de Dubinin- Radushkevich (D-R)	21
II -4-2-Modèles d'adsorption en mode dynamique	22
II -4-2-1-Modèle de Bohart-Adams	22
II -4-2-2-Modèle de Wolborska	22
II -4-2-3-Modèle de Yoon-Nelson	23
II -5-.Les modèles cinétiques	23
II -5-1.Modèles cinétiques du pseudo premier ordre	23
II -5-2. Modèles cinétiques du pseudo deuxième ordre	23
II -6- Diffusion intra particulaire de modèle de soluté dans le solide	24
II -7-Facteurs influençant l'adsorption	24
<b>Chapitre III : Les Etudes précédentes</b>	
1- Elimination d'un colorant cationique dans une solution aqueuse par un déchet alimentaire : Epluchure de pomme de terre	27
III- 1-1-Introduction	27
III- 1-2-Les résultats	27
III- 1-2-1Effet du pH	27
III- 1-2-2-Effet de la température	27
III- 1-2-3-Effet de la masse	28
III- 1-2-4-Effet de temps de contact	28
III- 1-2-5-Effet de la concentration initiale	29
III-1-3-Conclusion	30
III- -2-Elimination du colorant rouge Congo du système aqueux à l'aide de graines de Phoenix dactylifera	30
III- 2-1-Introduction	30
III- 2-2- Résultats	30
III- 2-2- 1-Effet de la concentration initiale de colorant	30
III- 2-2-2effet du dosage de sorbant	31
III- 2-2-3 Effet du temps de contact	31
III- 2-2-4 Effet du pH	32

III- 2-2-5 Effet de la température	33
III-2-3-Conclusion :	
III- 3-Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes	34
III- 3-1-Introduction	34
III- 3-2-Résultats	34
III- 3-2-1-Effet du temps de contact	34
III-3-2-2-Effet de la concentration initiale en colorant VG	35
III-3-2-3Effet du pH	36
III- 3-2-4-Isothermes d'adsorption de VG	37
III- 3-3CONCLUSION	38
III- 4-Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bio adsorbant issu de déchets agricoles de Cucumeropsis mannii Naudin	39
III- 4-1-Introduction	39
III- 4-2-Résultats	39
III 4-2-1-Effet de la masse du bioadsorbant	39
III-4-2-2 Effet du temps d'adsorption	40
III- 4-2-3-Effet du pH sur le pourcentage d'adsorption et la capacité d'adsorption	42
III-4-3-Discussion	45
III- 4-3-1Effet de la masse de bioadsorbant sur l'adsorption	45
III- 4-3-2-Effet du temps de contact sur l'adsorption	45
III- 4-4-Conclusion	46
Conclusion Général	48
Référence Bibliographique	50
Résumé	

## *Liste des tableaux*

Titre de tableau	Page
Tableau.1-1-. Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante	3
Tableau I-2- Propriétés du Rouge Congo.	15
Tableau I-3- Propriétés du Violet de Gentiane	16
Tableau I-4-Propriétés du de bleu de méthylène	17
Tableau III- 01 : paramètres opératoires et optimales du procédé d'élimination de BM	29
Tableau III -2-paramètres opératoires et optimales du procédé d'élimination CR	33
Tableau III- 3 Paramètres des vitesses et les coefficients de corrélation	38
Tableau III-4: Capacités ultimes d'adsorption, pourcentage d'adsorption et temps d'équilibre d'adsorption pour différentes masses de bioadsorbant BCM	41
Tableau III-5.Capacités ultimes d'adsorption, pourcentage d'adsorption et temps d'équilibre d'adsorption pour différents pH des solutions de BM.	44



## Liste des Figure

<b>Titre de Figure</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1:</b> Structure du colorant Rouge Congo	15
<b>Figure I-2-:</b> Structure du colorant violet de gentiane	16
<b>Figure I-3-Structure du bleu de méthylène</b>	17
<b>Figure III – 1-1</b> Effet du pH du milieu sur l'élimination du BM	27
<b>Figure III-1-2</b> Effet de la température sur l'élimination du BM	28
<b>Figure III-1-3</b> Effet de la masse des EPT sur l'élimination du BM	28
<b>Figure III-1-4</b> Effet de temps de contact sur l'élimination du BM	29
<b>Figure III-1-5.</b> Effet de la concentration initiale en BM sur l'élimination	29
<b>Figures III-2-1</b> Effet de concentration	31
<b>Figure III-2-2.</b> Effet de Dosage du sorbant	31
<b>Figure III-2-3.</b> Effet de temps de contact	32
<b>Figure III -2-4</b> Effet de PH	32
<b>Figure III -2-5</b> Effet de température	33
<b>Figure III -3-1-</b> Effet du temps de contact sur le taux d'adsorption de VG par K08, KC et KS	35
<b>Figure III -3-2-.</b> Effet de la concentration initiale en colorant VG sur l'adsorption par K08, KC et KS sur l'adsorption par K08, KC et KS	35
<b>Figure III -3-3.</b> Effet de pH sur la rétention de VG par K08, KC et KS	36
<b>Figure III -3-4-</b> Isothermes d'adsorption du VG sur les argiles (K08), (KC) et (KS)	37
<b>Figure III -3-5.</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption du premier ordre du VG sur K08, KC et KS	37
<b>Figure III -3-6.</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption du second ordre du VG sur K08, KC et KS	38
<b>Figure III -4-1.</b> Evolution de $Q_m$ en fonction de la masse de BA.	39
<b>Figure III -4-2-.</b> Evolution de la capacité d'adsorption en fonction de la masse du bioadsorbant	40
<b>Figure III -4-3.</b> Evolution de la concentration réduite de BM en fonction du temps pour différentes masses de bioadsorbant.	41
<b>Figure III -4-4-.</b> Evolution du pourcentage d'adsorption en fonction du temps	41

pour différentes masses du bioadsorbant.	
<b>Figure III.</b> 4-5. Evolution de la concentration réduite en fonction du temps à différents pH.	42
<b>Figure III</b> -4-6 Evolution de la capacité d'adsorption en fonction du temps à différents pH	42
<b>Figure III</b> -4-7-. Evolution de la concentration réduite en fonction du temps à différents pH	43
<b>figureIII</b> -4-8. Evolution du pourcentage d'adsorption en fonction du temps à différents pH.	43
<b>Figure III</b> -4-9-Evolution de la capacité d'adsorption en fonction du temps à différents pH.	43
<b>Figure III</b> -4-10. Evolution du % d'adsorption en fonction du pH	44
<b>Figure III -4-11.</b> Evolution de la Capacité d'adsorption en fonction du pH.	44

## *Liste des abréviations*

<b>DCO</b>	La demande chimique en oxygène
<b>H2O2</b>	Le peroxyd d'hydrogène
<b>O2)</b>	Dioxygène
<b>O3</b>	L'ozone
<b>UV</b>	Ultra violet
<b>TiO2</b>	Oxydation titaniom
<b>Ph</b>	Le potentiel hydrogène
<b>RC</b>	Rouge congo
<b>VG</b>	violet de gentiane
<b>BL</b>	Blu méthyle
<b>(D-R</b>	Dubinin- Radushkevich
<b>Qe</b>	la quantité desoluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)
<b>Qmax</b>	la capacité maximale d'adsorption (mg/g)
<b>KL:</b>	la constante de Langmuir (L./mg)
<b>Ce</b>	la concentration du soluté à l'équilibre dans la solution (mg/L).
<b>KF</b>	constant de frandlich caractéristique de l'efficacité d'un adsorbant
<b>Ct</b>	la concentration de sortie du soluté en (mg/l)
<b>C0</b>	La concentration initiale du soluté en solution en (mg/l) ;
<b>Qt :</b>	quantité adsorbée (mg/g) par unité de masse de l'adsorbant à l'instant t ;
<b>K2</b>	constante des vitesse du second ordre [mg/(g.min)];
<b>T</b>	Température
<b>K1</b>	constante de vitesse du pseudo premier ordre (min-) ;
<b>KBA</b>	la constante cinétique du modèle en (L/mg. min) ;
<b>N0</b>	la concentration de saturation du modèle en (mg/l)
<b>F</b>	la vitesse linéaire en (cm/min) ;
<b>Z</b>	la hauteur du lit adsorbant en (cm).
<b>t</b>	le temps d'écoulement (min).
<b>τ</b>	Temps requis pour maintenir 50% de la percée, calculé à partir du modèle de Yoon- Nelson(min).
<b>ε</b>	du potentiel de Polanyi
<b>KYN</b>	t la constante de vitesse du modèle (min-1)
<b>Kdiff</b>	constante des vitesse diffusion intra particulaire [mg/(g.min)

# ***Introduction générales***

## **Introduction générales**

L'accroissement du nombre de sites industriels et des activités humaines a généré des quantités de déchets émises dans la nature sous différentes formes (solide, liquide et gaz) qui ont un effet néfaste sur l'environnement

Parmi ces polluants ; les colorants. Les colorants peuvent contenir des groupements fonctionnels, naturels ou bien provenant de réactions chimiques ou de synthèse. Ces derniers présentent de nombreuses applications dans différents domaines comme par exemple la teinture et impression sur fibre et tissus de tous genres, les colorations des denrées alimentaires, les colorants pour les emplois médicaux et cosmétiques. Pour leurs majorité, ces colorants sont des composés difficilement biodégradables, ils sont reconnus, toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux.

La réduction voire l'élimination de ces colorants est donc nécessaire étant donné la toxicité avérée de certains d'entre eux.

Des procédés de traitement biologiques (traitement aérobie et anaérobie), physiques (filtration membranaire, méthodes de séparations solide-liquide : précipitation, coagulation, floculation et décantation) et chimiques (résine échangeuse d'ions, oxydation par : oxygène, ozone,...) ont été employés pour réduire la concentration en colorants dans les rejets. Toutefois l'impact et l'efficacité de ces traitements sont restés limités du fait de leurs coûts onéreux et du fait du faible degré de biodégradabilité de la majorité des colorants.

Le procédé d'adsorption est l'une des méthodes qui ont exhibé une grande rentabilité pour l'élimination des contaminants de nature différente notamment les polluants organiques (pesticides, colorants, composés phénoliques...), les métaux lourds (cadmium, plomb, mercure...).

Dans ce travail, nous avons présenté une synthèse des travaux ultérieurs sur l'adsorption des colorants sur des matériaux organiques (déchets organiques) à faible coût.

Ce travail est réparti en trois chapitres :

- ❖ Dans le premier chapitre, on a rassemblé quelques généralités sur les colorants ainsi que leurs types et leur utilisation. On a parlé aussi des différents procédés d'élimination des colorants.
- ❖ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de l'adsorption ; les types et les modèles d'adsorption, facteurs influençant l'adsorption.
- ❖ Dans le troisième chapitre on a donné une synthèse bibliographique des études précédentes sur l'adsorption des colorants par les déchets organiques.

# ***Chapitre I :***

*Généralités sur les colorants*

## Les colorantes

### I. -1-Généralités sur les colorants[1]

Les colorants sont des substances organiques de synthèse appartenant à diverses familles, en particulier les diazoïques, les phtaléines et les dérivés du triphénylméthane il s'agit de substances régentées par les industries textiles et les officines de nettoyage. Ils sont peu ou pas biodégradables et résistent bien au traitement classique d'épuration. Ils créent surtout un certain nombre d'entre eaux mutagène et cancérogènes.

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophore. La molécule colorant étant le chromogène. Plus la facilité du groupe chromophore à donner un électron est grande plus la couleur sera intense (groupes chromophores classés par intensité décroissante dans le tableau I-1). D'autre groupes d'atomes du chromogènes peuvent intensifier ou change la couleur due au chromophore se sont les groupes aux chromes

**Tableau.1-1-** Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante

Groupes Chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-)	Amine (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-N(CH <sub>3</sub>
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyl (-CH=CH-)	Hydroxyl (-OH)
Nitro (-NO <sub>2</sub> )	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Donneurs d'électrons (-Cl)

### I. -2-Utilisation et application des colorants [2]

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 médicale ...).
- ❖ -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).

## **I. -3-Classification des colorants [3]:**

### **I. -3-1-Classification technologique ou (appellation usuelle) :**

La classification technologique permet à l'utilisateur de connaître le mode d'application du colorant, et donc ses domaines d'utilisation, ses propriétés (solubilité, affinité pour tel type de fibres ou matériaux, nature de la fixation ...). Il est souvent difficile de connaître la composition chimique des colorants car la confidentialité sur la composition chimique est généralement préservée. Cette classification comprend trois éléments:

- Le nom générique de la classe d'application ;
- La couleur ;
- Le numéro d'ordre chronologique d'inscription au " colore index "

### **I. -3-2- Classification technique :**

Les colorants utilisés dans l'industrie textile contiennent habituellement des groupes acides sulfoniques qui leur confèrent une hydrosolubilité appropriée et qui permettent à la molécule du colorant de se lier ioniquement aux sites chargés du réseau polymérique du tissu

On peut classer les colorants organiques en deux catégories suivant leur synthèse :

- Colorants naturels
- Colorants synthétiques.

#### **I -3-2-1- Les 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 sont de plus en plus utilisés dans les industries de coloration et des textiles grâce à leur synthèse assez facile, à leur production rapide et à la variété de leurs couleurs comparées aux colorants naturels La dénomination des colorants commerciaux est loin de présenter la rigueur de celle des composés chimiques parce que, d'une part ce ne sont généralement pas des produits purs et que, d'autre part, les fabricants préfèrent très souvent ne pas en divulguer la composition exacte. Cela a conduit, sous une



inspiration poétique, à baptiser les premiers colorants de noms de plantes (mauvéine, fushine, garance, etc.) puis de noms de minerais (vert malachite, auramine, etc.). Par la suite, ils furent désignés selon la constitution chimique du composé de base (bleu de méthylène, noir d'aniline, vert naphthalène, etc.).

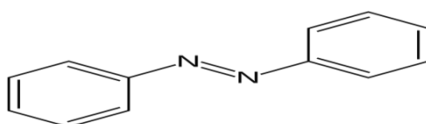
Actuellement, les fabricants de matières colorantes déposent des marques protégées qui ne donnent aucune indication sur la structure, mais caractérisent la nuance et les procédés d'application. Ainsi, chaque colorant est désigné par sa couleur, sa marque commerciale et un code qui permet d'insister sur une nuance (par exemple : R = red ; Y = Yellow ou G = green ; B = Blue ; 2B = more Blue, etc.) ou une qualité (L = résistant à la lumière).

### I. 3-3- Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore :

#### ➤ Les colorants azoïques:

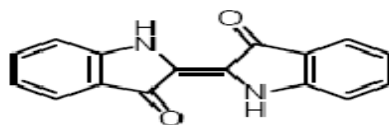
Les colorants "azoïques" sont caractérisés par le groupe fonctionnel azo (-N=N-) unissant deux groupements alkyles ou aryles identiques ou non (azoïque symétrique et dissymétrique). Ces structures qui reposent généralement sur le squelette de l'azobenzène, sont des systèmes aromatiques où pseudo-aromatiques liés par un groupe chromophore azo



**Exemple de colorant Azoïque**

#### ➤ Les colorants indigoïdes

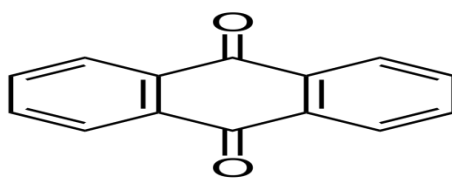
Ils tirent leur appellation de l'Indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénié, soufré et oxygéné du Bleu Indigo provoquent d'importants effets hypsochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise.



**Exemple de colorant indigoïdes**

#### ➤ Les colorants anthraquinoniques

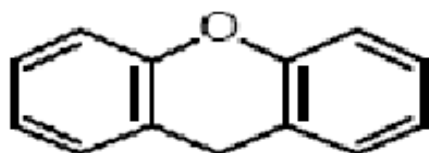
D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines \_\_



Exemple de colorant anthraquinonique

➤ **Les colorants xanthènes**

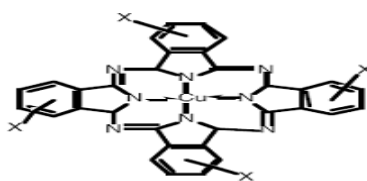
Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine. Peu utilisé en tant que teinture, la faculté de marqueurs lors d'accident maritime où des traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie



Exemple de colorant xanthènes

➤ **Les phtalocyanines**

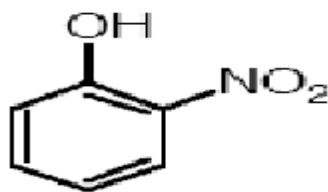
Ils ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.).



Exemple de colorant phtalocyanines

➤ **Les colorants nitrés et nitrosés**

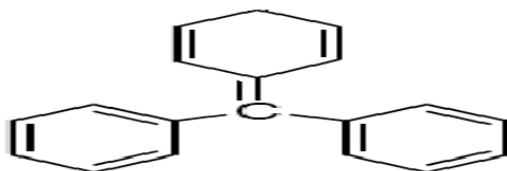
Ces colorants forment une classe très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés).



### Exemple de colorant nitré

#### ➤ Les colorants triphénylméthanés

Les triphénylméthanés sont des dérivés du méthane pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles substitués dont au moins un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote en para vis-à-vis du carbone méthanique. Le triphénylméthane et ses homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux d'où dérivent toute une série de matières colorantes.



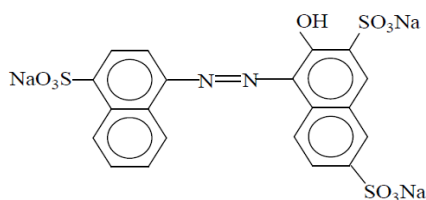
### Exemple de colorant triphénylméthane

#### I. -3-4- Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant - substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes

#### ➤ Les colorants acides ou anioniques

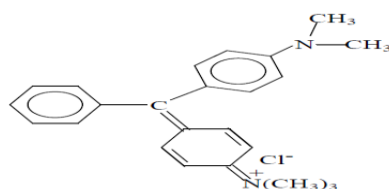
Ils sont solubles dans l'eau, grâce à leurs groupes sulfonates ou carboxylates sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant - fibre est le résultat de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



### Colorant C.I. Acid red 27

#### ➤ Les colorants basiques ou cationiques

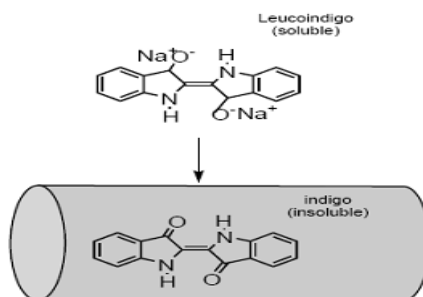
Ce sont des sels d'amines organiques, donc ayant une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En passe de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et très résistantes



### Colorant CI Basic green 4

#### ➤ Les colorants de cuve

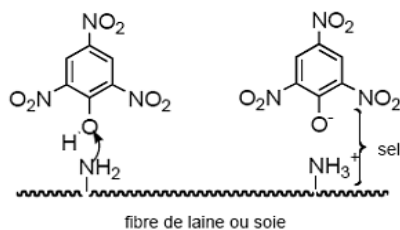
Ils sont insolubles et doivent être transformés en leuco-dérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation, in situ, du colorant sous sa forme insoluble initiale. De plus réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, ils sont encore utilisés, à l'image de l'indigo, pour la teinture des articles jean ou daim.



### Colorant de cuve

#### ➤ Les colorants directs

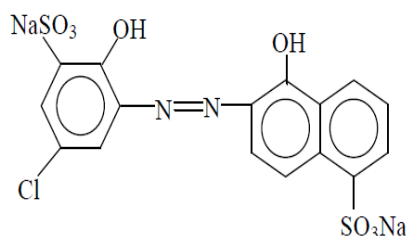
Ils sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule.



### Colorant direct

#### ➤ Les colorants à mordants

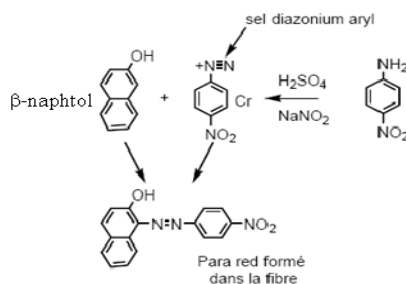
Ils contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.



### Colorant C.I.mordant bleue 9

#### ➤ Les colorants développés ou azoïques insolubles

Ces colorants sont formés directement sur la fibre. Au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphthol ou copulant. Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres, sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui par réaction de copulation, entraîne le développement immédiat du colorant azoïque.



### Colorant Azoïque insoluble

#### ➤ Les colorants réactifs[4]

Les colorants réactifs font partie des groupes de colorants largement utilisés pour colorer les fibres cellulosiques, en particulier les tissus en coton. En raison de leur plus grande tendance à réagir avec

l'eau par rapport aux hydroxyles présents dans les fibres de coton, la stabilisation des colorants sur les fibres est faible, alors que de grandes quantités pénètrent librement dans les eaux usées

➤ **Les colorants dispersés[5]**

Ces colorants sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer. [5] Lamri Naidja : Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption, Mémoire de magister en chimie, Université Mentouri de Constantine, (2010)

**I. -4--Toxicités des colorants [6]**

Un colorant est toxique lorsqu'il possède la capacité de modifier le code génétique des cellules humaines et de déclencher potentiellement des effets cancérogènes

**I. 4.1. Les dangers évidents**

- **Eutrophisation:** Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux

Stagnantes

- **Sous-oxygénation:** Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. Higarashi et Jardim. (2002) estiment que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau.

- Couleur, turbidité, odeur: l'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales. Willmott et al. (1998) ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain partir de  $5 \times 10^{-6}$  g L<sup>-1</sup> de colorant. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

**I. -5-Les procédés d'élimination des colorants[7]**

L'utilisation intense et irrationnelle des colorants et l'énorme risque que représente pour la qualité de l'environnement et pour la santé humaine, ont été à l'origine de plusieurs travaux

visant l'élimination de ces polluants. Des procédés biologique, physique et chimique ont été développés pour éradiquer ces colorants des milieux aquatiques.

### **I. -5-1 Méthode biologique**

Cette méthode consiste à décomposer les polluants organiques présents dans l'eau par des microorganismes. On distingue deux modes pour ce type de traitement :

- Mode de traitement aérobie qui se déroule dans un bassin constitué de boues actives sur lesquelles les polluants organiques vont subir une biodégradation par les bactéries et les autres microorganismes. Après épuration, la boue est séparée des eaux usées par sédimentation dans un décanteur, une partie est recyclée et le surplus est évacué après pressage ou centrifugation. Cette opération se caractérise par une efficacité vis-à-vis de certains polluants organiques. Par contre les colorants possédant une structure chimique complexe et un poids moléculaire important tels que les azoïques, les colorants acides et les colorants réactifs exhibent une forte résistance à la biodégradation

- Le mode de traitement anaérobie est basé sur la dégradation des polluants organiques par des microorganismes en absence d'oxygène. Il conduit à la formation du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. Ce mode de traitement présente une efficacité important pour la décoloration des effluents particulièrement ceux qui ont une DCO relativement élevé. Par contre pour certains colorants notamment les azoïques, la dégradation anaérobie provoque la formation des amines qui sont plus toxique que les composés initiaux

### **I. -5-2 Méthode physique**

#### **I. -5-2-1 Adsorption sur les phases solides**

L'adsorption sur les phases solides est une méthode qui a donné des résultats prometteurs pour l'élimination des colorants. De nombreux matériaux ont montré des 30 capacités considérables de rétention de ces polluants. Le charbon actif est parmi les adsorbants le plus utilisé sa surface spécifique importante riche en sites actifs permet d'adsorber la plupart des Cependant, cette famille de matériaux reste onéreuse et difficile à régénérer d'où la nécessité de trouver d'autres alternatives. Rafatullah et al ont répertorié dans une mise au point, les différents adsorbants de faible coût utilisés pour adsorber le bleu de méthylène. Parmi ces supports on sites les argiles, les bio- adsorbants et les déchets solides agricoles.

#### **I. -5-2-2 La coagulation-floculation**

Le principe de cette méthode est expliqué dans la section Plusieurs travaux se sont intéressés à l'utilisation de cette technique pour réduire le pourcentage des colorants dans les eaux usées. Tan et al. l'ont appliquée pour le traitement des colorants réactifs et les effluents industriels en utilisant  $MgCl_2$  comme coagulant. Les résultats trouvés montrent l'influence du pH sur la

coagulation. Un taux maximum d'élimination a été détecté à pH compris entre 10 et 11. Kim et al. ont utilisé le chlorure ferrique comme coagulant et ils ont montré une grande capacité d'élimination des matières colorantes surtout pour les colorants dispersés. Sanghi et al. ont utilisé un coagulant naturel extrait à partir des plantes et ils ont conclu que le pH, la dose du coagulant et la structure des matières colorantes ont une grande influence sur l'efficacité de cette opération.

L'électrocoagulation est un procédé électrochimique de la coagulation. Son principe est expliqué en section. Yang et McGarrahan ont montré son efficacité pour l'élimination des colorants qui sont caractérisés par une structure chimique très complexe comme les colorants azoïques et les colorants anthraquinoniques.

### **I. -5-2-3 Les techniques membranaires**

Le principe de ce procédé a été introduit dans la section, On distingue quatre types de membranes utilisées pour l'élimination des colorants synthétiques. Elles sont appliquées dans la microfiltration, la nanofiltration, l'osmose inverse et l'ultrafiltration. La microfiltration est généralement utilisée pour la rétention des colorants dispersés ou de cuve (insoluble dans l'eau L'ultrafiltration est généralement utilisée pour la purification de l'eau souterraine. Elle possède une grande efficacité en combinaison avec la méthode coagulation/floculation. Petrova et stoychev ont expérimenté cette technique pour la rétention des colorants bifonctionnels. La nanofiltration donne souvent des taux d'élimination importants des colorants présents dans des effluents de l'industrie textile. Le taux de 31

### **1-5-3- Méthode chimique**

Les techniques chimiques d'oxydation sont généralement appliquées pour le traitement des eaux usées contenant des polluants non biodégradables et aussi pour les polluants organiques dangereux présents en faible concentration. On distingue deux types d'oxydation : l'oxydation classique et l'oxydation avancée.

- Le procédé d'oxydation classique consiste à ajouter un agent oxydant dans l'eau à traiter. Parmi les oxydants les plus utilisés, on trouve le chlore, le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), l'oxygène ( $O_2$ ) et l'ozone ( $O_3$ ). Il s'est avéré que ce procédé est parfois insuffisant pour éliminer certains colorants persistants. En outre l'utilisation des agents comme le chlore peut engendrer la formation des sous produits cancérigène pour l'homme.

- Le procédé d'oxydation avancée est basé sur la génération d'un radical  $\bullet OH$  qui est un oxydant très fort ( $E^\circ = 2,8 \text{ V/ESH}$  à  $25^\circ C$ ) et très réactif capable d'oxyder des contaminants organiques qui sont réfractaires. Ci-dessous les principales méthodes de génération de ce radical :



- Procédé Fenton ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) : Ce procédé est une combinaison de  $\text{H}_2\text{O}_2$  et de  $\text{Fe}^{2+}$  (réactif fenton). Il en résulte la formation du radical hydroxyle. Selon de nombreuses études ce procédé possède une grande efficacité pour l'élimination des colorants synthétiques. Mais il est influencé par plusieurs paramètres comme le temps de contact, la température, la concentration en peroxyde d'hydrogène et en fer et le pH

- Peroxonation ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ) : La décomposition de l'ozone ( $\text{O}_3$ ) en présence du peroxyde d'hydrogène favorise la formation du radical hydroxyle. Ce procédé est considéré plus efficace que l'ozonation simple. Il est capable de fonctionner même dans les eaux de forte turbidité. Mais son efficacité est tributaire de la nature du pollua

- Photolyse du peroxyde d'hydrogène ( $\text{UV}-\text{H}_2\text{O}_2$ ) : ce procédé consiste à irradier le peroxyde d'hydrogène par des rayons UV (longueurs d'onde UV de 200 à 280 nm) afin de générer le radical hydroxyle. Shu et al. ont étudié l'élimination des colorants azoïques par la combinaison des rayonnements UV avec  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Ils ont atteint une décoloration de 90% de ce colorant après seulement 20 min de traitement. Pour avoir une efficacité suffisante de l'oxydation des polluants par ce procédé, il est nécessaire d'opérer à une dose élevée en  $\text{H}_2\text{O}_2$  et aussi en intensité de la lumière UV. Le pH du milieu doit être optimisé afin d'éviter la formation de précipités, Photocatalyse du peroxyde d'hydrogène

( $\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) : Plusieurs facteurs sont à l'origine de la large utilisation du  $\text{TiO}_2$  comme photocatalyseur tels que son faible coût et son stabilité aussi bien en milieu acide qu'en milieu basique. En outre, ce semi-conducteur est biologiquement et chimiquement inerte. Zhang et al. ont appliqué ce procédé pour l'élimination du bleu de méthylène avec un pourcentage de décoloration de 98% après seulement 10 s de traitement

## I. 6-Procédés classiques de traitement des colorants textiles[8]

### I. -6-1. Procédés physiques

#### I. 6-1-1 Adsorption

C'est la méthode la plus utilisée dans le traitement des eaux usées, elle est basée sur le contact entre l'effluent et la poudre ou les granules poreux, tels que le charbon actif, l'argile, déchets agricoles et les grignons d'olive

La capacité de décoloration par adsorption sur charbon actif est maximal pour les colorants cationiques à mordant et les colorants acides, tandis qu'elle est très faible pour les colorants dispersés, directs, réactifs et les pigments. Chapitre II Procédés de traitement des colorants textiles Comme les colorants ne sont pas tous ioniques, la plupart des adsorbants ne peuvent pas réduire tout les colorant

Toutefois, cette technique présente l'inconvénient du fait que la pollution déplace de l'état liquide à l'état solide. De plus, ces techniques, non destructives, nécessitent des opérations postérieures et onéreuses de régénération et de post traitement des déchets solides

#### **I -6-1-2- Filtration membranaire**

Les différentes techniques de filtration peuvent être appliquées comme procédés principaux ou après traitement pour la séparation et la purification des effluents colorés

- ✓ L'osmose inverse et la nanofiltration peuvent enlever les colorants réactifs hydrosolubles.
- ✓ La microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une membrane écran.
- ✓ L'ultrafiltration s'applique à la réduction de la DCO et des solides en suspension, et ne se montre réellement efficace qu'en prétraitement ou en combinaison avec d'autres traitements.

#### **I -6-1-3-Coagulation/floculation**

Cette technique de traitement physico-chimique est utilisée pour enlever davantage la DCO et la couleur avant un traitement biologique. Ce procédé est basé sur l'addition d'un coagulant qui avec les polluants organiques forme des floes. Ces floes sont ensuite éliminés par décantation et filtration .

### **I. -6-2. Procédés chimiques**

Ces procédés s'appliquent aux colorants en faible concentration et qui résistent aux traitements de biodégradation. L'oxydation et la réduction sont les méthodes chimiques les plus connues. Les réactifs les plus utilisés pour le traitement d'oxydation sont H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub>, NaOCl et MnO<sub>4</sub>, et pour la réduction, le Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. L'oxydation chimique conduit à la destruction ou la décomposition de la molécule du colorant. Procédés de traitement des colorants textiles

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, et les colorants dispersés. Dans ce cas, on fait appel aux procédés d'oxydation avancée.

### **I. -6-3-Procédés biologiques**

Les procédés d'épuration par voie biologique sont basés sur la biotransformation microbienne des colorants. Des recherches ont démontré la biodégradation partielle ou complète des colorants par des cultures des bactéries, des fungi et des algues. Par ailleurs, le traitement biologique pour la dégradation des effluents textiles peut être aérobie, anaérobie ou combiné selon le type de micro-organisme utilisé. La rétention dépasse les 97%. L'osmose inverse est la technique la plus répandue en relation avec son efficacité vis-à-vis de la rétention de matières colorantes

## I. 7-Quelque types de colorants :[9]

### I-7-1. Caractéristiques du colorant Rouge Congo

#### I-7-1.1. Description

Le Rouge Congo (RC) a été découvert en 1884 par un chimiste allemand, BÖTTIGER, il a été utilisé pour la coloration des textiles, papier, plastique, en impression, etc Il a été utilisé aussi très vite en histologie avec beaucoup de succès pour la coloration des cellules éosinophiles, des dépôts pathologiques de protéines, des cellules des muqueuses gastriques, de la kératine, des os embryonnaires, du ciment des jeunes dents, des parois cellulaires d'algues filamenteuses, des polysaccharides... . En mycologie, c'est un colorant universel convenant spécialement pour les parois .

Ce colorant qui fait partie de la catégorie des polyazoïques parce qu'il possède deux chromophores (région de la molécule qui est principalement responsable de la teinte) de type azoïque, c'est-à-dire formés chacun de deux atomes d'azote doublement liés, et diversement substitués (Figure I.1). C'est un colorant anionique, c'est-à-dire qu'il a tendance à se fixer préférentiellement sur les sites positifs.

#### I-7-1-2-Structure du colorant Rouge Congo

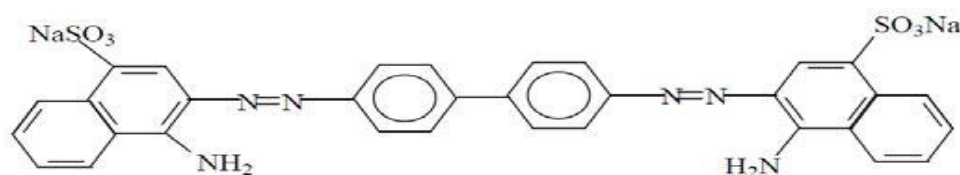


Figure I.1: Structure du colorant Rouge Congo

Tableau I-2- Propriétés du Rouge Congo.

Nom chimique	3,3'-[[1,1'-biphényl]-4,4'-diylbis(azo)]bis(4 aminonaphtalène-1-sulfonate) de disodium
Nombre de C.A.S	573-58-0
Index de Couleur : C.I.	22120
Synonyme	Direct Red 28
Formule chimique	C <sub>32</sub> H <sub>22</sub> N <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S <sub>2</sub>
Poids moléculaire (g.mol <sup>-1</sup> )	696.663
λ <sub>max</sub> (nm)	497

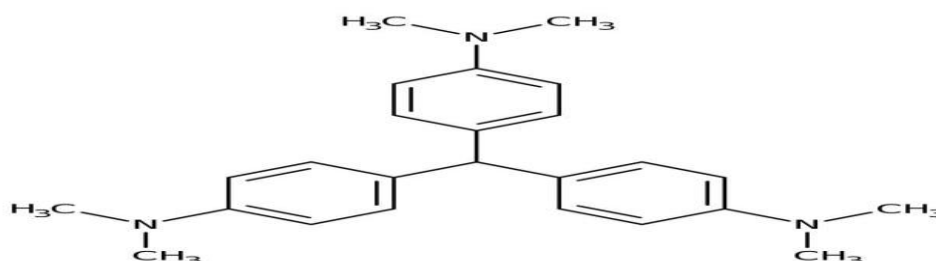
## I-7-2-Caractéristiques du colorant Violet de Gentiane

### I-7-2.1. Description

Le cristal violet ou violet de gentiane (VG), également connu sous les noms de : violet de méthyle 10B, le chlorure de pararosanine hexaméthyl ou pyoctanin, est un colorant triphénylméthane du groupe des rosanilines (Figure I.2). Le nom de «violet de gentiane" a été utilisé à l'origine pour un mélange de colorants Pararosanine (violet de méthyle), mais il est maintenant souvent considéré comme un synonyme de cristal violet. Le nom fait référence à sa couleur, étant semblable à celle des pétales d'une fleur de gentiane, il n'est pas fait de gentiane ou de violette.

Le colorant est largement utilisé comme teinture pourpre dans l'industrie textile pour la teinture du coton et de la soie. Il trouve également une application dans la fabrication des peintures et encres d'imprimerie

### I-7-2-2-Structure du colorant violet de gentiane



**Figure I-2-:** Structure du colorant violet de gentiane

Dans la communauté médicale, il est utilisé comme colorant histologique dans le procédé de classification des bactéries de Gram. Et suite à ses propriétés antibactériennes, antifongiques, vermifuges et antiseptiques, il est utilisé comme un agent bactériostatique, dans les médicaments destinés aux comme un désinfectant de la peau externe chez l'homme et comme additif pour l'alimentation des volailles pour empêcher la propagation des moisissures, des parasites intestinaux et les champignons

**Tableau I-3- Propriétés du Violet de Gentiane**

<b>Nom chimique</b>	<b>chlorure de 4-[4,4'-bis(diméthylamino)benzhydrylidène]cyclohexa-2,5-dien-1-llidène]diméthylammonium</b>
<b>Nombre de C.A.S</b>	548-62-9
<b>Index de Couleur : C.I</b>	42555
<b>Synonyme</b>	Basic violet 3, le violet de méthyle 10B
<b>Formule chimique</b>	C <sub>25</sub> H <sub>30</sub> CIN <sub>3</sub>
<b>Poids moléculaire (g.mol-1)</b>	407,979
<b>λ<sub>max</sub> (nm)</b>	592

### I-7-3- Caractéristiques du colorant bleu de méthylène

#### I 7-3-1-Description de bleu de méthylène 10]

Le bleu de méthylène a été choisi comme colorant modèle pour évaluer les performances d'adsorption et de dégradation des matériaux. Le chlorure de méthylthionium (ou 3,7-bis-(diméthylamino) phenazathionium) connu sous l'appellation bleu de méthylène est un colorant cationique, basique, synthétique et azinique dont la formule est représentée dans . Il est très utilisé comme colorant modèle.

#### I -7-3-2 Structure du bleu de méthylène



Figure I-3-Structure du bleu de méthylène

Tableau I-4-Propriétés du de bleu de méthylène

<b>Propriétés</b>	
<b>Nomenclature commune</b>	Bleu de méthylène
<b>Nomenclature générique</b>	Basic Blue
<b>Couleur inde</b>	52015
<b>N° CAS</b>	61-73-4
<b>Formule chimique</b>	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> N <sub>3</sub> SCl
<b>Masse molaire</b>	319,85 g/mol
<b>Longueur d'onde (λ<sub>max</sub>)</b>	664 nm

***Chapitre II :***  
***Généralités sur L'adsorption***

## **II. adsorption**

### **II. 1-Introduction : [11]**

L'adsorption est un phénomène d'interface pouvant se manifester entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. Le support solide est l'adsorbant, tandis que le composé adsorbé est appelé adsorbat. Le processus d'adsorption se poursuit jusqu'à l'obtention d'un équilibre auquel correspond une concentration d'équilibre du soluté. La concentration du soluté adsorbé, est donc liée à la concentration résiduelle du soluté.

### **II. 2. Mécanisme d'adsorption :**

L'équilibre d'adsorption d'un mélange liquide est atteint plus ou moins rapidement selon la vitesse d'adsorption. On admet que se sont les étapes du transfert de matière externe et interne qui imposent la vitesse globale d'adsorption:

- Le transfert de masse externe, impliquant le transfert et la diffusion de l'adsorbât au travers du film liquide vers la surface de l'adsorbant;
- Le transfert de masse interne, qui implique la pénétration de l'adsorbât dans le système poreux de l'adsorbant;
- L'adsorption proprement dite.

Si l'adsorbant n'est pas poreux, c'est l'étape du transfert de masse externe qui contrôle la vitesse d'adsorption, cependant, si l'adsorbant est poreux, ce qui est le cas le plus souvent, c'est l'étape de transfert de masse interne qui limite la vitesse d'adsorption.

### **II. 3-Les types d'adsorption :[12]**

- Adsorption physique "physisorption"
- Adsorption chimique "chimisorption".

#### **II. 3-1 Adsorption physique (physisorption):**

L'adsorption physique est un phénomène réversible gouverné par des forces attractives de nature physique, comprenant les forces de Van Der Waals. Ces forces ne détruisent pas l'individualité des molécules adsorbées et lorsqu'elles opèrent, elles correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de 40 kcal par mole. Ce phénomène consiste essentiellement en la condensation de molécules sur la surface du solide, il est favorisé par un abaissement de la température

#### **II. 3-2 Adsorption chimique (chimisorption) :**

L'adsorption chimique est un phénomène irréversible géré par des interactions chimiques qui provoquent un transfert ou une mise en commun d'électrons entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. On assiste donc à une destruction de l'individualité des molécules

adsorbées et la formation de nouveaux composés à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie élevée variant de 40 à 200 kcal par mole

Il est à noter qu'un grand nombre de processus d'adsorption fait intervenir les deux types d'adsorption, et qu'il n'est pas facile de les distinguer. En fait, la limite entre les deux types d'interaction n'est pas aussi précise, d'autant plus que lorsque les sites d'adsorption sont hétérogènes, les deux modes d'adsorption peuvent coexister. Il apparaît donc que la limite supérieure de 40 kcal/mole habituellement fixée pour la physisorption ne peut être considérée que comme une valeur approximative

## II. 4-Les Modèles d'adsorption : [13]

- ❖ Modèle statiques
- ❖ Modèles d'adsorption en mode dynamique

### II. 4-1- Modèle statiques :

**II. 4-1-1-Modèle de Langmuir Langmuir :** fut le premier à proposer une relation entre la quantité d'un gaz adsorbé et sa pression d'équilibre. Langmuir définit l'équilibre d'adsorption comme un processus dynamique entre les molécules arrivant à la surface et celles quittant la surface. L'équation de Langmuir est fondée sur les hypothèses suivantes :

- L'adsorption est localisée et ne donne lieu qu'à la formation d'une monocouche ;
- Tous les sites d'adsorption énergétiquement équivalents et la surface est uniforme ;
- Une seule molécule peut s'adsorber par un site ;
- Il n'y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées. L'équation de Langmuir s'écrit :

Forme non linéaire	Forme linéaire
$Q_e = \frac{K_L Q_{\max} C_e}{1 + K_L C_e}$	$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K_L Q_{\max}} + \frac{C_e}{Q_{\max}}$

$Q_e$  : est la quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)

$Q_{\max}$  : la capacité maximale d'adsorption (mg/g)

$K_L$  : la constante de Langmuir (L./mg)

$C_e$  : la concentration du soluté à l'équilibre dans la solution (mg/L).

Les valeurs de  $K_L$  et  $Q_{\max}$  peuvent être déterminées à partir de la pente et de l'ordonnée à

l'origine de la droite de  $\frac{1}{Q_e} = f\left(\frac{1}{C_e}\right)$



**II. 4-1-2-Modèle de Freundlich :** L'isotherme d'adsorption de Freundlich repose sur les hypothèses suivantes :

- Les sites actifs ont des niveaux d'énergie différents,
- Chaque site actif peut fixer plusieurs molécules,
- Le nombre de sites actifs n'est pas déterminé.

L'équation empirique de Freundlich est aisément linéarisable

-Forme non linéaire	Forme linéaire
$Q_e = K_F C_e^{1/n}$	$\log Q_e = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_e$

$K_F$  (L/g) et  $n$  (sans dimension) étant deux constantes,  $n < 1$

Le graphe décrivant  $(\log Q_e) = f(\log C_e)$  donne une droite de pente  $1/n$ , dont l'ordonnée à l'origine est  $\log K_F$ . Selon cette équation, l'isotherme possède une pente infinie à l'origine et ne comporte pas de plateau strict de saturation. Le paramètre  $n$  dans l'équation de Forme non linéaire Freundlich est un indicateur de l'affinité et de la capacité de chaque couple

**II. 4-1-3-Modèle de Temkin :** L'isotherme de Temkin suppose que la décroissance de la chaleur de l'adsorption avec le taux de recouvrement est linéaire plutôt que logarithmique (comme dans l'équation de Freundlich) et l'adsorption est caractérisée par une distribution uniforme des énergies de liaison jusqu'à une certaine énergie maximale de liaison. Le modèle d'isotherme de Temkin est généralement appliqué sous la forme suivante :  $B = (RT/b) \ln A$  ;  $q_e$  (mg/g) ;  $C_e$  (mg/l)

$$Q_e = \left(\frac{RT}{b}\right) \ln(A C_e)$$

$$Q_e = B \ln A + b \ln C_e$$

sont respectivement la quantité adsorbée à l'équilibre et la concentration d'équilibre. En outre,  $T$  (K) est la température absolue et  $R$  la constante des gaz parfaits :

$$8.314 \text{ (J/mol K)}.$$

La constante  $B$  est liée à la chaleur d'adsorption. Plusieurs auteurs, proposent d'utiliser ce modèle en phase liquide, en traçant  $Q_e = f(\ln C_e)$

**II. 4-1-4-Modèle de Dubinin- Radushkevich (D-R) :** Dubinin et Radushkevich (D-R) ont développé une équation empirique applicable au remplissage des volumes microporeux du charbon. En dérivant cette équation pour l'adsorption en phase liquide, la quantité adsorbée correspondant à la concentration en adsorbant est supposée obéir à une fonction gaussienne du potentiel de Polanyi  $\epsilon$ . L'isotherme de D-R est plus générale que l'isotherme de Langmuir, car

elle ne suppose pas une surface homogène ou un potentiel constant d'adsorption. L'équation de D-R. est :

$$Qe = K_{DR} \exp(-B\epsilon^2)$$

$$\epsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$$

Où  $Qe$  est la quantité adsorbée à l'équilibre,  $Q_{DR}$  est la quantité maximale d'adsorbant (la capacité théorique de saturation) qui peut être adsorbé dans des micropores du charbon,  $B$  est une constante liée à l'énergie d'adsorption,  $C_e$  est la concentration d'équilibre en (mg/L) et  $\epsilon$  est le potentiel de Polanyi.

Par conséquent, l'équation de D-R peut être utilisée pour estimer non seulement la capacité maximale d'adsorption, mais également une valeur moyenne unique d'énergie libre au système d'adsorbant. L'équation ( $Qe = K_{DR} \exp(-B\epsilon^2)$ ) peut être linéarisée et exprimée comme suite :

$$\ln Qe = \ln K_{DR} - B\epsilon^2$$

Un graphe linéaire de  $\ln Qe$  en fonction de  $\epsilon^2$  donne les valeurs de  $K_{DR}$  et  $B$  à partir de l'ordonnée à l'origine et de la pente.

## II. -4-2-Modèles d'adsorption en mode dynamique[14]

### II. 4-2-1-Modèle de Bohart-Adams

$$(C_t/C_0) = \exp(KBA C_0 t - KBA N_0 \frac{Z}{F})$$

**KBA** est la constante cinétique du modèle en (L/mg. min) ;

**N<sub>0</sub>** est la concentration de saturation du modèle en (mg/l) ;

**C<sub>t</sub>** est la concentration de sortie du soluté en (mg/l) ;

**C<sub>0</sub>** est la concentration initiale du soluté en solution en (mg/l) ;

**F** est la vitesse linéaire en (cm/min) ;

**Z** est la hauteur du lit adsorbant en (cm).

**t** est le temps d'écoulement (min).

### II. 4-2-2-Modèle de Wolborska

$$\frac{C_t}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left(\left(\frac{KThqW}{Q}\right)\right)} - KThC_0 t$$

**KTH** est la constante de vitesse du modèle de Thomas (L.mg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)

**q** est la capacité d'adsorption du modèle (mg.g<sup>-1</sup>)

**C<sub>t</sub>** est la concentration de sortie du soluté en (mg.L<sup>-1</sup>) ;

**C<sub>0</sub>** est la concentration initiale du soluté en solution en (mg.L<sup>-1</sup>) ;

**Z** est la hauteur du lit adsorbant en (cm) ;

### II. 4-2-3-Modèle de Yoon-Nelson

$$\frac{C_t}{C_0 - C_t} = \exp(KYNt - \tau KYN)$$

$C_t$  est la concentration de sortie du soluté en (mg/l) ;

$C_0$  est la concentration initiale du soluté en solution en (mg/l) ;

$\tau$  : Temps requis pour maintenir 50% de la percée, calculé à partir du modèle de Yoon-Nelson (min).

$t$  est le temps d'écoulement (min).

$KYN$  est la constante de vitesse du modèle (min<sup>-1</sup>)

### II. 5- Les modèles cinétiques : [15]

L'étude des mécanismes d'adsorption des solutés comme la vitesse d'adsorption et la diffusion intra particulaire, utilise des modèles cinétiques qui sont souvent employés dans l'analyse des résultats expérimentaux.

#### II. 5-1. Modèles cinétiques du pseudo premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo premier ordre est souvent formulé par l'équation de Lagergren qui peut être exprimé par l'équation suivante :

$$dq/dt = K_1(q_e - q_t)$$

Après intégration et l'application des conditions aux limites (  $t = 0$  ,  $q_t = 0$  ) et (  $t = t$  ,  $q = q_t$  ), l'équation devient :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t$$

où

$K_1$  : constante de vitesse du pseudo premier ordre (min<sup>-1</sup>) ;

$t$  : temps de contact (min) ;

$q_e$  : quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g) à la saturation de monocouche

$q_t$  : quantité adsorbée (mg/g) par unité de masse de l'adsorbant à l'instant  $t$  ;

#### II. 5-2. Modèles cinétiques du pseudo deuxième ordre

Ce modèle exprimé par Ho et McKay par l'équation de suivante :

$$dq/dt = K_2(q_e - q_t)^2$$

L'intégration de cette équation suivie de sa linéarisation nous donne :

$$t/q_t = 1/(K_2 q_e^2) + (1/q_e)t$$

Où

$t$  = respectivement à l'équilibre et au temps  $t$  ;

$K_2$  : constante des vitesses du second ordre [mg/(g.min)];

## II. -6- Diffusion intra particulaire de modèle de soluté dans le solide

Le cinétique de diffusion intra particulaire est exprimée par la relation de Weber et Morris:

$$q_t = K_{diff} \cdot t^{1/2} + C$$

**qt** : quantité adsorbée par unité de masse de l'adsorbant en (mg/g) respectivement à l'équilibre et au temps t ;

**Kdiff** : constante des vitesses diffusion intra particulaire [mg/(g.min)].

**t** : temps de contact (min)

Le tracé de la courbe  $q_t = f(t^{1/2})$  présente généralement deux parties dont une partie qui est linéaire. Cette dernière traduit l'étape de la diffusion intra particule

## II. 7-Facteurs influençant l'adsorption [16] :

La théorie de l'adsorption des liquides par les solides est nettement moins complète que celle de l'adsorption des gaz ou des vapeurs par les solides. Ce qui est dû sans doute à de nombreux facteurs qui rendent l'étude de tels phénomènes difficile à interpréter. Ces facteurs sont :

### -Vitesse d'absorption

#### -Structure des adsorbants : [17]

La taille des particules, la surface spécifique et la porosité sont les principales propriétés qui affectent l'affinité d'un adsorbant vis-à-vis d'un soluté donné.

#### -Nature de l'adsorbat :

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont fondamentales et possèdent un rôle important lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant.

#### -La polarité et la concentration

L'adsorption d'une substance croît avec l'augmentation de sa concentration dans la solution. Toutefois, cet accroissement n'est pas proportionnel car il se produit lentement. Pour qu'il y ait une bonne adsorption il faut qu'il y ait une affinité entre le solide et le soluté. En règle générale, les solides polaires adsorbent préférentiellement d'autres corps polaires. Par contre les solides non polaires adsorbent préférentiellement des substances non polaires.

#### - Influence du pH

C'est un facteur essentiel et prédominant dans le phénomène d'adsorption, Il touche directement l'état de charge de l'adsorbant et de l'adsorbat. . Son effet sur la rétention des contaminants est souvent étudié. Dans la plupart des cas, le pH faible favorise l'adsorption des anions alors que le milieu alcalin favorise celle des cations.

#### - Influence de la température [18]

L'adsorption est un processus généralement exothermique, par conséquent, son

déroulement doit être favorisé par un abaissement de la température. L'adsorption est donc étroitement conditionnée par la température dont l'augmentation favorise les processus de chimisorption et dont l'abaissement favorise l'adsorption physique.

**-. Présence d'espèces compétitives**

La présence de la compétition diminue la capacité de chaque espèce à s'adsorber sur un adsorbant, la plupart des études qui se sont intéressées à ce phénomène enregistrent une inhibition de l'adsorption en présence d'autres espèces chimiques susceptibles de se comporter comme un concurrent avec les ions de l'adsorbant à adsorber.

**- Masse de l'adsorbant**

La capacité d'adsorption est d'autant plus grande que la masse d'adsorbant dans la solution est importante. Du fait du coût élevé des adsorbants, le choix d'un rapport liquide solide optimal est recommandé

***Chapitre III :***  
***Les Etudes précédentes***

### **III. 1- Elimination d'un colorant cationique dans une solution aqueuse par un déchet alimentaire : Epluchure de pomme de terre [19]**

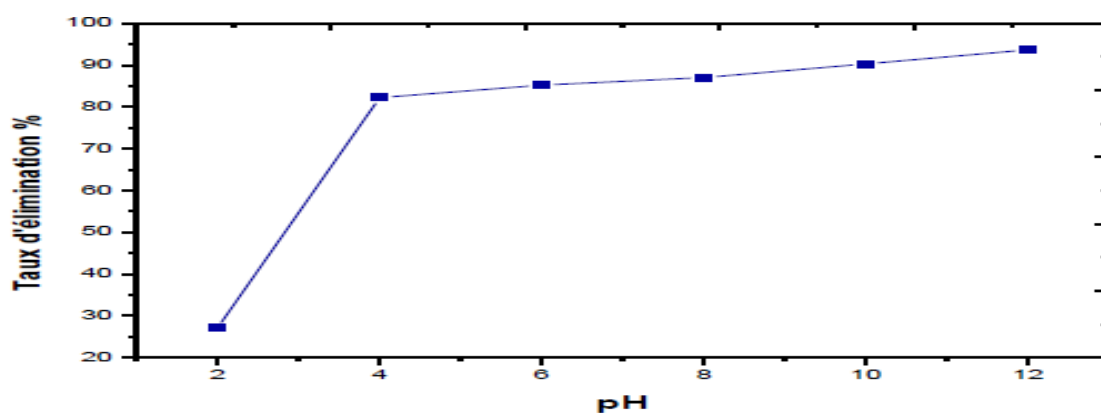
#### **III.1-1-Introduction**

Dans cette étude, l'adsorption du colorant bleu de méthylène dans une solution aqueuse, sur un adsorbant de faible coût, Epluchure de pomme de terre, a été étudiée en utilisant des expériences en batch. Différents paramètres ont été analysés en particulier : la masse d'adsorbant, la concentration initiale du colorant, le temps de contact, le pH et la température. Les données cinétiques ont été modélisées par les équations de pseudo-première ordre et pseudo-second ordre.

#### **III. 1-2-Les résultats**

##### **III- 1-2-1Effet du pH**

Figure III- 1-1 montre une grande augmentation du pourcentage d'élimination du colorant, lorsque le pH de la solution passe de 2 à 4, en passant de 27% à 87%. Au-delà du pH= 4, on remarque toujours l'augmentation du pourcentage mais avec un rythme plus faible pour atteindre 93% à pH=12. Pour mieux illustrer ces résultats ils ont procédé à la détermination du point de charge nulle (PCN) qui correspond à la valeur de pH pour laquelle la charge nette de la surface d'adsorbant est nulle, puisque l'adsorption dépend non seulement des forces de van der Waas mais aussi d'attractions électrostatiques.



**Figure III – 1-1** Effet du pH du milieu sur l'élimination du BM

##### **III- 1-2-2-Effet de la température**

La Figure III-1-2 montre qu'une augmentation de la température de 20°C à 50°C s'accompagne par une diminution du pourcentage d'élimination du colorant BM qui passe de 88% à 74%. Ce phénomène, laisse supposer que la réaction est exothermique dont l'augmentation de la température défavorise le mécanisme d'adsorption.

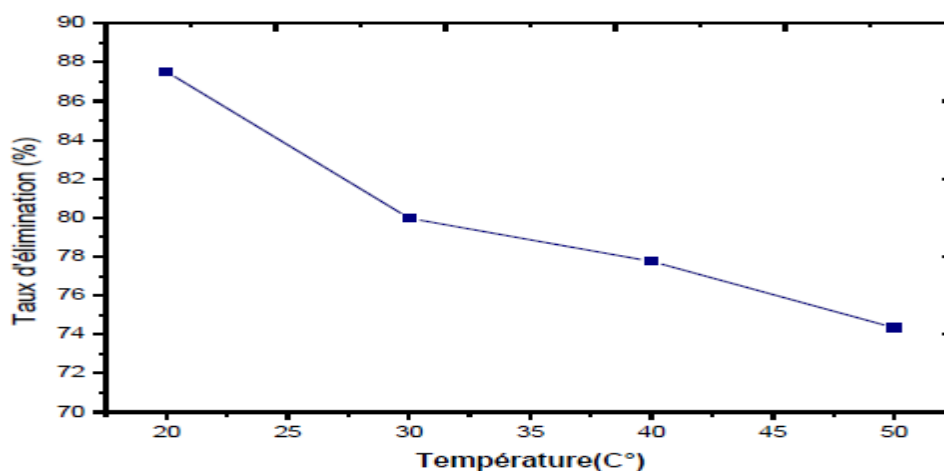


Figure III-1-2 Effet de la température sur l'élimination du BM

### III- 1-2-3-Effet de la masse

La figure III-1-3 montre que le pourcentage d'élimination du BM augmente rapidement, lorsqu'on passe d'une masse d'EPT de 0,5 g/l à 1,5 g/l. Cela est dû à l'augmentation de la surface spécifique et les sites d'adsorption attribués à l'augmentation de la masse d'adsorbant. Au-delà de 1,5 g/l, on n'observe aucun changement significatif puisque le pourcentage d'élimination reste inchangé. Ainsi, la masse d'adsorbant a été fixée à 1,5 g/l pour les expériences ultérieures.

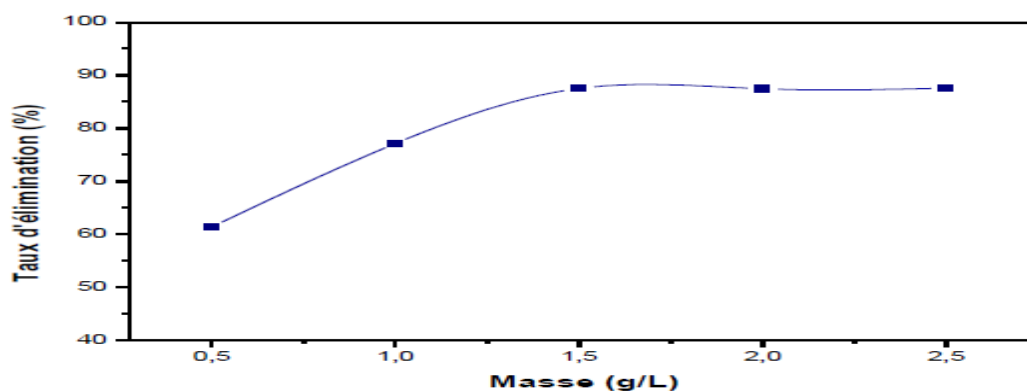


Figure III-1-3 Effet de la masse des EPT sur l'élimination du BM

### III- 1-2-4-Effet de temps de contact

On remarque que le temps d'équilibre est indépendant de la concentration initiale et que la quantité adsorbée du BM augmente avec le temps de contact en suivant deux pentes: Au début, dans les premières 5 minutes, l'adsorption est très rapide, mais par la suite elle continue avec un rythme très lent pour enfin atteindre un équilibre dans un délai de 15 min. Ceci peut expliquer par le fait que les sites d'adsorption sont ouverts et aisément accessibles au début donc, les molécules de BM interagissent facilement avec ces sites.



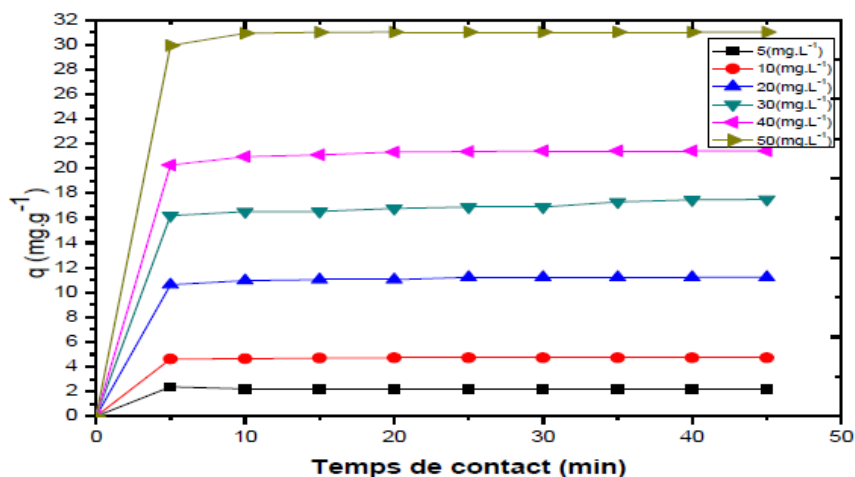


Figure III-1-4 Effet de temps de contact sur l'élimination du BM

**III- 1-2-5-Effet de la concentration initiale**

Les résultats révèlent qu'après une augmentation du pourcentage d'élimination entre les concentrations 5 et 30  $\text{mg/l}$ , ce dernier subit une diminution en raison de la saturation de la surface adsorbante

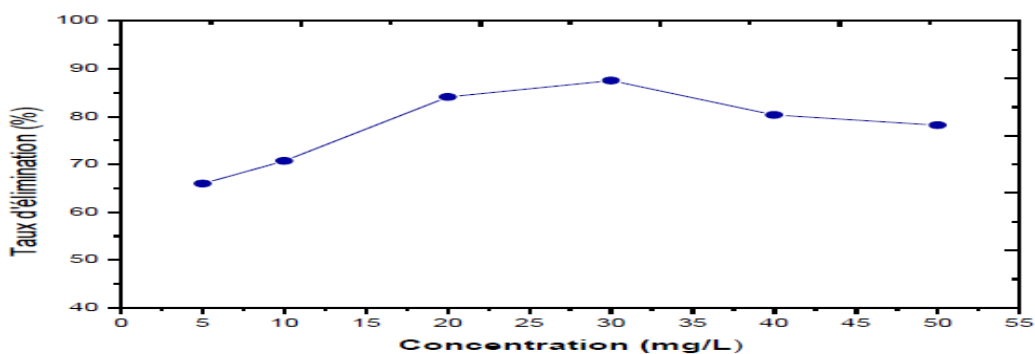


Figure III-1-5. Effet de la concentration initiale en BM sur l'élimination

Tableau III- 01 : paramètres opératoires et optimaux du procédé d'élimination de BM

Les paramètres		Les valeurs	Les valeurs optimales
Masse d'adsorbant	mg / l	0,5 - 2,5	1,5
Temps de contact	min	0 - 45	5
Concentration	mg/ l	5 - 50	30
pH		2 - 12	5,8
Température		20 - 50	Système exothermique

### III-1-3-Conclusion

L'étude du processus d'adsorption du bleu de méthylène sur les épluchures de pomme de terre a fait l'objet de ce travail. Les résultats ont montré que le pourcentage d'élimination passe de 61.4% à 87.6% lors d'une augmentation de la masse d'adsorbant de 0.5 à 1.5 g/l, en raison d'augmentation de la surface spécifique. L'effet de temps de contact a indiqué que le temps d'équilibre est indépendant de la concentration initiale du BM et que l'adsorption est très rapide, puisque 92 % de la quantité adsorbée du colorant est atteinte pendant les cinq premières minutes. Le maximum d'adsorption du BM a eu lieu à un pH > PCN signifiant que les forces électrostatiques influencent sur le pouvoir de fixation du colorant.

La température a eu un effet défavorable sur le pourcentage d'élimination de colorant ce qui suggère que l'adsorption du BM sur les EPT était un processus exothermique.

La modélisation des résultats d'adsorption a démontré que le modèle de pseudo-second-ordre offre une meilleure corrélation des données cinétiques et que le modèle de Langmuir décrit mieux l'isotherme d'adsorption, ainsi les molécules du colorant s'adsorbent en monocouches et sans aucunes interactions entre elles.

Tous ces résultats révèlent que les épluchures de pomme de terre pourraient être utilisées efficacement comme un adsorbant à faible coût, pour l'élimination du colorant bleu de méthylène d'une solution aqueuse.

### III. -2-Élimination du colorant rouge Congo du système aqueux à l'aide de graines de *Phoenix dactylifera* [20]

#### III. 2-1-Introduction :

Dans cette étude, les graines de *Phoenix dactylifera* (GPD) ont été utilisées comme biosorbant pour l'élimination du colorant rouge Congo (CR) de système aqueux.

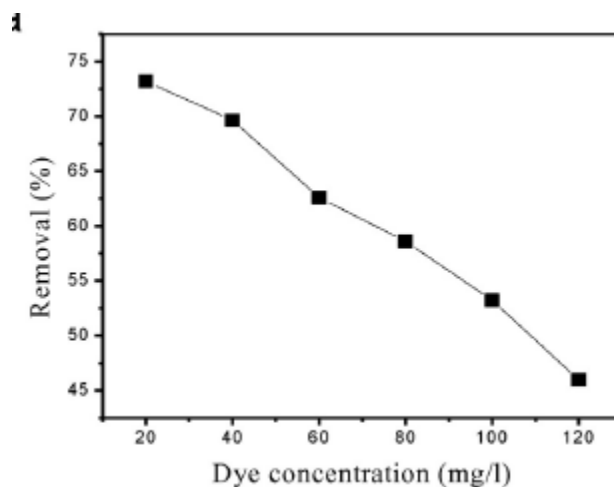
L'effet de divers paramètres d'adsorption tels que la concentration initiale du colorant, le dosage du sorbant, le temps de contact, le pH, l'électrolyte, les tensioactifs et la température a été optimisée pour une sorption maximale du colorant. Isothermes de Langmuir, Freundlich et Tempkin ont été appliqués pour l'interprétation des données expérimentales.

#### III. 2-2- Résultats :

##### III- 2-2- 1-Effet de la concentration initiale de colorant

Dans la figure III-2 -1, il a été révélé que l'efficacité d'élimination diminuait de 73,2 à 45,74% avec une augmentation de la concentration de 20 à 120 mg / L. L'absorption maximale a été obtenue à 20 mg / L, cela peut être attribué au fait que le colorant CR a tendance à s'agréger à

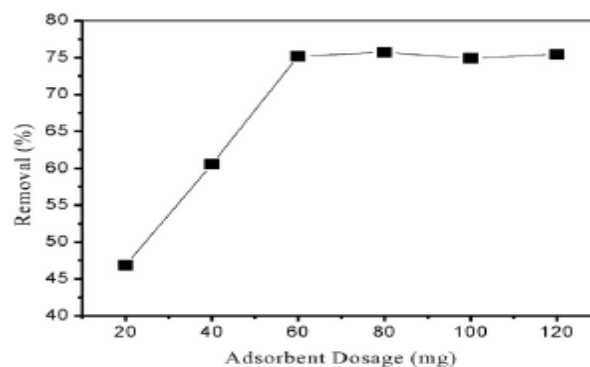
une concentration plus élevée (120 mg / L) pour former des micelles de grande taille qui sont difficiles à diffuser à travers les micropores du biosorbant



**Figures III-2-1** Effet de concentration

### III- 2-2-2 effet du dosage de sorbant

La figure III-2-2 montre l'effet de la dose de sorbant sur la sorption de CR. Il était évident que l'élimination de CR augmentait proportionnellement à la dose, ce qui est dû à la disponibilité de sites plus actifs et à une plus grande surface spécifique. Après 60 mg de charge de sorbant, aucune élimination significative n'a été observée, cela est dû à la conglomération de particules adsorbants, car il n'y a pas d'augmentation significative de la surface efficace.

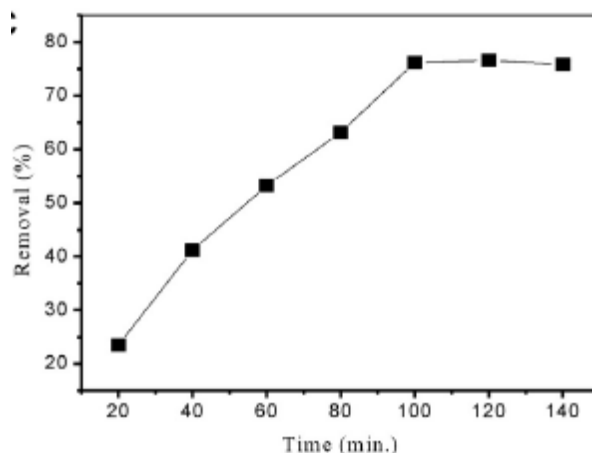


**Figure III-2-2.** Effet de Dosage du sorbant

### III- 2-2-3 Effet du temps de contact

La figure III-2-3 montre l'effet du temps de contact sur l'élimination du colorant CR. L'efficacité d'adsorption a augmenté de 23,5 à 76,6%, car le temps de contact variait de 20 à 120 min. Il est devenu constant après 120 minutes, donc sur la base des résultats, 120 minutes ont été prises comme temps d'équilibre dans le processus de sorption. Cela se produit en raison de l'adsorption rapide du CR par la surface du biosorbant suivie d'une lente diffusion

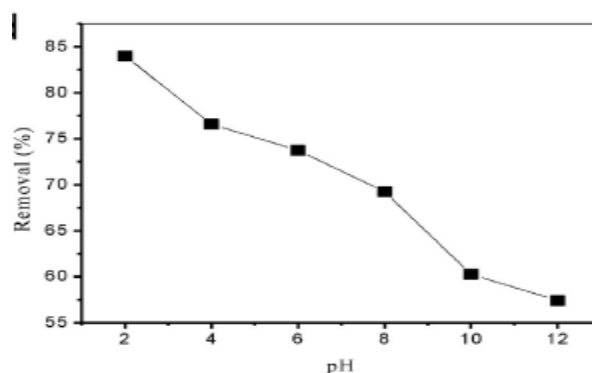
des ions de la surface vers les sites d'adsorption et dans les micropores qui sont moins accessibles



**Figure III-2-3.** Effet de temps de contact

#### **III-2-2-4 Effet du pH**

Le pH est un paramètre important pour la sorption globale de CR sur biosorbant. L'effet du pH sur la sorption de CR par PDS a été étudié entre pH 2 et 12. La figure III-2-4 montre l'effet du pH sur la sorption du CR. L'élimination maximale (84%) s'est produite à pH 2,0, suivie d'une diminution significative du % d'élimination avec une augmentation du pH. À pH 2,0, la concentration en ions  $H^+$  dans le système a augmenté et la surface du PDS acquiert une charge positive en absorbant les ions  $H^+$ . Par conséquent, à faible pH, une attraction électrostatique élevée existe entre la surface chargée positivement du PDS et du CR (molécule de colorant anionique) conduisant à une sorption maximale du colorant. Cependant, à un pH plus élevé, les anions CR sont généralement exclus de la surface chargée négativement du biosorbant, diminuant ainsi la sorption du colorant. Une tendance similaire a été observée pour la sorption des colorants anioniques. La sorption maximale de CR est observée à une valeur de pH 2, elle a donc été choisie comme pH optimal pour des études ultérieures.



**Figure III -2-4** Effet de PH

### III- 2-2-5 Effet de la température

La température a un effet prononcé sur la sorption du colorant car la capacité d'équilibre de l'adsorbant change avec la température. L'effet de la température détermine si le processus de sorption en cours est endothermique ou exothermique. L'effet de la température sur le processus de sorption a été réalisé dans les conditions optimisées de concentration de colorant (20 mg / L), dosage de sorbant (60 mg), temps de contact (120 min) et pH de la solution (2,0). La figure III -2-5 montre que l'élimination du CR a augmenté avec la température et une adsorption maximale a été observée à 55 ° C, suggérant que le processus de sorption est de nature endothermique. Il était évident que le pourcentage d'élimination augmentait de 83,3% à 90,15% avec l'augmentation de la température. Cela était dû à une plus grande diffusion des molécules d'adsorbat à travers la couche limite externe et les pores internes de la particule adsorbante.

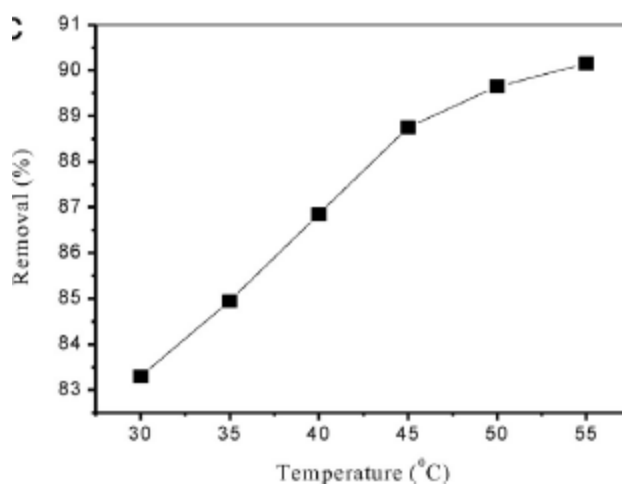


Figure III -2-5 Effet de température

Tableau III -2-paramètres opératoires et optimales du procédé d'élimination CR

Les paramètres	Les valeurs	Les valeurs optimales
Le temps de contact min	20 -140	120
Concentration mg/l	20 -120	20
Température	30 -55	55
pH	2 -12	Milieu acide
Dosage du sorbant mg	20 -120	60

**III-2-3-Conclusion :**

Grâce à cette étude, il a été prouvé que les graines de Phoenix dactylifera (GPD) peut être un adsorbant prometteur pour l'élimination des colorants CR dangereux.

Les paramètres de fonctionnement optimisés pour un maximum de sorption ont été déterminées comme suit: concentration initiale de colorant (20 mg / L), dosage du sorbant (60 mg), temps de contact (120 min), pH de solution (2,0) et température (55° C).

La quantité adsorbée à l'équilibre de CR sur GPS a été correctement décrit par le modèle de Langmuir avec un capacité monocouche maximale de 61,72 mg /g. Le taux de sorption s'est avéré obéir à la cinétique du pseudo-second ordre avec une bon coefficient de corrélation.

Cette étude suggère que les graines de Phoenix dactylifera, un biomatériau facilement disponible et respectueux de l'environnement, pourraient être utilisées comme biosorbant non conventionnel prometteur pour éliminer les colorants en milieu aqueux.

**III. -3-Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes [21]**

**III.-3-1-Introduction**

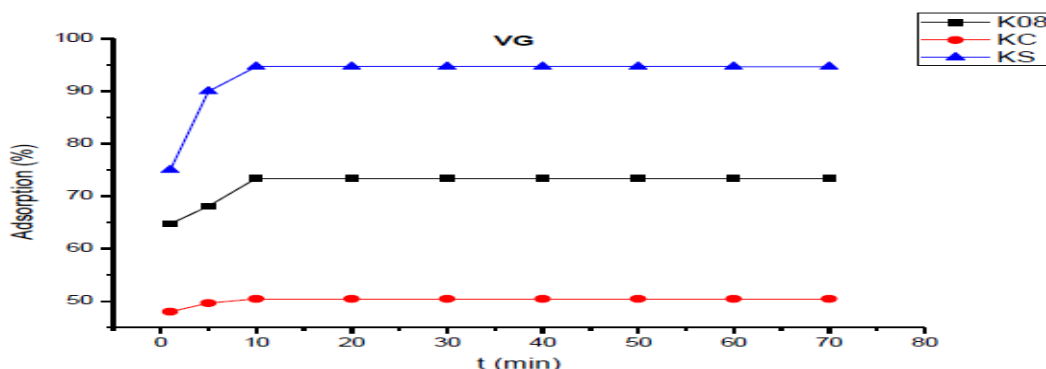
L'étude de l'adsorption des colorants cationiques sur différents supports a été largement décrite dans la littérature, ces colorants sont largement utilisés comme teinture dans l'industrie textile, pour la teinture du coton et de la soie. Il trouve également une application dans la fabrication des peintures et encres d'imprimerie Dans la communauté médicale, il est utilisé comme colorant histologique dans le procédé de classification des bactéries de Gram.

**III.3-2-Résultats****III- 3-2-1-Effet du temps de contact**

La figure III -3-1 montre que le temps nécessaire à l'adsorption du violet de gentiane par les trois supports est au autour de 10 min, ce qui indique la rapidité de l'adsorption de ce colorant et son affinité vis-à-vis les sites kaoliniques; sauf que le taux d'adsorption du colorant VG est différent pour les trois supports. La plus grande quantité de colorant retenu (94,69%) a eu lieu sur le KS. Le kaolin naturel a pu retenir 73.40% alors que 50.40 % sont retenus sur le KC. Les résultats montrent clairement que l'adsorption de VG sur chacun des trois supports se fait dans un temps très court.

Les travaux récents de Saeed sur l'adsorption du VG par les écorces de pamplemousse dans les mêmes conditions ont mis un temps de 60 min pour la rétention de 95% de colorant .L'adsorption du même colorant sur une argile de type palygorskite faite par Al Futaisi a

durée 120 min pour un taux de rétention de 32% Nandi a obtenu un temps de contact de 10 min pour l'adsorption de VG sur du kaolin avec un taux de rétention de 90% pour une concentration initiale de 40 mg/L en colorant

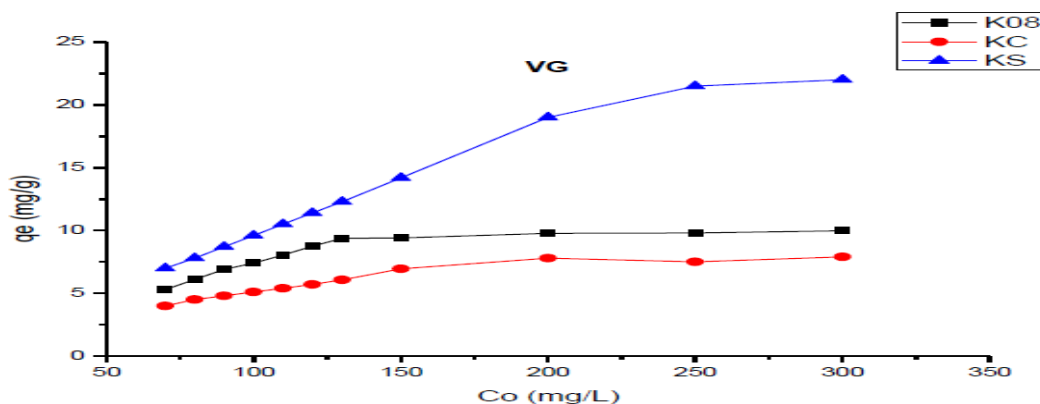


**Figure III -3-1-Effet du temps de contact sur le taux d'adsorption de VG par K08, KC et KS**

### III-3-2-2-Effet de la concentration initiale en colorant VG

L'effet de la concentration initiale de violet de gentiane sur la quantité adsorbée (mg/g) par les kaolins K08, KC et KS a été étudié dans une gamme de concentrations initiales (70 –300 mg/L). Les isothermes d'adsorption de VG mesurées à température ambiante sont représentées sur la figure III-3-2

Comme dans le cas du RC, nous remarquons que chaque isotherme d'adsorption montre une forme L selon la classification de Giles et une forme de type I selon la classification de BET sauf qu'ici le kaolin modifié par l'alkylammonium KC n'est plus le meilleur support adsorbant. Le colorant a présenté plus d'affinité envers le KS, ceci était attendu suite à la charge cationique que présente ce colorant et son affinité pour le groupement  $\text{NH}_2$  qui est une base de Lewis présente sur l'agent modificateur ; sans oublier l'espacement effectué par cette modification qui peut favoriser l'adsorption.



**Figure III -3-2-. Effet de la concentration initiale en colorant VG sur l'adsorption par K08, KC et KS sur l'adsorption par K08, KC et KS**

### III-3-2-3 Effet du pH

Il a été observé que l'adsorption est très dépendante du pH de la solution. Comme le montre la figure III-3-3, l'augmentation du pH de la solution fait augmenter les quantités de colorant adsorbées, jusqu'à des pH neutres (ou proches de neutralité) mais au-delà, le pourcentage d'adsorption diminue sur les trois adsorbants K08, KC et KS. Nous avons travaillé à des pH supérieurs à 4 pour éviter tout changement de couleur du VG.

À des pH faibles, la concentration des ions  $H^+$  augmentent dans le système aqueux et la surface des supports acquiert une charge positive suite à l'adsorption des ions  $H^+$  ce qui ne favorise pas l'adsorption du colorant cationique en raison de la répulsion électrostatique. À pH plus élevé (milieu basique), les charges positives sur les molécules de colorants cationiques seront neutralisées par les  $OH^-$  présentes en solution, par conséquent la diffusion du colorant vers les sites négatives du support diminue, ce qui explique la diminution d'adsorption du VG.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Nandi pour l'adsorption du même colorant (VG) sur le kaolin indien où le pH optimal est égal à 7. L'adsorption du colorant cationique « Bleu de méthylène » sur matériau argileux provenant d'une région tunisienne, atteint son maximum à un pH de 7 également.

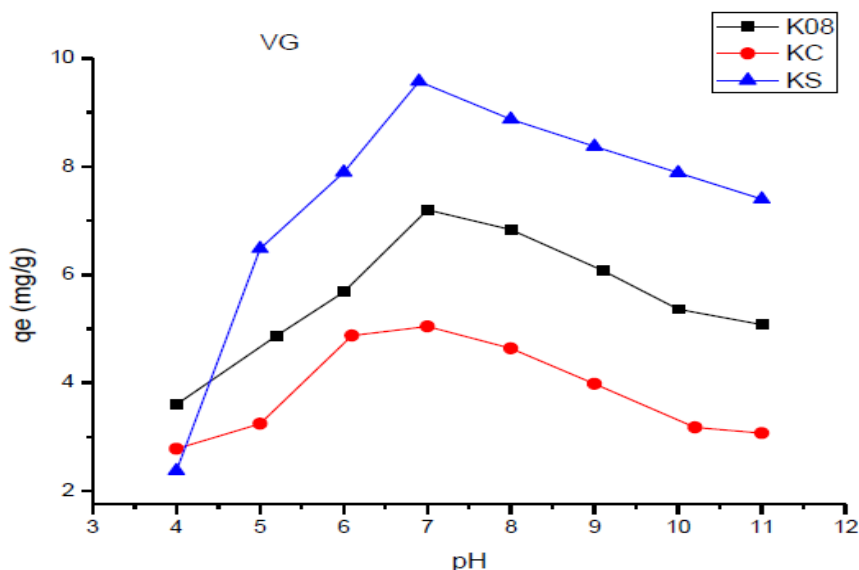
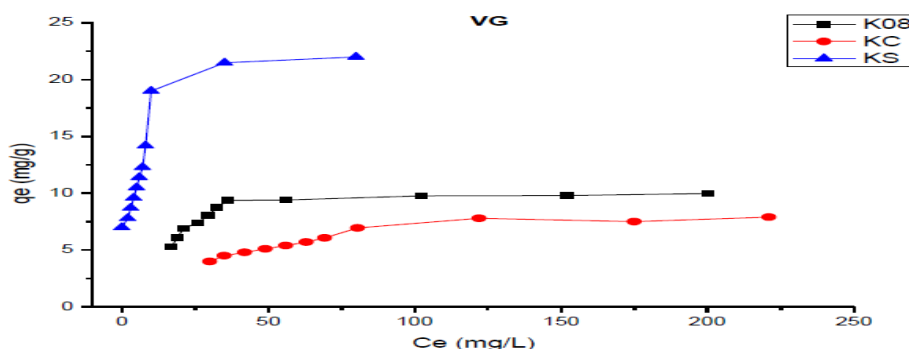


Figure III -3-3. Effet de pH sur la rétention de VG par K08, KC et KS



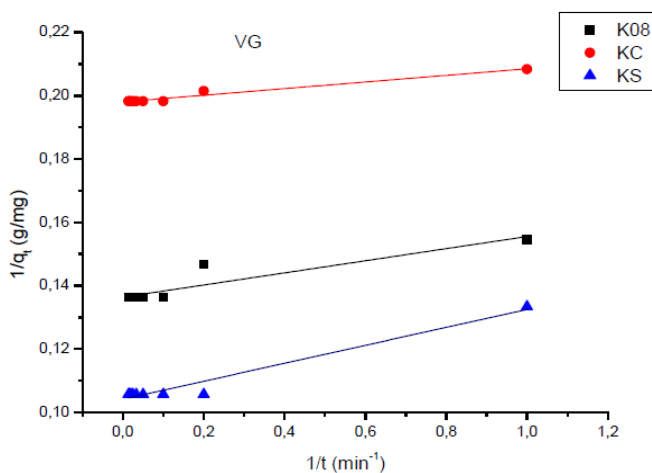
**III- 3-2-4-Isothermes d'adsorption de VG**

Une relation d'équilibre entre les quantités de colorant adsorbé sur la surface d'un adsorbant peut être établie au moyen des isothermes d'adsorption. Les isothermes d'adsorption peuvent être obtenues par la représentation graphique de  $q_e = f(C_e)$  sur la figure III-3-4

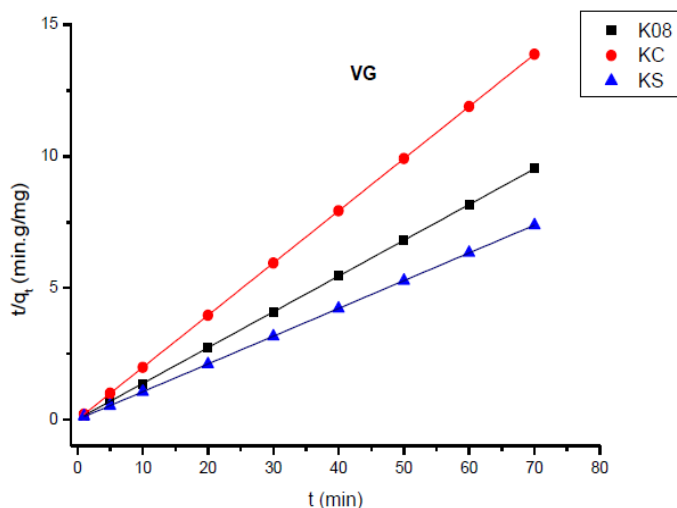


**Figure III -3-4-**Isothermes d'adsorption du VG sur les argiles (K08), (KC) et (KS)

Les représentations linéaires du modèle du premier ordre et du second ordre pour l'adsorption du violet de gentiane sont représentés sur les figures III-3-5, figure III-3-6



**Figure III -3-5.** Modélisation de la cinétique d'adsorption du premier ordre du VG sur K08, KC et KS



**Figure III -3-6.** Modélisation de la cinétique d'adsorption du second ordre du VG sur K08, KC et KS

Les paramètres des vitesses et les coefficients de corrélation sont regroupés dans le tableau III-3

**Tableau III- 3 Paramètres des vitesses et les coefficients de corrélation**

Adsorbants	Paramètres du premier ordre			Paramètres du second ordre		
	$k_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$q_e$ ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	$R^2$	$k_2$ ( $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ )	$q_e$ ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	$R^2$
<b>K08</b>	0.14	7.33	0.831	0.89	7.36	0.9999
<b>KC</b>	0.05	5.05	0.968	5.16	5.04	1
<b>KS</b>	0.27	9.61	0.959	1.29	9.48	0.9999

### III-3-3 CONCLUSION

Nous remarquons que pour le colorant cationique VG, les adsorptions suivent le modèle cinétique du deuxième ordre avec des coefficients de corrélation très élevés. Généralement, la cinétique d'adsorption des colorants de type anionique ou cationique est mieux représentée par le modèle du second ordre.

### III.4-Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bio adsorbant issu de déchets agricoles de *Cucumeropsis manni* Naudin [22]

#### III.4-1-Introduction

L'adsorption du bleu de méthylène a été étudiée en fonction de la masse de bioadsorbant, du temps d'adsorption, du pH de la solution de BM et de la concentration initiale de la solution de BM. Pour chaque paramètre, la capacité ultime d'adsorption apparente et le pourcentage d'adsorption ont été calculés. Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

#### III.4-2-Résultats

##### III 4-2-1-Effet de la masse du bioadsorbant

Pour déterminer la masse optimale nécessaire pour éliminer le BM, 100 ml de la solution de BM 50 mg /L sont mis en contact avec différentes masses de bioadsorbant. Les résultats présentés par la figure III -4-1 montrent un accroissement du pourcentage d'adsorption avec la masse du bioadsorbant. Le pourcentage d'adsorption passe ainsi de 24,25% à 80,63%, lorsque la masse du bioadsorbant passe de 10 à 400 mg. A partir de 800 mg, le pourcentage d'adsorption demeure pratiquement constante jusqu'à 1000 mg. La figure III-4-2, par contre, montre une diminution de la capacité ultime d'adsorption ( $Q_m$ ) lorsque la masse du bioadsorbant augmente jusqu'à une valeur constante, à partir de 800 mg de BM. Ces résultats montrent que la capacité ultime d'adsorption diminue brutalement avec l'accroissement de la masse de bioadsorbant de 10 mg à 200 mg et ensuite légèrement jusqu'à la masse de 800 mg, masse à partir de laquelle elle devient pratiquement constante.

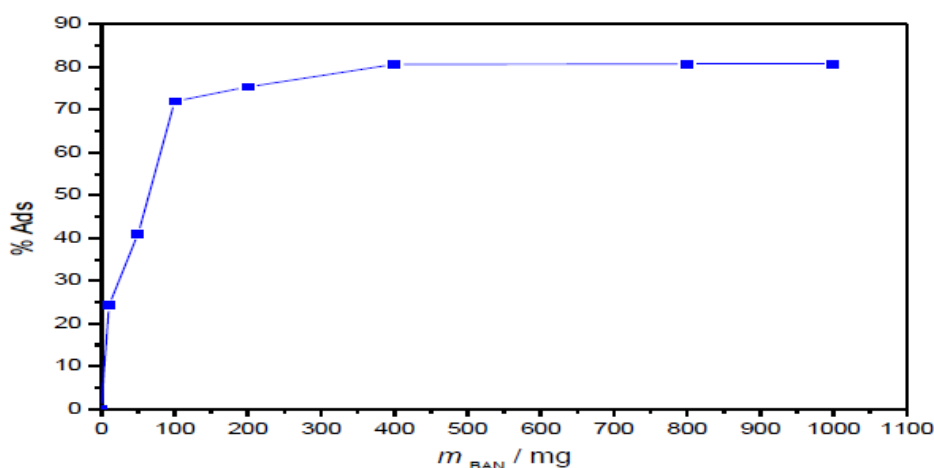
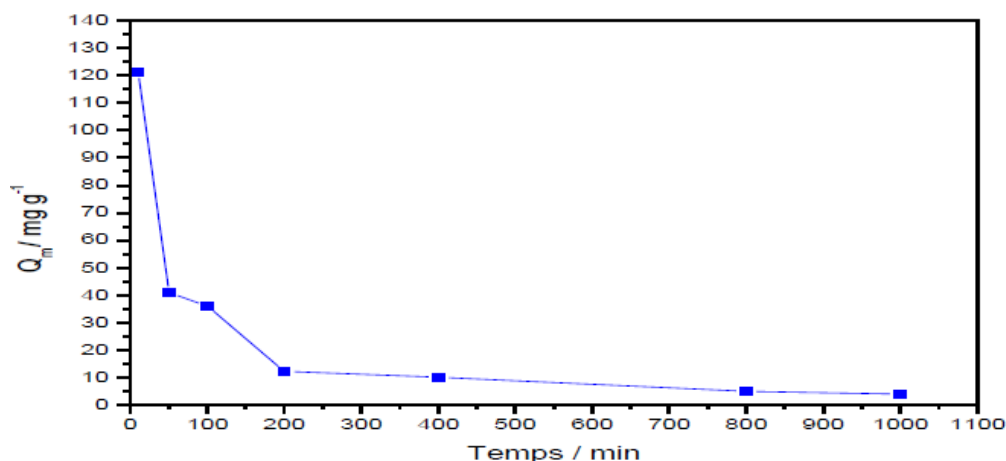


Figure III -4-1. Evolution de  $Q_m$  en fonction de la masse de BA.



**Figure III -4-2-.** Evolution de la capacité d'adsorption en fonction de la masse du bioadsorbant

### **III-4-2-2 Effet du temps d'adsorption**

L'effet du temps de contact sur l'adsorption a été étudié en mettant en contact une solution de BM 50 mg L<sup>-1</sup> avec une masse donnée de bioadsorbant. Les résultats obtenus indiquent une diminution progressive de la concentration réduite avec le temps de contact dépendant de la masse de bioadsorbant ; et après un temps donné, la concentration réduite demeure constante. Le pourcentage d'adsorption de BM sur BCM augmente avec le temps de contact. Au début, le pourcentage d'adsorption augmente faiblement jusqu'à 200 minutes, quand on utilise 10 mg à 400 mg de bioadsorbant ou rapidement jusqu'à moins de 10 minutes, pour les masses de 800 mg et 1000 mg (figure III-4-3).

La capacité d'adsorption apparente ( $Q$ ) augmente aussi avec le temps de contact BCM-BM jusqu'à atteindre une valeur maximale qui reste constante, malgré l'accroissement du temps (figure III-4-4). Cette valeur maximale correspond à la capacité ultime d'adsorption. Le temps d'équilibre d'adsorption est dépendant de la masse du bioadsorbant utilisée. Ce temps est plus court pour les masses élevées de bioadsorbant. Les résultats collectés dans le Tableau **III -3** montrent que le temps d'équilibre passe de 330 minutes à 60 minutes, quand la masse augmente de 10 à 1000 mg, respectivement.

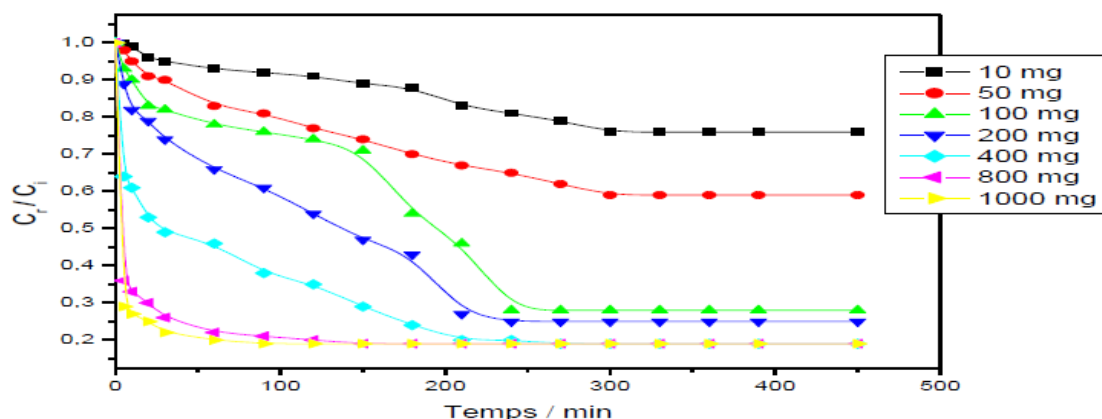


Figure III -4-3. Evolution de la concentration réduite de BM en fonction du temps pour différentes masses de bioadsorbant.

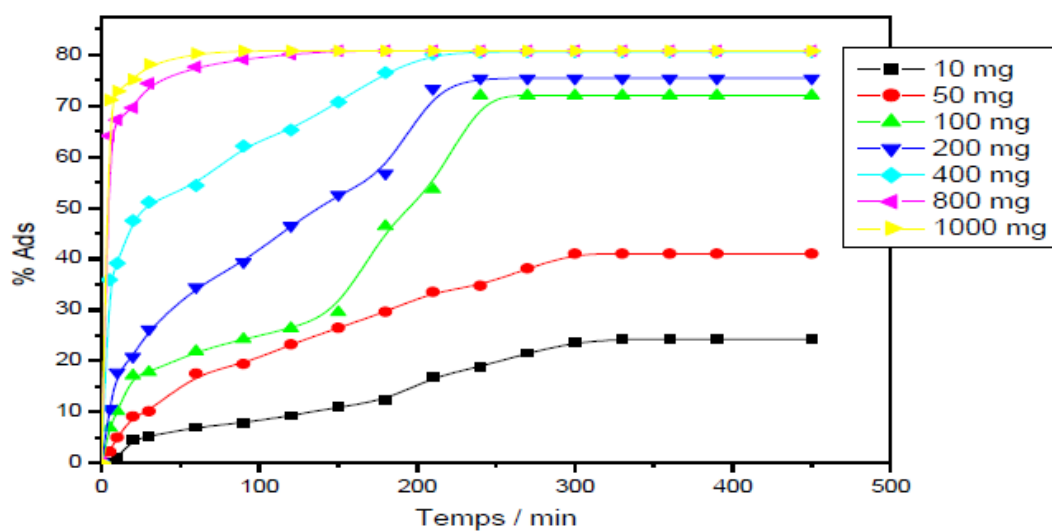


Figure III -4-4-. Evolution du pourcentage d'adsorption en fonction du temps pour différentes masses du bioadsorbant.

Tableau III-4: Capacités ultimes d'adsorption, pourcentage d'adsorption et temps d'équilibre d'adsorption pour différentes masses de bioadsorbant BCM

$m_{BCM} (g)$	$Q_m (mg g^{-1})$	% Ads	TE (min)
10	101,3	24,25	330
50	41,0	41,0	300
100	36,0	72,0	240
200	18,8	75,38	210
400	10,1	80,63	180
800	5,0	80,75	150
1000	4,0	80,75	60

TE, temps d'équilibre

### III- 4-2-3- Effet du pH sur le pourcentage d'adsorption et la capacité d'adsorption

Les courbes présentées dans la figure III-4-5 et figure III -4-7 montrent une diminution de la concentration réduite en fonction du temps d'adsorption, à différents pH, jusqu'à une valeur minimale qui reste constante à partir de 150 minutes, dans la plupart des cas. Pour tous les pH étudiés, on observe une augmentation du pourcentage d'adsorption et de la capacité d'adsorption en fonction du temps de contact BCM-BM, jusqu'à atteindre une valeur limite qui ne change plus malgré l'accroissement du temps (figure III-4-6).

Les courbes des (figure III -4-8, figure III -4-9, figure III- 4-10 et figure III- 4-11 ) et ainsi que les résultats résumés dans le tableau III -4 montrent une augmentation du pourcentage d'adsorption de BM sur le bioadsorbant BCM avec le pH de la solution de BM, jusqu'à une valeur pratiquement constante à partir du pH 10.

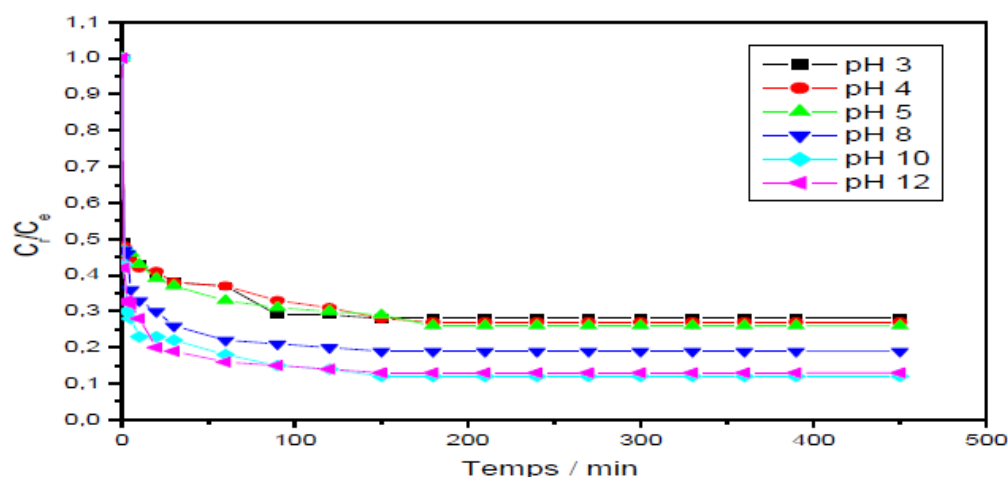


Figure III. 4-5. Evolution de la concentration réduite en fonction du temps à différents pH.

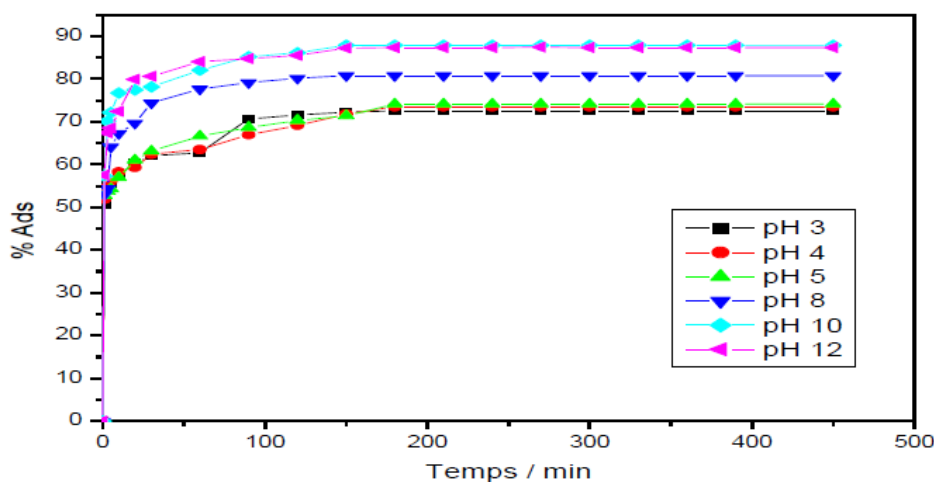


Figure III -4-6 Evolution de la capacité d'adsorption en fonction du temps à différents pH

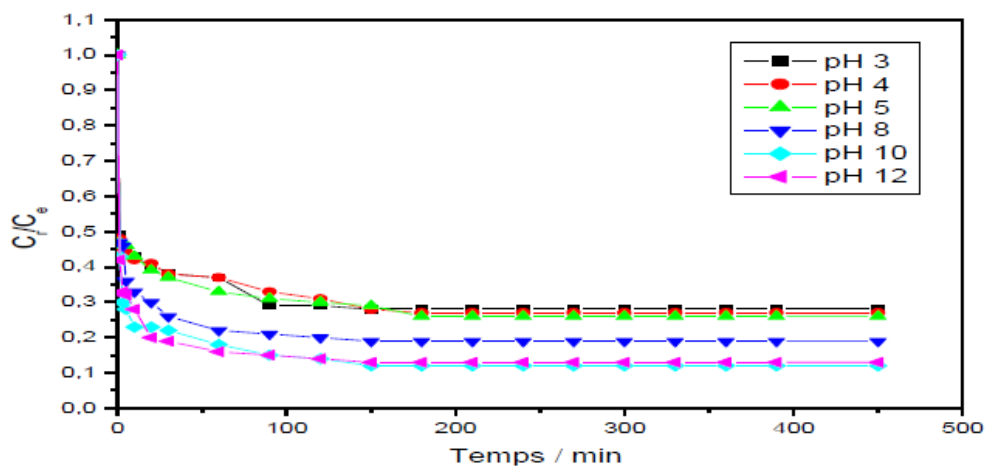
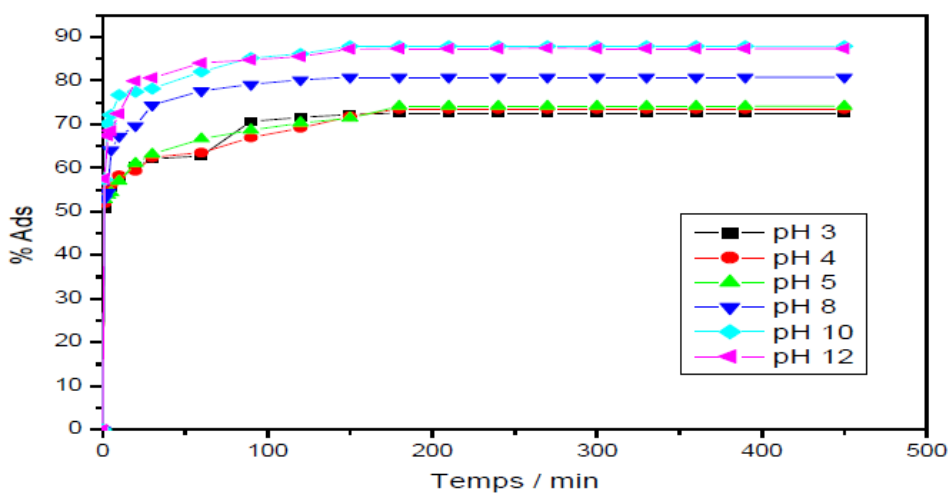


Figure III -4-7-. Evolution de la concentration réduite en fonction du temps à différents pH



figureIII -4-8. Evolution du pourcentage d'adsorption en fonction du temps à différents pH.

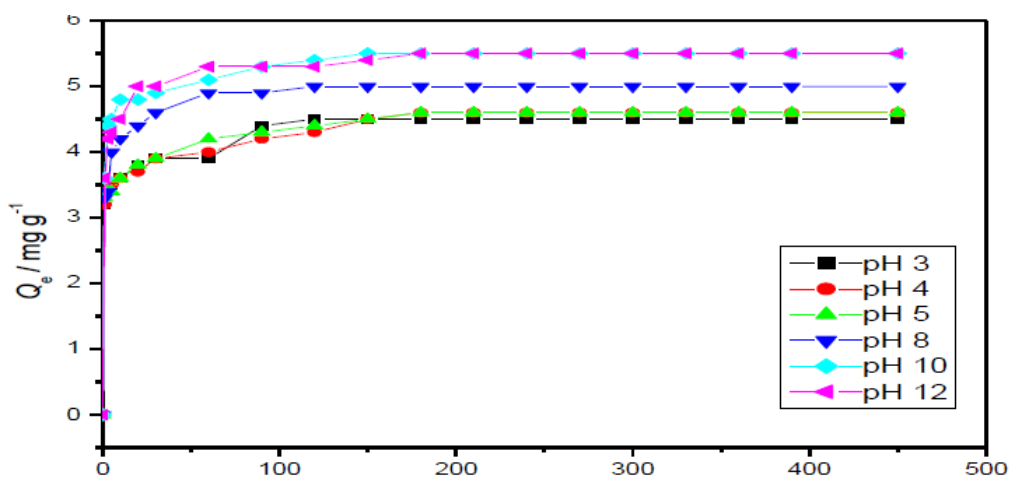
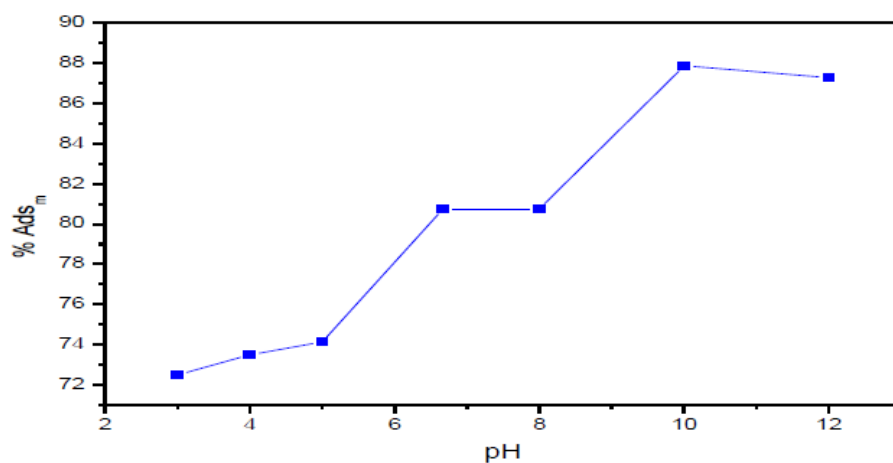
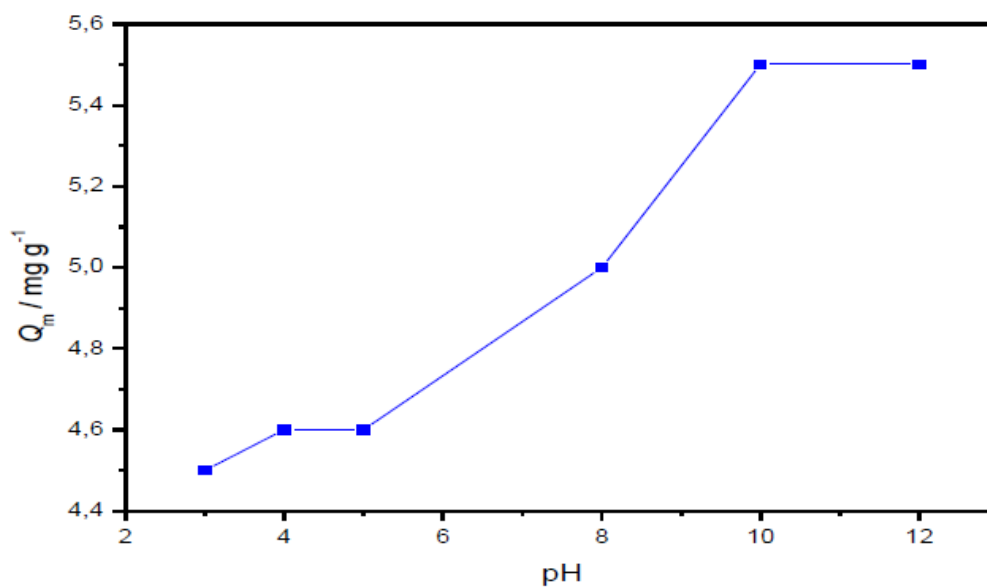


Figure III -4-9-Evolution de la capacité d'adsorption en fonction du temps à différents pH.



**Figure III -4-10.** Evolution du % d'adsorption en fonction du pH



**Figure III -4-11.** Evolution de la Capacité d'adsorption en fonction du pH.

**Tableau III-5.** Capacités ultimes d'adsorption, pourcentage d'adsorption et temps d'équilibre d'adsorption pour différents pH des solutions de BM.

$m_{BA}$ (g)	$Q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	% Ads	TE (min)
3	5,5	72,50	150
4	4,6	73,50	180
5	4,6	74,13	180
8	5,0	80,75	150
10	5,5	87,88	150
12	5,5	87,29	180

Note : TE, temps d'équilibre ;  $m_{BCM} = 800$  mg ;  $V = 100$  mL ;  $T = 29 \pm 1$  °C.



**III-4-3-Discussion :****III- 4-3-1 Effet de la masse de bioadsorbant sur l'adsorption**

L'augmentation du pourcentage d'adsorption observée en fonction de la masse du bioadsorbant est due à la disponibilité de sites libres d'adsorption qui augmente avec la quantité d'adsorbant jusqu'à la masse 400 mg. Aux faibles doses de bio adsorbant, les cations du colorant BM accèdent facilement aux sites d'adsorption du bioadsorbant, d'où l'accroissement rapide de la quantité adsorbée avec la masse du bioadsorbant. Au-delà de cette masse, le nombre de sites libres accessibles devient stable. L'addition du bioadsorbant ajoute le nombre des sites libres mais ces additions supplémentaires entraînent la formation des agglomérations des particules du bioadsorbant, et excluent certaines particules de bioadsorbant du processus d'adsorption ; le pourcentage d'adsorption demeure ainsi constant jusqu'à 1000 mg de bioadsorbant ajouté.

La diminution de la capacité ultime d'adsorption en fonction de la masse de bioadsorbant s'explique par la formation des agglomérations des particules du bioadsorbant aux fortes doses en bioadsorbant. Il y a encombrement stérique en ce moment, seules quelques particules en périphérie de la sphère formée participent réellement à l'adsorption. La capacité ultime d'adsorption exprime la quantité de soluté adsorbée par unité de masse mieux par unité des particules adsorbantes. En exprimant ainsi la capacité d'adsorption par unité de masse ou par unité particulaire, on obtient une capacité ultime d'adsorption apparente faible. L'encombrement stérique est aussi à la base de la réduction de la surface totale accessible d'où une diminution de la capacité d'adsorption en fonction de la masse, de bioadsorbant et une constance de l'adsorption à partir des masses élevées en bioadsorbant. Il y a nivellement de l'adsorption.

**III- 4-3-2 Effet du temps de contact sur l'adsorption**

L'augmentation du pourcentage d'adsorption ou de la capacité d'adsorption avec le temps de contact BCM-BM est due à la disponibilité des sites d'adsorption libres à la surface du bioadsorbant dès le premier contact. Ces sites se saturent progressivement. Les courbes des Figure III-4- (8- 9 - 10 – 11) montrent une augmentation rapide de l'adsorption, ce qui est dû à la diffusion extraparticulaire (ou diffusion externe) des particules de l'adsorbat, caractérisée par le transfert du soluté à travers le film situé à la surface géométrique de l'adsorbant. Ensuite, on assiste à une croissance faible du pourcentage d'adsorption avec le temps, représentée par la partie tangentielle de chaque courbe. Cette étape caractérise une diffusion intraparticulaire de la matière au cours de laquelle il y a transfert des particules de l'adsorbat à travers la surface externe et la surface interne du bioadsorbant.

Le pallier observé après représente l'étape de la réaction de surface, caractérisée par la fixation des particules de l'adsorbat sur la surface interne au niveau des sites actifs des micropores, grâce aux interactions, spécifiques ou non, qui s'établissent entre les particules de l'adsorbat et les sites actifs du bioadsorbant. Le pallier indique qu'on a atteint le taux d'abattement maximal qui est de 80,75% obtenu avec les masses de 800 mg et 1000 mg au pH d'auto-équilibre 6,67 et 87,88% à pH 10.

L'accroissement de la capacité d'adsorption en fonction du temps de contact est dû à la disponibilité des sites d'adsorption, dès que l'adsorption commence. Le pallier obtenu indique la saturation des sites d'adsorption disponibles. On atteint ainsi la capacité ultime d'adsorption ( $Q_m$ ) du bioadsorbant .

#### **III4-4-Conclusion :**

L'adsorption de BM sur le BCM augmente avec la masse du bioadsorbant. La concentration optimale de BCM a été estimée à 800 mg/100 mL. Le temps d'équilibre diminue avec l'augmentation de la masse de BCM. Le temps optimum déterminé est de 150 minutes. Le taux de rabatement passe de 24,25% lorsque la masse de BCM augmente de 10 mg à 1000 mg. Cet accroissement est attribué à la disponibilité des sites libres avec la masse de BCM. Le pH optimum pour l'élimination de BM par le BCM est 10. L'adsorption de BM est meilleure en milieu basique (87,88%) comparée au milieu acide (74,13%); cela s'explique par le fait qu'en milieu basique, la surface du bioadsorbant est négative, d'où l'accroissement des interactions électrostatiques avec les cations organiques provenant de la dissociation des molécules de BM. L'adsorption de BM sur le BCM est mieux décrite par le modèle de Langmuir qui donne des coefficients  $R^2$  proches de 1 ; ce qui suppose une adsorption en monocouche, absence d'interactions entre les molécules adsorbées et celles encore au coeur de la solution. Le modèle de pseudo-ordre 1 décrit mieux l'adsorption de BM sur le BCM .

Le BCM est donc un adsorbant potentiel pour l'élimination de BM en solution aqueuse

# *Conclusion générales*

## **Conclusion Général**

Le but de ce travail est d'étudier l'élimination des colorants avec adsorption sur des résidus de matières organiques. Nous nous sommes appuyés sur des études antérieures.

Les études précédentes ont évalué des déchets organiques pour leur utilisation comme bioadsorbant afin d'éliminer des polluants organiques surtout les colorants.

Cette évaluation s'effectue par l'étude des effets des paramètres opératoires comme la concentration initiale du colorant, la masse de déchet organique, le pH de la solution, la température, le temps de contact,..... sur le rendement de l'élimination de polluant à partir de la phase aqueuse. Tous les résultats montrent que le phénomène d'adsorption est fortement influencé par ces paramètres.

# *Référence Bibliographique*

## Références

- [1] Mr. YAHIAOUI TARIQ. Contribution à l'étude de l'élimination des colorants textiles par adsorption sur des matériaux naturels traités. MAGISTER. UNIVERSITE FERHAT ABBAS- SETIF-1; 22/12/2015 P8-10
- [2] AGA SARA ; Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de quelques colorants textiles par des résidus issus de l'industrie agroalimentaire ; Diplôme de MAGISTER ; UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1- 2015 ;p04
- [3] BOUSNOUBRA Ibtissem ; Contribution à l'élimination de colorants (Vert de méthyle et Bromocrésol pourpre) par procédés photochimiques en phase homogène (séparés et mélangés), en phase hétérogène en milieu aqueux et par adsorption (Vert de méthyle) sur ZnO. Diplome de:Doctorat ; Université Mentouri Constantine ;2017 ;p07.08.09
- [4] Amir Anushiravani : Application of Electrocoagulation Process for Reactive Red 198 DyeRemoval from the Aqueous Solution, Article, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran, (May 2014)
- [5] Lamri Naidja : Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption, Mémoire de magister en chimie, Université Mentouri de Constantine, (2010)
- [6] FARDJAOUI Nor-El-Houda ; Synthèse des aluminosilicates de type géopolymères et zéolite LTA à partir des kaolins. Application à l'adsorption des métaux lourds (Cu(II), Cr(VI)) et des colorants textiles (jaune bezanyl, vert nylomine) ; Doctorat ; Professeur, U 08 Mai 1945, Guelma ; 2018 ;P37.P41.P42
- [7] Bentahar Yassine ; Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : Application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse ; THESE Docteur ; 2016 UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI ; TETOUAN ;p29 ,30,31,32
- [8] BOUCHERIT Nabila ; Traitement des colorants textiles par procédés de couplage : Fenton-enzyme ; Thèse de Doctorat ; UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU ; 2016 ;p18 ;19 ;20
- [9] Bahia MEROUFEL Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes ; T H È S E Docteur ; l'Université de Lorraine ; 2015 ;p80 ;81 ;95

- [10] KPINSOTON Gloria Murielle Rostandi ; Elaboration de catalyseurs à base de charbons actifs et de N latérites pour la dégradation du bleu de méthylène par procédé Fenton hétérogène ; THÈSE DE DOCTORAT Université Cadi Ayyad, Maroc 2019 ; p56 ;
- [11] FATMA MEDJDOUB , DIPLOME DE DOCTORAT LMD, Adsorption Du Paracétamol Par L'utilisation Des Différents Types D'adsorbants Naturels. UNIVERSITE MHAMED BOUGARA BOUMERDES ,2017/2018,p24
- [12] AGA SARA ; Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de quelques colorants textiles par des résidus issus de l'industrie agroalimentaire ; Diplôme de MAGISTER ; UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1- 2015 P15
- [13] FATMA MEDJDOUB , DIPLOME DE DOCTORAT LMD, Adsorption Du Paracétamol Par L'utilisation Des Différents Types D'adsorbants Naturels. UNIVERSITE MHAMED BOUGARA BOUMERDES ,2017/2018P28,29, 30
- [14] MAZOUZ Radia , Valorisation de laitier granulé d'Arcelor- Mittal (Algérie) pour l'adsorption d'un colorant cationique à partir d'une solution aqueuse en mode dynamique, diplôme de Doctorat , Chimie Analytique et Environnement, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2016,p18
- [15] Hadj Abdelkader née Benselka Naima ; *Synthèses d'argiles anioniques ( MgFeCO<sub>3</sub> )par coprécipitation et dégradation thermique de l'urée et applications à l'élimination de colorants anioniques dans les effluents textiles ;DOCTORAT EN SCIENCES Chimie des matériaux ; Université des sciences et de la technologie USTO « Mohamed Boudiaf » ; 2014-2015*
- [16] AZZOUZ AINES ; Etude comparative de la capacité d'adsorption des matériaux naturels vis-à-vis de certains polluants ; diplôme de MAGISTER ; Chimie Industrielle ; UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN Mohamed BOUDIAF ; 2011 ;p33-34
- [17] BENTAHAR, Y.Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Thèse de doctorat : Génie des Matériaux et de l'Environnement. Université de Nice-Sophia Antipolis, 2016,171p.
- [18] BOUGHAITA, I. Essais de dépollution des eaux contaminées par un composé organique par l'utilisation de nouveaux biosorbants. Thèse de doctorat : Matériaux et Environnement. Université de Skikda, 2018,147p

- [19] S. Boumchita<sup>1\*</sup>, A. Lahrichi<sup>2</sup>, Y. Benjelloun<sup>1</sup>, S. Lairini<sup>1</sup>, V. Nenov<sup>3</sup>, F. Zerrouq<sup>1</sup>; "Elimination d'un colorant cationique dans une solution aqueuse par un déchet alimentaire : Epluchure de pomme de terre "2016,
- [20] Deepak Pathania <sup>a,□</sup>, Arush Sharma <sup>a</sup>, Zia-Mahmood Siddiqi <sup>b</sup>,l'élimination du colorant rouge Congo du système aqueux à l'aide de graines de Phoenix dactylifera;2016
- [12] - *Bahia MEROUFEL* Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes ; T H È S E Docteur ; l'Université de Lorraine ;P95-104
- [22] Article Kifline Milebudi KIFUANI \*, Anatole KIFUANI KIA MAYEKO, Philippe NOKI VESITULUTA, Bernard ILINGA LOPAKA, Gracien EKOKO BAKAMBO, Blaise MBALA MAVINGA et Jérémie MUSWEMA LUNGUYA" Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de *Cucumeropsis manni* Naudin"2018



## Résumé

Les colorants sont des composés toxiques et leur présence dans l'eau rejetée présente un grand problème, et pour éliminer ces colorants contenus dans l'eau ou réduire leur concentration, de nombreux traitements chimiques, physiques et biologiques sont mis en œuvre, notamment la technique d'adsorption, car elle est plus facile et moins coûteuse à appliquer..

Ce travail, qui consiste à appliquer l'adsorption comme technique d'élimination des colorants a démontré que l'adsorption est affectée par le pH du milieu, la température, la concentration initiale en colorant et la quantité d'adsorbant. Le modèle cinétique du pseudo second ordre est appliqué pour décrire la cinétique d'adsorption.

**Mots clés :** adsorption, biosorbants ; colorant, les déchets

## المخلص

تعتبر الأصباغ من المركبات السامة ووجودها في المياه المفرغة يمثل مشكلة كبيرة ، وللتخلص من هذه الأصباغ الموجودة في الماء أو تقليل تركيزها ، يتم تنفيذ العديد من المعالجات الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية وخاصة التقنية الامتزاز ، لأنه أسهل وأقل تكلفة للتطبيق.

أظهر هذا العمل المتمثل في تطبيق الامتزاز كتقنية لإزالة الصبغة أن الامتزاز يتأثر بدرجة الحموضة ودرجة الحرارة وتركيز الصبغة الأولي وكمية المادة الماصة. يتم تطبيق النموذج الحركي الزائف من الدرجة الثانية لوصف حركية الامتزاز.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز ، المواد الماصة الحيوية ؛ صبغ النفايات