



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar El-OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire

N° d'ordre :

N° de série :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

en Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

**Elimination du bleu de méthylène dans les solutions
par de *l'Arthrospira platensis* : modélisation et
optimisation**

Présenté Par :

M^{elle} : DACHRI Radhia

M^{elle} : DACHRI Fatma Zohra

M^{elle} : BOUKI Ahlam

Soutenue le: 07/06/2023

Devant le jury composé de:

Président	Mme Houmri nawal	MAA	Université d'El Oued
Examineur	Mr MEDJOUR Abdelhak	MAA	Université d'El Oued
Promoteur	Mr HADDAD Larbi	MCA	Université d'El Oued

Année universitaire 2022/2023



Résumé

Le bleu de méthylène est un polluant environnemental qui a un effet toxique sur les organismes vivants dans les milieux aquatiques. Dans cette étude, nous avons tenté d'éliminer le dangereux colorant cétogène en utilisant un matériau biosorbant renouvelable et efficace représenté par la microalgue *Arthrospira platensis* (SMA). Nous avons étudié les propriétés physiques du Spirulina par plusieurs méthodes analytiques, FTIR, EDX-SEM et pHz. L'application Box-Behnken design (BBD) a été adoptée. Dans la méthodologie de surface de réponse (RSM) dans le processus d'amélioration des facteurs étudiés (t, pH, m). La fonction de désirabilité numérique a déterminé la plus grande élimination obtenue à 95,85 % dans les conditions idéales (t = 116,02 min, pH 5,29, m = 85,6mg). Le modèle isotherme de Langmuir a été présenté Capacité d'absorption de 177,23 mg/g, révélant ainsi la dynamique Le processus d'adsorption est spontanément endothermique et le processus cinétique a été décrit par le modèle cinétique de pseudo-second ordre. Quant au processus de diffusion, il s'avère qu'il se déroule selon trois étapes.

Mots clés : adsorption, bleu de méthylène, *Arthrospira platensis*, méthodologie de surface de réponse (RSM), Box-Behnken design (BBD).

Abstract

Methylene blue is an environmental pollutant that has a toxic effect on living organisms in aquatic environments. In this study, we attempted to eliminate the dangerous ketogenic dye by using a renewable and effective biosorbant material represented by the microalgae *Arthrospira platensis* (SMA). We studied the physical properties of Spirulina (SMA) by several analytical methods, FTIR, EDX-SEM and pHz. The Box-Behnken design (BBD) application was adopted. In the response surface methodology (RSM) in the process of improving the studied factors (t, pH, m). The numerical desirability function determined the greatest removal achieved at 95.85% under ideal conditions (t=116.02 min, pH 5.29, m=85.6mg). Langmuir's isothermal model was presented Absorption capacity of 177.23 mg/g, revealing the dynamics the adsorption process is spontaneously endothermic, and the pseudo-second-order kinetic model described the kinetic process, As for the diffusion process, it turns out that it takes place in three stages.

Keywords: adsorption, Methylene blue, *Arthrospira platensis*, response surface methodology (RSM), Box-Behnken design (BBD).

المخلص

المثيلين الأزرق هو ملوث بيئي له تأثير سام على الكائنات الحية في البيئات المائية. في هذه الدراسة ، حاولنا إزالة الصبغة الكاتيونية الخطرة باستخدام مادة ماصة حيوية متجددة وفعالة تمثلها الطحالب الدقيقة /الأرثروسبيرا بلاتنسيس(SMA). درسنا الخصائص الفيزيائية لسبيرولينا بعدة طرق تحليلية ، FTIR ، EDX-SEM و pHz. تم اعتماد تطبيق تصميم (Box-Behnken (BBD). في منهجية سطح الاستجابة (RSM) في عملية تحسين العوامل المدروسة (t ، pH ، m). حددت دالة الاستحسان العددية أكبر إزالة تم تحقيقها عند 95.85٪ في ظل ظروف مثالية (t = 116.02 min ، pH 5.29 ، m = 85.6mg). تم تقديم نموذج لانجموير متساوي الحرارة بسعة امتصاص 177.23 ملجم / جم مما يكشف عن الديناميكيات ، وعملية الامتزاز ماص للحرارة تلقائياً ، وقد تم وصف العملية الحركية بالنموذج الحركي من الدرجة الثانية الزائفة. أما عملية النشر فقد تبين أنها تتم على ثلاث مراحل.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز ، المثيلين الأزرق ، أرثروسبيرا بلاتنسيس ، منهجية سطح

الاستجابة (RSM) ، تصميم (Box-Behnken Design (BBD).

Remerciements

Tout d'abord, remerciements et louanges à Dieu Tout-Puissant, car c'est à Lui qu'incombe tout le mérite d'avoir achevé ce travail.

Nous remercions vivement notre cher encadreur le Dr. Haddad Larbi pour tout le temps consacré, tous ses conseils précieux et surtout pour sa patience durant la période de notre encadrement. Sans son soutien continu et ses précieux conseils, ce travail n'aurait pas été accompli.

Ensuite, nos remerciements sont adressés à Mme Houmri Nawal présidente de jury et au Mr Medjour Abdelhak examinateur de jury pour avoir accepté l'examen de notre mémoire.

Nous remercions le personnel du laboratoire, et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicace

لمن سكننا قلبي وأنارا دربي

أمي وأبي

لمن كان دعاءهم سر نجاحي

أجدادي

إلى من بوجودهم اكتسب القوة

لمن كان لهم الفضل في وصولي هذه المرحلة من حياتي

إخوتي، عائلتي

لكل من وقف معي بصدق ووفاء وشجعني

شكرا لكم من القلب...❤

دشري راضية



إلى من كلله الله بالهبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى
من أحمل اسمه بكل افتخار

♥ والدي العزيز

والى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان

♥ أمي الغالية

إلى رفيق الدرب، وصديق الأيام جميعًا بحلوها ومرّها

♥ زوجي الغالي

لمن كان لهم الفضل في وصولي هذه المرحلة في حياتي

إخوتي

و ثم اشكر زميلاتي برفقتهم عملنا وشاركنا في اتمام مشرع التخرج

دشري راضية ودشري فاطمة الزهراء

وإلى القريبين من القلب والداعمين والمساندين في السراء والضراء

شكرا لكم.

أحلام بوكي



الحمد لله الذي وهبنا التوفيق و السداد و منحنا و أعاننا على إتمام هذا العمل
وما نهاية هذا الدرب الا التوفيق من عند الله ، الي الذي رحل عني قبل ان
يراني في هذا المكان الذي تمناه ، من اشتعل رأسه شيبا في سبيل رعايتنا الي
من احمل اسمه بكل فخر

أبي الغالي رحمه الله،

الي من ساندتني بدعائها سهرت الليالي تنير دربي من تشاركني افراحي

وأمنياتي الي نبع العاطفة والحنان

أمي الحنونة الغالية حفظها الله،

الي زوجي العزيز وسندي في هذه الحياة،

الي الذين ظفرت بهم هدية من الاقدار إخوة فعرفوا معنى الإخوة،

إخوتي، أخواتيالأعزاء

أمي الثانية وعمي رحمه الله من كافح من أجلى للوصول الي ما أنا عليه،

الي اتكاني وذراعي صديقات العمر

احلام، راضية،

لكل من ساندني لأصل هنا اهدي هذا العمل المتواضع

دشري فاطمة الزهرة



Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Caractéristiques physico-chimiques du Bleu de Méthylène	12
2	Comparaison de technologies physiques et chimiques, de dépollution des effluents textiles chargés de colorants synthétiques .	13
3	Principales Différences entre les deux types d'adsorption	18
4	Taxonomie récapitulative .	28
5	Conditions expérimentales pour la conception de BBD pour l'adsorption de MB	44
6	Modèles de concentration de l'étude cinétique	46
7	Propriétés SMA avant et après adsorption	52
8	Attribuer des niveaux aux facteurs de Box-Behnken.	55
9	Trois variantes BBD Matrice et données expérimentales Pour supprimer le MB(%)	55
10	Analyse de variance (ANOVA) pour l'efficacité d'élimination du MB	57
11	Statistiques d'ajustement	58
12	Facteurs thermodynamiques Adsorption du MB à différentes températures	69
13	Les valeurs des constantes isothermes pour les modelés de Langmuir et Freundlich	73
14	Constantes de la cinétique d'adsorption du BM sur le SMA	76
15	Constantes Modèle de diffusion intra particulaire et valeurs R² à différentes concentrations de MB	78

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Pollution de l'air	6
2	pollution de l'eau	7
3	les colorants organiques	10
4	Colorant bleu de méthylène	11
5	structure moléculaire par Bleu de méthylène	12
6	Schéma de l'adsorption physique	17
7	Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux	19
8	Modèle d'adsorption de Langmuir	22
9	Modèle d'adsorption de multicouche	22
10	Variabilité morphologique chez <i>Arthrospira fusiformes</i> dans deux Lacs de soude à la frange nord-est irrégulière du lac Tchad. (A, b, c) sauvage des trichomes frais du lac Kailala ; (d, e, f) trichomes sauvages f fixés dans Formaldéhyde (2%) du lac Kossorom. (f) Montre que ± Des trichomes droits peuvent également être présents dans un échantillon sauvage. Bar Marqueur = 40 mm (Photos C. Sili	29
11	cycle de vie d' <i>Arthrospira platensis</i>	30
12	échantillon de spiruline de la commune de Lotaya province de Biskra	35
13	commune de Lotaya province de Biskra	36
14	Solution de colorant bleu de méthylène	38
15	Appareil de spectroscopie infrarouge	39
16	Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)	39
17	réglage de la valeur du PH	46
18	Centrifuger	47
19	Échantillon pour La lecture de l'absorbance	47
20	Mélange (SMA-MB) après dilution	47
21	Spectromètre FTIR de (a) SMA et (b) SMA après adsorption de colorant MB.	50

22	SEM de (a) SMA et (b) SMA après adsorption de colorant MB	51
23	Analyse EDS de SMA avant et après l'adsorption	51
24	Le Spectromètre DRX du SMA	53
25	courbe pHz pour l'échantillon SMA	54
26	Plan de la relation entre les valeurs prédites et réelles de l'élimination de MB(%).	60
27	Diagramme de désordre pour l'adsorption	61
28	La matrice BBD à 3 facteurs et les données expérimentales pour l'efficacité d'élimination des MB	62
29	Tracé de surface de réponse 2D et 3D (a,b) de contour de l'efficacité d'élimination du colorant (MB%) montrant l'interaction entre A(m) et le temps.	63
30	(a) Diagramme de surface de réponse 3D et b bidimensionnel contour 2D de l'efficacité d'élimination du MB montrant l'interaction entre A(m) et le pH	63
31	Tracés d'une surface (3D) et b bidimensionnel contour (2D) pour l'interaction AB (A(m) vs (pH))	64
32	Pentes de désirabilité pour optimiser les importants coefficients d'entrée d'adsorption de l'élimination du colorant MB (%) par SMA	65
33	Thermodynamique d'adsorption du bleu de méthylène	68
34	Effet des concentrations initiales et du temps d'équilibrage sur l'adsorption de MB par SMA	70
35	Modelés de Langmuir et Freundlich d'adsorption de colorant MB sur SMA	73
36	Effet du temps de contact sur l'adsorption de MB à différentes concentrations initiales	78

Liste d'abréviations

Abréviations	Signifie	unité
SMA	Spiruline microalgue	/
ANOVA	Analyse de variance	/
RSM	méthodologie de réponse de surface	/
BBD	Box-Behnken Design	/
FTIR	Infrarouge à transformation de fourrier	/
DRX	Diffraction de rayons X	/
MEB	Microscope électronique à balayage	/
PFO	Le modèle de pseudo-premier ordre	/
PSO	Le modèle pseudo-second ordre	/
MB	Bleu de méthylène	/
T	température	k/°C
PH	degré d'acidité	/
t	Temps	min
V	Volume	ml
C	La concentration	Mg/l
C0	La concentration initiale de l'adsorbant	Mg/l
Ce	La concentration de l'adsorbant a l'équilibre	Mg/l
Abs	absorbance	/
λmax	Longueur d'onde maximale	nm
ΔG	l'énergie libre de Gibbs	kJ/mol
ΔH	Le changement d'enthalpie	kJ/mol
ΔS	Le changement d'entropie	kJ/mol
Kd	Coefficient de distribution d'adsorption	/
qe	La quantité adsorbée a l'équilibre	g/mg
qmax	La quantité maximale adsorbée	g/mg
R	Constante du gaz universel	J·K⁻¹·

		mol⁻¹
R	Rendement d'élimination	%
R2	Coefficient de régression	/
A	La masse de l'adsorbant	mg
qt	capacité d'adsorption à l'instant t	mg/g

Sommaire

Résumé	
Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste d'abréviations	
Introduction.....	1
Partie I:Synthèse Bibliographique	
CHAPITRE 1: Généralités sur la pollution de l'environnement et les colorants organiques	
I. Pollution de l'environnement	5
1.Concept Pollution de l'environnement.....	5
2. Type des pollutions	5
2.1. Pollution de l'air	5
2.2. Pollution du sol terrestre.....	6
2.3.Pollution du l'eau.....	6
2.3.1. Sources de pollution de l'eau	6
2.3.2. Principaux types de polluants des eaux	7
2.3.2.1. Température et pH	7
2.3.2.2. Matières organiques	7
2.3.2.3. Matières en suspension.....	8
2.3.2.4. Matières toxiques	8
2.3.2.6. Matières microbiologiques.....	8
2.4.Autres formes de pollution.....	8
II .polluants	9
Généralités.....	9
1.colorants organiques.....	9
2.Classification de colorants organiques.....	9
a) colorants naturels	10
b) colorants synthétiques.....	10
3. Application des colorants	11
4. Colorant bleu de méthylène	11
4.1. Propriétés physiques et chimiques	12
4.2. Toxicité des colorants	13
5. Avantages et inconvénients des techniques de traitement avec quelques exemples.....	13

Chapitre2: Phénomène d'adsorption

1. Définition d'adsorption	17
2. Différents types d'adsorption	17
2.1. Adsorption physique ou physisorption	18
2.2. Adsorption chimique ou Chimisorption	19
3. Mécanismes d'adsorption	19
4.2. Modélisation des isothermes	22
4.2.2. Isotherme de Freundlich	23
5. Paramètres affectant l'adsorption.....	25
6.1 Modèle de premier ordre	27
8. Différents types d'adsorbants.....	29

CHAPITRE 3: Présentation d'*Arthrospira platensis*

Présentation d' <i>Arthrospira platensis</i>	30
1. Présentation d' <i>Arthrospira platensis</i>	30
2. Taxonomie d' <i>Arthrospira platensis</i>	30
3. Description morphologique.....	30
4. Croissance et extraction	31
5. Cycle de vie	32
6. Composition chimique.....	32
7. Répartition géographique en le monde.....	33
8. Facteurs climatiques.....	33
9. Avantages d' <i>Arthrospira platensis</i>	33

Partie II: Partie expérimentale

CHAPITRE4: Matériel et Méthode

1. Description de la zone d'étude.....	37
1.1. Coordonnées géographique et astronomique	37
1.2. Lieu pris d'échantillon	37
2. Matériel et méthodes	38
2.1. Matériels biologiques.....	38
2.2. Matériel non biologique et équipement	38
2.3. Préparation de l'adsorbat	40
Méthode de préparation.....	40
3. Analyse Physico-chimie de l'adsorbant	41
3.1. Spectroscopie infrarouge (FTIR)	41
3.2. Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)	41
3.3. Cristallographie aux rayons X (DRX)	42

3.4. Étudier l'envoi d'échantillon (pHz).....	42
4. conception utilisée	43
4.1. Modélisation à l'aide de la méthodologie de réponse de surface(RSM)	43
4.1.1. Terminologie RSM.....	43
4.1.2 Étapes de modélisation	44
4.1.3. Conception expérimentale.....	45
4.2. Condition Expériences d'adsorption.....	46
4.3. Expériences d'adsorption.....	46
5. Etude thermodynamique.....	47
6. Etude cinétique.....	48
7. Extraits de travaux de laboratoire	48

CHAPITRE 5 : résultats et discussion

1. Caractérisation physicochimiques du <i>Spirulina platensis</i>	52
1.1. Spectroscopie infrarouge (FTIR)	52
1.2. Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)	53
1.3. Cristallographie aux rayons X(DRX)	55
1.4.Étudier la charge de l'échantillon pHz	55
2. Planification expérimentale	56
2.1. Modélisation à l'aide de la méthodologie de réponse de surface	56
3.Analyse du modèle BBD	59
3.1.Statistiques d'ajustement	60
3.1.1. Équation finale en termes de facteurs codés	60
3.1.3. La relation entre les valeurs d'absorbance attendues et réelles est illustrée	61
4. Expériences d'adsorption.....	63
4.1 . Conditions optimales pour les factures d'adsorption.....	64
4.2. Interactions significatives.....	64
4.3. Optimisation par la fonction de désirabilité.....	66
4.4. Expériences de confirmation	68
5. Modélisation thermodynamique.....	68
6. Etudes cinétique	71
6.1 Modélisation Isotherme.....	72
6.1.1. Langmuir isotherme	72
6.1.2. Freundlich isotherme.....	73
6.2. Modélisation cinétique.....	75
6.2.1 Modèle de pseudo-premier ordre	75
6.2.2.Modèle pseudo-second ordre	76

7. Modèle de diffusion intra particulaire	77
Conclusion	81
Référence	
Annexes	

INTRODUCTION

GENERALE

L'eau est une ressource essentielle et une matière première essentielle dans de nombreuses industries, notamment la pharmacie, l'électronique, l'alimentation, les boissons, la pétrochimie, l'agrochimie, les industries pétrolières et gazières et les usages domestiques [1]. L'élimination directe de l'eau contaminée rejetée par ces applications pose des risques élevés pour l'environnement et est une préoccupation croissante en raison de sa myriade de contaminants. Les eaux usées contiennent divers composés, dont certains à des concentrations hautement toxiques pour les organismes. De plus, des quantités importantes de nutriments inorganiques et organiques sont libérées dans l'environnement, ce qui se traduit par une demande chimique en oxygène (DCO) et une demande biologique en oxygène (DBO) élevées. L'eutrophisation des milieux aquatiques causée par des charges excessives de phosphore (P) et d'azote (N) entraîne des problèmes environnementaux tels que la génération de déchets solides et des émissions désagréables dans l'air [2,3]. Il favorise également la croissance de microbes indésirables qui menacent d'autres formes de vie aquatique et détériorent la qualité de l'eau potable, ce qui contribue à des problèmes de santé courants dans les régions voisines de la zone de rejet [4]. L'inhalation, l'ingestion et le contact directs de ces substances toxiques, même à de très faibles concentrations, peuvent entraîner des menaces importantes pour la santé humaine et augmenter le risque de développer des cancers [5,6].

Pour l'élimination des contaminants, y compris les colorants [7], les métaux lourds dangereux [8], les engrais [8], les pesticides [9] et les produits chimiques halogénés [10] et phénoliques [11], plusieurs approches de remédiation ont été développées. Des techniques telles que la précipitation [12], la coagulation/floculation [13], l'échange d'ions [14], l'osmose inverse [15], la filtration membranaire [16], l'électrochimie [17], la photoélectrochimie [18] et les méthodes biologiques [19] ont été démontrées qu'ils ont des degrés divers d'efficacité corrective. Plusieurs inconvénients de ces méthodes ont été remarqués, tels que le faible coût et l'efficacité énergétique, la production élevée de boues d'épuration, la génération de sous-produits toxiques et l'introduction de produits chimiques potentiellement dangereux dans l'écosystème [20-23]. La procédure la plus intéressante et la plus économique s'est avérée être la forme d'adsorption.

La microalgue *Arthrospira platensis* proposée dans la présente étude appartient à la famille des cyanobactéries. Leur croissance est peu sensible à

paramètres environnementaux fluctuants [24]. En conséquence, cette biomasse à croissance rapide a développé une plus grande faisabilité pour la production de biodiesel [25]. De plus, les groupes fonctionnels enrichis de *Arthrospira platensis* aide également à l'adsorption des ions métalliques. Le peptidoglycane, les phospholipides et les lipopolysaccharides sont quelques-uns des groupes fonctionnels anioniques de cette espèce qui pourraient aider à la liaison des métaux. Les espèces d'algues contiennent également des groupes fonctionnels importants tels que le sulfate, le phosphate, l'hydroxyle, le carbonyle et d'autres groupes chargés qui privilégier la liaison aux métaux lourds [26]. Cette microalgue, outre de lourds métaux, a également été couramment utilisé pour l'adsorption de colorants contenant effluents [27]. L'un des importants polluants, ce sont les colorants une fois qu'ils sont dissouts dans l'eau, ils seront parfois ardu à traiter car ils ont une origine synthétique et une structure moléculaire complexe qui les rend plus stables et difficilement biodégradables [28, 29], donc peuvent constituer des facteurs de risques pour notre santé et de nuisance pour notre environnement. Alors il est nécessaire de limiter le plus possible ces polluants en mettant en place un moyen de traitement adapté comme une unité de décoloration [30].

Notre objectif est de préserver notre écosystème en appliquant une méthode verte et renouvelable à traiter les eaux polluées en utilisant une matière biologique non toxique qui peut se trouver en grandes quantités, à savoir les algues. Pour mettre en évidence notre mémoire, nous proposons la division de notre manuscrit comme suit :

Synthèse bibliographique :

Chapitre 1 : Généralités sur la pollution de l'environnement et les colorants organiques.

Chapitre 2 : Phénomène d'adsorption.

Chapitre 3 : Présentation d'*Arthrospira platensis*.

Partie expérimentale :

Chapitre 4 : Matériel et Méthode.

Chapitre 5 : Résultats et discussion.

Partie I.

Synthèse Bibliographique

CHAPITRE 1

Généralités sur la pollution
de l'environnement et les
colorants organiques

I. Pollution de l'environnement

1. Concept Pollution de l'environnement

Les scientifiques de l'environnement et du climat diffèrent dans une définition précise et une définition spécifique du concept scientifique de pollution de l'environnement. La qualité qui se produit dans la composition des éléments de ce système conduit à un déséquilibre dans ce système, et à partir de là, nous constatons que la pollution de l'environnement fonctionne d'ajouter un élément qui n'existe pas dans l'écosystème ou qu'il augmente ou diminue la présence d'un de ses éléments d'une manière qui conduit à l'incapacité de l'écosystème à accepter cette matière qui provoque un dysfonctionnement de ce système. [31]

2. Type des pollutions

2.1. Pollution de l'air

Aussi appelée pollution atmosphérique, la pollution de l'air est sûrement le type de pollution le plus connu et le plus dévastateur. De base naturelle puis fortement multipliés par l'activité humaine depuis le XIX^{ème} siècle (**voir figure1**), les gaz à effet de serre sont les principaux bourreaux de notre planète. Ces gaz, en plus de polluer la Terre, sont également à l'origine du réchauffement climatique que l'on observe dorénavant sur la totalité de la surface du globe.

Les autres polluants atmosphériques comme par exemple les particules fines sont également très néfastes pour la planète. Elles vont détruire la couche d'ozone terrestre ce qui va laisser passer les rayons ultraviolets nocifs à travers l'atmosphère. Tous ces polluants vont petit à petit réduire la qualité de l'air et vont ainsi provoquer la perte de nombreux organismes vivants ainsi que le développement de diverses maladies cardiovasculaires.

Certains pays de l'Union européenne comme la France ont mis en place des normes pour encadrer la qualité de l'air afin de réduire au maximum la pollution atmosphérique.[32]



photo1 : Pollution de l'air[33]

2.2. Pollution du sol terrestre

La pollution des sols est l'une des pollutions dont on parle le moins, car c'est assurément la moins visible par la population mondiale. Cependant, cette pollution peut s'avérer très dangereuse pour la santé. Cette pollution consiste à la contamination des sols par le rejet de produits chimiques directement dans le sol. Une fois rejetés dans le sol, ces produits viennent ensuite contaminer les cultures agroalimentaires (pesticides, engrais) qui sont ensuite ramassées et ingurgitées par l'homme.[34]

2.3.Pollution de l'eau

Cette pollution provient de différentes origines. Elle peut provenir de la pollution industrielle (dégazage des bateaux en mers, rejets de produits chimiques), de la pollution par le biais de l'agriculture (utilisation de produits chimiques qui viennent contaminer les nappes phréatiques), de la pollution automobile (rejet d'huile ou carburant dans les cours d'eau) ou du non-traitement des eaux usées.[32]

2.3.1. Sources de pollution de l'eau

Rappelons que la pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines. Elle connaît trois principales

Sources qui sont :

rejets urbains résultant de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des Activités domestiques, artisanales et tertiaires ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines,

rejets agricoles résultant de la percolation des eaux de pluie dans les sols et de son

Ruissellement, de l'épandage de produits chimiques sur les sols (engrais, pesticides), des activités Maraîchères et des élevages,

rejets industriels les rejets des procédés industriels qui utilisent de l'eau dans la composition, la fabrication et le nettoyage d'un produit.[35]



Figure 2 : pollution de l'eau[36]

2.3.2. Principaux types de polluants des eaux

L'incidence des rejets sur notre environnement peut s'apprécier au regard des élévations de plusieurs paramètres

2.3.2.1. Température et pH

La température est un paramètre important surtout pour les eaux usées industrielles (Principalement les industries agro-alimentaires, les centrales nucléaires...) qui produisent des Eaux chaudes. L'émission d'une eau propre mais chaude dans un milieu naturel peut créer une Pollution. Les modifications de température de pH, perturbent le développement normal de la faune et de la flore.[37]

2.3.2.2. Matières organiques

Les rejets contenant des substances organiques sont à l'origine d'une surconsommation de l'oxygène présent dans le milieu récepteur et peuvent, s'ils sont trop abondants, entraîner la mortalité des poissons par asphyxie. La pollution par les

matières organiques présente également un impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.[38]

2.3.2.3. Matières en suspension

Par leur effet obscurcissant, les matières en suspension présentes dans les eaux diminuent la Photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau. Les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène. Par ailleurs, les matières en suspension donnent aux rivières un aspect sale et trouble et peuvent gêner les poissons ou entraîner leur mortalité par bouchage des branchies.[39]

2.3.2.4. Matières toxiques

Certaines substances présentes dans les rejets industriels peuvent, même à dose Infinitésimale, être dangereuses pour le milieu aquatique et pour l'homme (en cas de baignade ou d'ingestion).[40]

2.3.2.5. Matières azotées et phosphorées

Une augmentation de la pollution par une matière azotée entraîne, d'une manière générale, une croissance excessive des algues et plantes dans le milieu récepteur et une consommation supplémentaire de l'oxygène dissous, d'où une dégradation du milieu aquatique (phénomène d'eutrophisation). Elle a également un impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation Humaine. Le phosphore est lui aussi l'un des facteurs de la prolifération d'algues.[41]

2.3.2.6. Matières microbiologiques

Elles correspondent à la présence dans l'eau de germes pathogènes pour l'homme ou pour La faune aquatique. Ces différentes matières polluantes peuvent être liées : une pollution azotée ou phosphorée entraîne une pollution organique par eutrophisation, ce qui génère des particules organiques et peut être toxique. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes, et à l'apparition des maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques.[42]

2.4. Autres formes de pollution

Il existe encore de nombreuses formes de pollution comme par exemple la pollution lumineuse, électromagnétique, visuelle, sonore ou encore spatiale. Bien que ces nouvelles formes de pollution (pour la majeure partie créée par l'Homme) soient assez récentes à l'échelle de l'humanité et moins présentes que celles citées précédemment, elles n'en restent pas moins dangereuses et problématiques. À terme, ces nouveaux types de pollution risquent d'être aussi nocifs que les pollutions plus classiques.[43]

II .polluants

Généralités

Il s'agit de toute substance qui n'existe pas dans la nature dans le milieu fluvial ou qu'il trouve à des concentrations supérieures à une concentration normale dans la nature et qui affecte également le milieu aquatique d'une manière qui entraîne ces effets indésirables. Les installations et biens, or réduisent l'efficacité de production. En général, les polluants sont des substances qui envahissent l'écosystème aquatique en grande quantité, les déchets industriels et les déchets de production, ou qui se retrouvent sous-produit de tout processus industriel ou de toute activité dans le milieu. Les polluants peuvent être solides, semi-solides, solides, liquides, gazeux, sous forme de brouillard ou de petites particules. [44]

Les polluants de l'eau et du sol menacent la capacité des agriculteurs à produire la nourriture nécessaire pour nourrir la population mondiale, et les polluants marins menacent de nombreux organismes marins. Dans notre étude, nous nous concentrerons sur les polluants de l'eau, en particulier les colorants.

1.colorants organiques

Leur utilisation par l'industrie textile constitue une grave menace pour l'environnement car leur présence dans l'eau, même en très petite quantité, est très visible et indésirable ; leur présence dans les systèmes aquatiques réduit donc la pénétration de la lumière, ce qui entrave la photosynthèse. (Figure 2). L'affinité tinctoriale pour les fibres est particulièrement développée pour les colorants à caractère acide ou basique prononcé. Ces propriétés sont uniques aux colorants organiques et augmentent sa stabilité dans l'environnement, ce qui le rend moins sujet à la biodégradation. Les colorants se caractérisent par leur capacité à absorber le rayonnement lumineux dans le spectre visible (380 à 750 nm). La lumière blanche est convertie en lumière colorée par réflexion sur le corps, ou par transmission ou diffusion, ce qui amène des groupes spécifiques d'atomes appelés chromophores à absorber sélectivement l'énergie. Les molécules de pigment sont des chromogènes. Plus il est facile pour un chromophore de donner des électrons, plus la couleur est foncée. [45]

2.Classification de colorants organiques

Les colorants organiques peuvent être divisés en deux catégories selon leur synthèse :

□ Colorants naturel

□ Colorants synthétique



Figure 3 : les colorants organiques. [46]

a) colorants naturels

Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : garance, cochenille, indigo, pourpre. Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. Du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus strictes. [47]

b) 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 de 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, fusine, 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.).[48]

3. Application des colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont Voici quelques-unes essentielles :

- Teinture et impression sur fibre et tissus de tous genres ;
- Teinture du bain et filage des fibres chimiques ;
- Teinture du cuir et des fourrures, du papier et du parchemin, des feuilles et des plastiques ;
- Colorants pour toutes les techniques de la peinture ;
- Préparation des couleurs à la chaux pour les pré-colorations et enduits sur bâtiments ;
- Colorants pour l'impression des papiers peints et préparation des encres ;
- Colorations des denrées alimentaires, des emplois médicaux et cosmétiques.[49]

4. Colorant bleu de méthylène

Le bleu de méthylène, également connu sous le nom de chlorure de méthylthioninium, est un composé organique de formule chimique $C_{16}H_{18}ClN_3S$, et est généralement un solide cristallin inodore et soluble dans l'eau. C'est une pure poudre vert foncé. Le bleu de méthylène est utilisé comme colorant dans diverses industries et en biologie, par exemple pour colorer les bactéries afin de mieux les voir.[50]




Figure4: Colorant bleu de méthylène. [51]

4.1. Propriétés physiques et chimiques

MB a une variété de propriétés chimiques et physiques, résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du Bleu de Méthylène [52]

Usuel	
Nom	Bleu de méthylène
Figure 5. structure moléculaire par Bleu de méthylène	
Formule moléculaire	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ SCl
masse molaire	mol/g 319.85=M
Solubilité 20°C	40g/l dans l'eau
λ _{max} (nm)	664
Nom régulier	Bis (dimethyl amino)-phenothiazin -5-ium-3.7- Choride
Point de fusion	190 °c

4.2. Toxicité des colorants

La toxicité des colorants provient de l'ignorance de la recherche ou de la recherche. Contrairement à leur installation d'un type à l'autre. Et motif Le travail est pour une idée. Ses effets sont démontrés dans des études anciennes. Les colorants azoïques sont cardiaques, c'est-à-dire que l'effluent qu'ils contiennent. Les colorants doivent être traités avant d'être rejetés dans le milieu naturel. Je l'ai nommé oligo-éléments des groupes cancérigènes tels que les aromatiques, Phtalocyanine, cyanure, sels de baryum et de plomb. Ces entreprises de broyage de poitrine (en

Bases périphériques pour l'ADN et l'ARN. Cela conduit à des mutations du code génétique et à des modifications du risque cancer [53].

5. Avantages et inconvénients des techniques de traitement avec quelques exemples

Plusieurs méthodes (physiques, biologiques et chimiques) ont été utilisées pour traiter les substances contaminées par des colorants. Les méthodes physiques comprennent la réduction, l'échange d'ions, la précipitation, la précipitation et les méthodes membranaires (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse) ; les traitements techniques industriels comprennent la biodégradation : blanchiment fongique, hydrolyse microbienne, décoloration des algues, biosorption des passages de corps vivants ou morts. Biomasse microbienne, ou élimination par la biomasse agricole et les colorants enzymatiques. (Tableau 2) résume certains d'entre eux avec quelques exemples. [52].

Tableau 2 : Comparaison de technologies physiques et chimiques, de dépollution des effluents textiles chargés de colorants synthétiques.[54]

Technologie	Exemples	Avantages	Inconvénients
Coagulation – flocculation	Alun : $Al(OH)_3$ $Ca(OH)_2$ $FeCl_3$ Polyélectrolytes	Équipement simple Décoloration relativement rapide Réduction significative de la DCO	Formation de boues Adjonction obligatoire de produits chimiques Fonctionnement onéreux Coagulants non réutilisables Réduction spécifique de la couleur Peu d'information sur la réduction de DBO et DCO
Filtration sur Membranes	Osmose inverse Nanofiltration Microfiltration Ultrafiltration	Utilisation simple et rapide Pas d'addition de produits chimiques Faible consommation énergétique Réduction de la couleur Traitement de grands volumes	Investissement important Sélectif Encrassement rapide des membranes par colmatage Pré et post-traitements nécessaires
Adsorption	Carbone activé Silice	Réduction efficace de la couleur Technologie simple Faible coût d'utilisation pour certains adsorbants	Investissements et coûts de fonctionnement élevés Lent et limité en volume Régénération onéreuse des adsorbants (voir impossible) Sélectif Formation de boues

Réduction chimique	Chlorure d'étain Hydrosulfite de Sodium	Décoloration rapide et efficace des azoïques	Formation d'amines aromatiques (toxiques) Dégradation incomplète
Oxydation Chimique	Ozone	Traitement de gros volumes Diminution nette de la coloration Décoloration rapide et efficace des colorants solubles et insolubles	Investissements et coûts de fonctionnement élevés Efficacité limitée pour certains colorants Sous-produits d'oxydation inconnus
	Réactif de Fenton	Opération simple Oxydant puissant	Coûts élevés Sous-produits d'oxydation inconnus
	Chloration	Décoloration rapide et efficace	Formation de sous-produits de chloration (trihalométhanes cancérigènes)

CHAPITRE 2

Phénomène d'adsorption

1. Définition d'adsorption

L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. Elle est essentiellement utilisée pour le traitement de l'eau et de l'air[55]. Elle peut être définie comme étant un phénomène physicochimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles. L'adsorption phénomène de surface, est donc à distinguer de l'absorption, phénomène de profondeur.

Il existe cinq types d'interfaces selon la nature des deux phases : gaz / liquide, gaz/solide, liquide/liquide, liquide/solide, solide/solide, et pour chacun de ces types d'interfaces, on peut distinguer le cas où ces phases sont pures de celui où elles constituent des mélanges.

Il sera examiné dans cette étude que les phénomènes d'adsorption se rapportant aux interfaces liquide/solide, à savoir donc l'adsorption des liquides, purs ou en mélange, par les solide considérés généralement comme des phases pures[56]. L'adsorption dans ces cas peut être définie comme étant une opération physique de séparation des mélanges, et le processus dans lequel une substance est éliminée par une autre, dans laquelle elle se trouve concentrée à l'interphase[57]. Ce phénomène est le résultat de l'interaction d'une molécule ou d'un atome libre (l'adsorbat) avec une surface. (Adsorbant). En effet, toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas tous leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant les atomes et les molécules passant à proximité[58]. Le phénomène inverse par lequel les molécules se détachent de la surface des matériaux est la désorption. Donc, l'adsorption est un phénomène spontané qui se produit dès qu'une surface solide est mise en contact avec un gaz ou un liquide[59].

2. Différent types d'adsorption

Selon la nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique[60].

2.1. Adsorption physique ou physisorption

L'adsorption physique ou physisorption est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celles de la substance adsorbée (forces de Van der Waals) [61]. Dans la physisorption les liaisons molécule-surface sont de faible énergie, en général, comprises entre 0 et 40 KJ/mol.

Les autres caractéristiques associées à la physisorption sont :

- □ La physisorption est entièrement réversible ce qui permet d'avoir à la fois l'adsorption et la désorption. La physisorption s'accompagne de faibles quantités de chaleurs d'adsorption sans changement structurel de la surface.
- □ Contrairement à la chimisorption, la physisorption peut conduire à une couverture de la surface par plus d'une couche. Donc les pores peuvent être remplis par l'adsorbât,
- □ L'équilibre est atteint spontanément puisqu'il n'y a pas d'énergie d'activation, et d'autant plus vite que la température est basse (de manière analogue à un phénomène de condensation gaz-liquide).
- □ Il n'existe pas de sites spécifiques d'adsorption, les molécules adsorbées ne sont pas limitées à des sites particuliers et sont libres de couvrir toute la surface. [62]

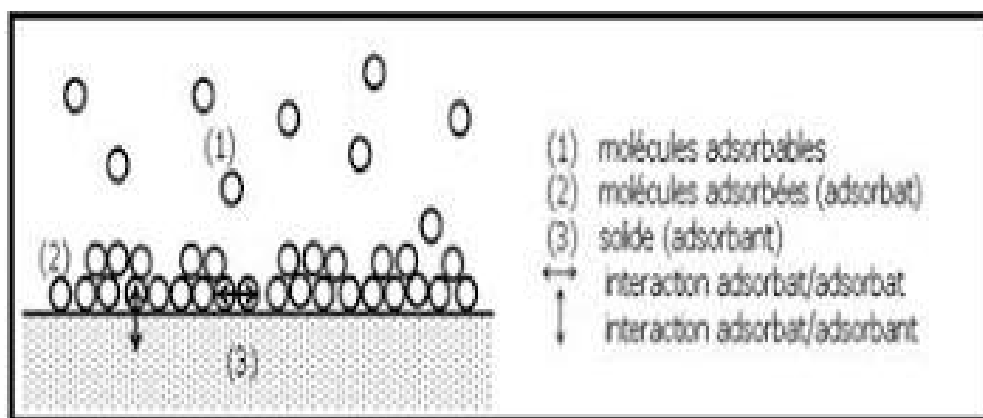


Figure6:Schéma de l'adsorption physique[63]

2.2. Adsorption chimique ou Chimisorption

Dite Chimisorption est un phénomène irréversible due à une liaison chimique forte de type covalente entre les atomes superficiels du solide et les molécules adsorbées, ce type d'adsorption met en jeu des énergies d'attractions élevées[64], qui conduisent à des chaleurs d'adsorption élevées, approchant souvent aux énergies de liaisons chimiques mises en jeu sont supérieures à 80 kJ.mol^{-1} [65]. La distance entre la surface et la molécule adsorbée est plus courte que dans le cas de la physisorption[66].

Le tableau suivant présente les différences entre les deux types d'adsorption[67].

Tableau3:Principales Différences entre les deux types d'adsorption.

Propriétés	physisorption	Chimisorption
Chaleur l'adsorption	Favorisée par une baisse de la température	Favorisée par une température élevée
vitesse	Rapid (elle ne requiert pas d'énergie d'activation)	Moyenne(elle requiert une énergie d'activation qui ralentit le processus)
Liaison entre liquide et solide	Physique, type Van Der Waals	Chimique ,type. covalent. plans. caractère ionique
Etat de surface	Adsorption en multicouche possible	Adsorption en monocouche
Réversibilité	Très réversible	Difficilement réversible

3. Mécanismes d'adsorption

Pour mieux qualifier et quantifier la rétention, il convient de s'intéresser aux phénomènes qui se produisent à l'échelle moléculaire, c'est-à-dire, aux mécanismes d'adsorption. Les liaisons adsorbat/adsorbant sont de deux types :

❖ liaisons de fortes énergies ($> 80 \text{ kJ. mol}^{-1}$) : liaisons ioniques et échanges de ligands ;

❖ liaisons de faibles énergies ($< 80 \text{ kJ.mol}$) : interactions dipôle-dipôle, liaison hydrogène, interactions hydrophobes[68].

3.1. Description du mécanisme d'adsorption

Le processus d'adsorption est l'un des transferts de matière qui s'effectue entre le fluide et l'adsorbant. Il se produit principalement en plusieurs étapes. Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de matière a lieu de la phase fluide vers les sites actifs de l'adsorbant en passant par en quatre étapes[66,69].

La figure 7 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans les quels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec **le solide**.

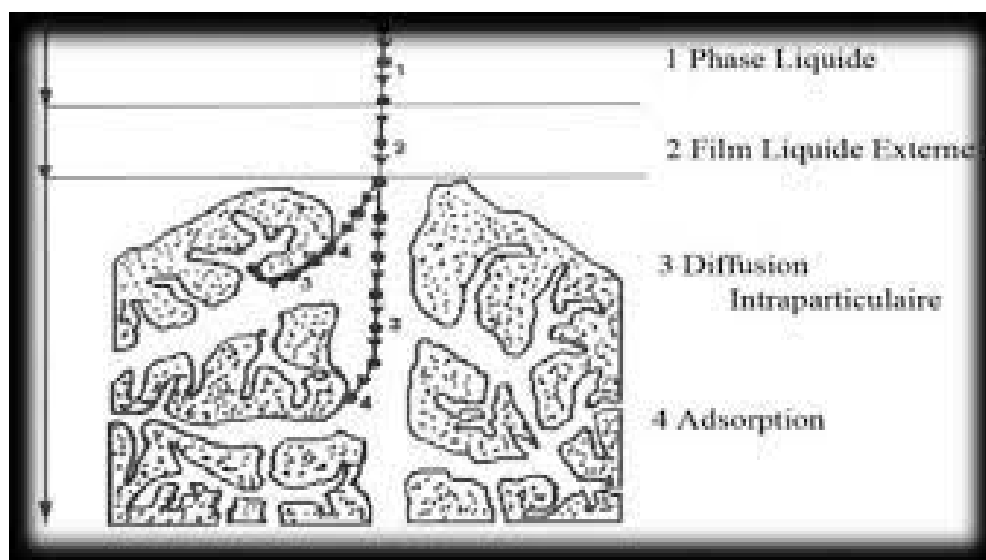


figure7: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux[70]

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

- ❖ Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant ;
- ❖ Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains) ;
- ❖ Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs) ;

❖ Interaction d'adsorption du colorant au contact des sites actifs. Une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile [66,69].

4. Adsorption en système Batch

L'adsorption comme tout processus de transfert est régie par un mécanisme d'échange entre les phases mises en présence. Le mécanisme d'adsorption dépend des caractéristiques physicochimiques du système et de conditions opératoires du procédé. Il fait appel au potentiel des forces motrices, au gradient de concentration et au coefficient de diffusion dans les pores[71].

4.1. Isotherme d'adsorption

L'isotherme d'adsorption, caractéristique de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbat, s'obtient généralement à partir d'expériences en batch où l'on mesure la concentration stabilisée de l'adsorbat restant en phase fluide après adsorption[72]. En d'autres termes, l'isotherme d'adsorption est la variation $Q_e = f(C_e)$ de la quantité Q adsorbée sur un solide à l'équilibre en fonction de la concentration à l'équilibre C du composé adsorbable, à une température donnée. La quantité adsorbée à l'équilibre peut s'exprimer dans différentes unités; on utilise principalement dans le d'adsorption en phase la mole **d'adsorbat** par masse d'adsorbat par de solide[73]. Lorsqu'un adsorbant et un adsorbat sont mis en contact, un équilibre thermodynamique s'installe entre les molécules adsorbées à la surface de l'adsorbant et les molécules présentes en phase fluide. A une température donnée, de la quantité de molécules adsorbées par unité de masse d'adsorbant en fonction de la concentration en phase fluide. En général, la concentration de l'adsorbat retenue par l'adsorbant et calculée par la différence entre la concentration initiale du soluté C_0 et la concentration finale de du soluté C [72]. La quantité du soluté adsorbée à l'équilibre q_t peut être généralement exprimée par la relation suivante :

$$qt = (C_0 - C_e) * \frac{v}{m} \quad \text{(II.1)}$$

Où :

- V : Volume de la solution.

- C_0 : Concentration initiale de l'adsorbat dans la phase liquide (mg/l).
- C_e : Concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).
- m : masse de l'adsorbant (g).

L'allure de l'isotherme varie selon le couple adsorbat/adsorbant étudié[74].

4.2. Modélisation des isothermes

L'isotherme décrit la relation existant à l'équilibre, pour une température donnée, entre la concentration de l'adsorbat dans la phase liquide et celle adsorbée à la surface de l'adsorbant[75]. Les trois isothermes les plus connues sont celles de Langmuir, Freundlich et BET (modèle de Brunauer Emmett et Teller).

4.2.1. Isotherme de Langmuir

L'équation (II.2) est connue sous le nom de l'équation de Langmuir, qui la proposa en 1915 et la confirma en 1916. Elle décrit les isothermes de type I. Une fois les valeurs de q_e et C_e déterminées expérimentalement, cette équation permet l'accès aux valeurs de K_L et q_m , paramètres caractéristiques du modèle de Langmuir. L'équation de Langmuir représente des adsorptions monocouche sans interaction entre les molécules adsorbées, sur une surface ayant un nombre de sites d'adsorption fini, possédant la même énergie[76].

$$(II.2) \frac{q}{qm} = \frac{ce * kL}{(1 + ce * kL)}$$

K_L (L.mg-1) : constante de Langmuir,

q_e (mg.g-1) : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre,

q_{max} (mg.g-1) : capacité maximale d'adsorption,

C_e (mg.L-1) : concentration de l'adsorbât à l'équilibre.

La linéarisation de la fonction de saturation par passage aux inverses donne :

$$\frac{1}{qm} = \left[\left(\frac{1}{qm} * kL \right) \left(\frac{1}{ce} \right) + \frac{1}{qm} \right] \quad (II.3)$$

L'équation obtenue est celle d'une droite de pente $1/qm \cdot K$ et d'ordonnée à l'origine $1/qm$; ce qui permet de déterminer deux paramètres d'équilibre de la

relation : q_m et K . Les caractéristiques de l'isotherme de Langmuir sont également définies par le facteur de séparation (adimensionnel) RL , qui est calculé par la relation suivante :

$$RL = \frac{1}{1+kLC_0} \quad (\text{II.4})$$

Si :

Si le : $RL > 1$ **adsorption non préférée.**

Si le : $RL = 1$ **adsorption linéaire.**

Si le : **adsorption préférée ($0 < RL < 1$).**

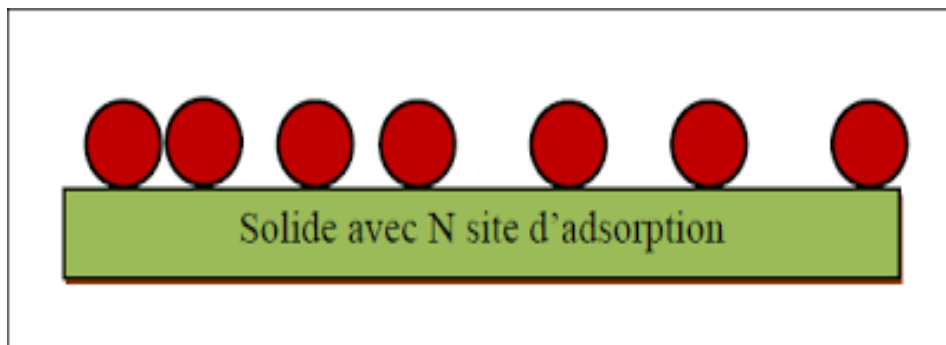


Figure8:Modèle d'adsorption de Langmuir[78]

4.2.2.Isotherme de Freundlich

Le modèle d'adsorption de Freundlich est utilisé dans le cas de formation possible de plus d'une monocouche d'adsorption sur la surface et les sites sont hétérogènes avec des énergies de fixation différentes (figure8). Il est souvent utilisé pour décrire l'adsorption chimique des composés organiques sur le charbon actif, à des concentrations élevées dans l'eau et les eaux de rejet [79].

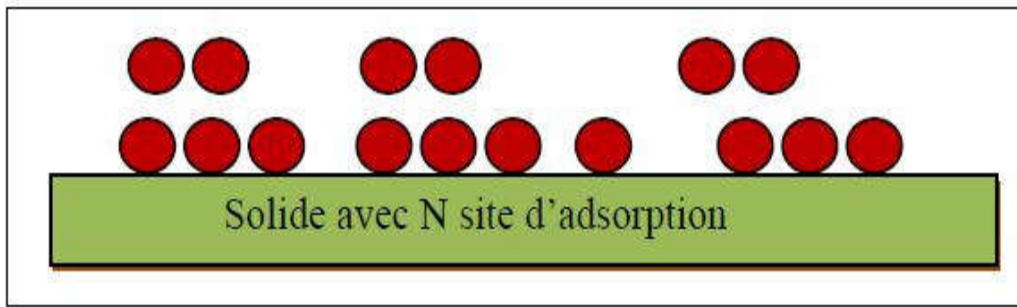


figure9:Modèle d'adsorption de multicouche.

L'isotherme d'adsorption de Freundlich repose sur l'équation empirique (II.5).

$$q_e = k_F * c_e^{1/n} \quad (\text{II.5})$$

q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g) ;

C_e : Concentration des polluants sur le solide (mg/l) ;

K_F : Constante empirique corrélée à la capacité de fixation de l'adsorbat ;

n : Constante relative à l'affinité entre l'adsorbat et la surface.

Les valeurs de $n > 1$ indiquent une adsorption favorable, des valeurs de $n < 1$ révèlent une faible adsorption.

Ou K_F et $1/n$ sont les constantes de Freundlich, indicatives de l'intensité et de la capacité d'adsorption. Cette formule a été exploitée sous sa forme linéaire par l'équation suivante :

$$\log q_e = \log k_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log c_e \quad (\text{II.6})$$

Il s'agit de l'équation d'une droite sous forme de pente $1/n$ et d'ordonnée à l'origine $\log k_F$.

$1/n$: est l'affinité du soluté pour l'adsorbant et représente la pente de droite. Selon les valeurs de $1/n$, on distingue :

$1/n = 1$: l'isotherme est linéaire de type C.

$1/n > 1$: l'isotherme est concave de type S.

$1/n < 1$: l'isotherme est convexe de type L.

$1/n \ll 1$: l'isotherme est de type H[80]

L'extrapolation de cette équation pour $C = C_0$ (concentration initiale en soluté), à condition que C_0 reste une constante, on obtient la capacité ultime d'adsorption (q_m) dans le domaine de concentration étudié.

4.2.3. Modèle de Brunauer, Emmett et Teller (BET)

Le modèle BET est basé sur l'hypothèse que les molécules peuvent s'adsorber à la surface de l'adsorbant en plusieurs couches. Ce modèle est utilisé par de nombreux auteurs pour décrire l'adsorption à l'équilibre de composés organiques volatils dans les sols et leurs constituants. L'allure de l'isotherme est très différente de celle des isothermes de Langmuir ou de Freundlich. On observe en effet un premier palier correspondant à la saturation de la 1^{ère} couche, puis une reprise de l'adsorption correspondant à la formation de multicouche moléculaires (phénomène non traduit par les modèles de Langmuir et Freundlich).

L'isotherme de BET est représentée par l'équation suivante[81]:

$$\frac{qt}{qm} = \frac{kB\left(\frac{c}{C_0}\right)}{\left(1-\frac{c}{C_0}\right)\left[1+\frac{(kB-1)c}{C_0}\right]} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

- **C** : Concentration au temps t (mg/l) ;
- **C₀** : Concentration initiale (mg/l) ;
- **qt** : Capacité adsorbée au temps t en (mg/g) ;
- **qm** : Capacité de rétention mono moléculaire en (mg/g) ;
- **KB** : Constante de BET.

5. Paramètres affectant l'adsorption

Un grand nombre de paramètres sont susceptibles d'avoir une influence sur le processus d'adsorption du soluté en phase liquide, entre autres. Les facteurs qui affectent le procédé d'adsorption sont les propriétés de l'adsorbant et de l'adsorbât[82] :

a) Propriétés de l'adsorbât[83,84]

- Sa masse moléculaire ;
- Sa polarité ;
- Sa solubilité ;
- La taille des molécules ;
- La nature des groupements fonctionnels (acides ou basiques) ;

b) Propriétés de l'adsorbant[83,85]

- Surface spécifique ;
- La nature physico-chimique de la surface ;
- La distribution de la taille des pores ;

C) Les conditions opératoires[86]

- La concentration en adsorbant et en adsorbat ;
- La température de la solution ;
- Les forces ioniques ;
- Le pH du milieu ;
- Le temps de contact entre l'adsorbant et l'adsorbat ;
- Vitesse d'agitation.

6. Cinétique d'adsorption

L'équilibre thermodynamique entre l'adsorbat en phase liquide et l'adsorbant fixé sur le solide, est atteint avec une cinétique qui dépend non seulement de la vitesse ; à laquelle les constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant au sein du fluide; mais aussi de l'interaction adsorbant/adsorbat.

Les paramètres cinétiques sont utiles pour la prévision du taux d'adsorption, qui fournit une information pour modéliser le processus. Généralement trois modèles sont utilisés pour l'analyse de la cinétique d'adsorption[59]

6.1 Modèle de premier ordre

LAGERGREN (1898) a proposé le modèle cinétique du pseudo-premier ordre[87]:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 * (q_e - q_t) \quad (\text{II.8})$$

L'intégration de cette équation nous donne :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln \quad (\text{II.9})$$

Ou q_e et q_t sont respectivement les quantités de soluté adsorbées (mg.g^{-1}) à l'équilibre et à l'instant t ; k_1 est la constante de vitesse de pseudo-premier ordre (min^{-1}) dont la valeur est estimée en traçant $\ln (q_e - q_t) = f(t)$. La valeur de q_t est obtenue par la relation :

$$q_t = (c_e - c_t) \frac{V}{m} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

C_t : La concentration résiduelle de la solution (mg.l^{-1}) à l'instant t .

C₀ : La concentration initiale de la solution (mg.l^{-1})

V : Le volume de la solution (l).

m : La quantité d'adsorbant en solution (g).

Ce modèle considère l'adsorption comme limitée par la formation de la liaison entre soluté et site actif [88]

6.2 Modèle de second-ordre

L'équation différentielle du modèle d'adsorption du second- ordre est donnée sous forme[89]

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{II.11})$$

L'intégration de l'équation (II.10) donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (\text{II.12})$$

k₂ : constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre (g mol⁻¹ min⁻¹);

q_e : la quantité d'adsorbât à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg.g⁻¹) ;
La quantité d'adsorption à l'équilibre (q_e) et la constante du pseudo-second ordre taux **k₂** peuvent être déterminées expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de **t/q_t** en fonction de t [90].

6.3. Modèle de diffusion intra-particulaire

Les deux modèles qui précèdent ne peuvent pas décrire exactement le mécanisme de diffusion, Weber et Morris ont proposé un modèle théorique basé sur la diffusion intra particulaire, décrit par l'équation (II.11) suivante [91] :

$$q_t = k D t^{1/2} + c \quad (\text{II.13})$$

Avec :

K_d : Constante de vitesse de diffusion intra-particulaire (g. mg⁻¹.min^{-1/2}).

C : Constante liée à l'épaisseur de la couche limite (mg/g).

La représentation de q_t en fonction de t^{1/2} permet de calculer la constante de vitesse K_d.

7. Domaines d'application de l'adsorption

L'adsorption qui s'avère comme un traitement efficace à l'industrie. En pratique, elle est utilisée dans les cas suivants [92] :

- ❖ Traitement des gaz ou « Séparation et purification des gaz » : cette opération permet la déshumidification de l'air ou d'autres gaz, l'élimination d'odeurs ou d'impuretés sur des gaz, la récupération des solvants.
- ❖ Décoloration et traitement des eaux issues des différentes industries agroalimentaires, textiles....etc.)

- ❖ Traitement des huiles « Séparation liquides » : la fractionnement des mélanges d'hydrocarbures ,la décoloration des produits pétroliers (raffinage des produits pétroliers) et des solution aqueuses de sucre (le catalyse)[93].
- ❖ La chromatographie gazeuse (méthode de fractionnement basée sur les différences de vitesse d'adsorption de substances différentes, sur un adsorbant donné) [94].

8. Différents types d'adsorbants

Tous les solides agissant comme adsorbants sont caractérisés par une structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active par unité de masse. Les adsorbants utilisés dans la pratique sont, soit de nature organique (végétale ou animale), soit de nature minérale. Ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but d'augmenter la porosité.

Les adsorbants les plus utilisés dans les applications de traitement des eaux sont les suivants: Argile, charbon actif, gel de silice, zéolite et les oxydes métalliques[95].

CHAPITRE 3

Présentation

d'Arthrospira

platensis

1.Présentation d'*Arthrospira platensis*

Arthrospira platensis est une cyanobactérie spiralée de couleur bleu-vert photo-autotrophe. C'est un organisme procaryote qui partage avec les plantes la capacité d'effectuer la photosynthèse. À partir de composés minéraux, d'eau et de l'énergie lumineuse captée grâce à leur chlorophylle, elle fixe le CO₂ et dégagent l'oxygène.[96]qui tire sa couleur vert bleuâtre du pigment vert chlorophylle et du pigment bleu produit à partir de la protéine phycocyanine. Elle a été découverte au milieu des années soixante. [97]Elle peut être unicellulaire ou multicellulaire Organismes dépourvus de membrane nucléaire Bien que leur système photosynthétique soit proche de celui des eucaryotes car il contient Chlorophylle A et photosystème II (PS-II). [96]Ses bienfaits n'ont été découverts qu'à la fin du siècle dernier lorsqu'il a commencé à être utilisé comme complément alimentaire car il contient plusieurs substances utiles à l'homme. [97]

2.Taxonomie d'*Arthrospira platensis*

Tableau4: Taxonomie récapitulative .

Règne	Monère ou Bactérie
Sous-règne	Procaryote
Phylum ou Division	Cyanophytes ou Cyanobacteries
Classe	Cyanophyceés
Ordre	Oscillatories
Famille	Oscillatoriaceés
Genre	Arthrospira
Espèce	<i>Arthrospira platensis</i>

3.Description morphologique

Arthrospira platensis d'une longueur moyenne d'environ 250 µm, constituée de filaments mobiles d'un diamètre de 10 à 12 µm, non ramifiés et enroulés en spirale. La forme hélicoïdale du trichome est caractéristique du genre, mais les paramètres

hélicoïdaux varient avec espèces, et même au sein d'une même espèce, des différences ont été observées dans ces paramètres. Le diamètre est $18\mu\text{m}$ à $20\mu\text{m}$ dans le premier et $16\mu\text{m}$ à $18\mu\text{m}$ dans ce dernier.[98]



Figure10 : Variabilité morphologique chez *Arthrospira* fusiformes dans deux Lacs de soude à la frange nord-est irrégulière du lac Tchad. (A, b, c) sauvage des trichomes frais du lac Kailala ; (d, e, f) trichomes sauvages f fixés dans Formaldéhyde (2%) du lac Kossorom. (f) Montre que ±Des trichomes droits peuvent également être présents dans un échantillon sauvage. Bar Marqueur = 40 mm (Photos C. Sili..[99]

4.Croissance et extraction

Les cyanobactéries se développent plus tôt que les plantes et se caractérisent par un système génétique simple et un rendement élevé en biomasse et en métabolites [100]. Les bons résultats de leurs produits dépendent de la souche choisie et de l'efficacité du système de culture [101]. Plusieurs paramètres de base ajustent la croissance des souches, notamment (1) l'intensité lumineuse, (2) le pH, (3) les échanges gazeux, (4) la source de nutriments et (5) le cycle lumière/obscurité. [101]

5. Cycle de vie

Cette période résume en trois étapes fondamentales: fragmentation des trichomes, cellules d'hormogonie les processus d'élargissement et de maturation, et allongement des trichomes. Les trichomes matures sont divisés en plusieurs petits filaments ou hormogonie par la formation antérieure de cellules spécialisées, les cellules de nécridium, dans lesquelles le matériel cellulaire est réabsorbé permettant la fragmentation. Le nombre de cellules dans les hormogonies est augmenté par la fission binaire. Pour ce processus, les trichomes poussent dans le sens de la longueur et prennent leur fer [102].

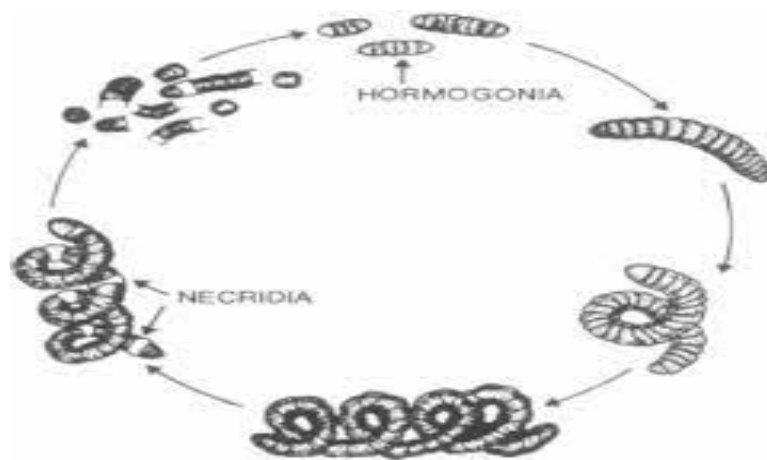


Figure 11: cycle de vie d'*Arthrospira platensis* [103]

6. Composition chimique

Arthrospira platensis sont des producteurs efficaces de métabolites bioactifs [104, 105, 106, 107, 108, 109]. Leur teneur en protéines représente plus de 60 % de la masse sèche [110]. En plus d'être une riche source de protéines, *Arthrospira platensis* contient des quantités appréciables de lipides (7,2 % *p/p*), de glucides (10,3 % *p/p*), de fibres brutes (8,5 %) et de minéraux (6,9 % *p/p*) [109]. Certains auteurs ont rapporté qu'*Arthrospira platensis* est une source d'acides aminés essentiels, d'acides gras polyinsaturés, d'acide γ -linolénique (GLA) et de stérols [105, 106]. Selon [86], la matière première d'*Arthrospira platensis* est riche en vitamines, avec la teneur la plus élevée en Niacine B₃ (14 mg.100 g⁻¹), Vit B₆ (0,8 mg.100 g⁻¹), Vit B₁₂ (0,32 mg.100 g⁻¹), et Vit K (2,2 mg.100 g⁻¹). Des variations importantes de la teneur en β -carotène chez *Arthrospira* (de 33,5 à 231,6 mg/100 g) ont été expliquées par la différence de région géographique, de saison de récolte et de méthode de séchage [107, 108]. La composition en acides gras des lipides algaux

comprenait principalement de l'acide palmitique (C16:0, 46%) et de l'acide linoléique (C18:2n-6, 17,4%) avec une teneur plus faible en acide γ -linoléique (C18:3n-6), acide palmitoléique (C16:1n-7), acide oléique (C18:1n-9) et acide myristique (C14:0) [110]. L'analyse de la composition en acides aminés a montré que *la Spiruline* se caractérise par une grande quantité d'acides aminés : glutamate (8,15%), aspartate (5,34%), alanine (4,54%), leucine (4,84%), arginine (3,96%), valine (3,34%), glycine (3%), tyrosine (2,58%) et proline (2,15%) [111].

7.Répartition géographique en le monde

Il est principalement distribué dans une large gamme en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud. Il pousse également naturellement dans les lacs alcalins et est produit commercialement dans de grands étangs extérieurs ou dans des serres.

8.Facteurs climatiques

✚ **Température** :37°C idéales pour la croissance, 43°C mortelles, 20°C retard de croissance.

✚ **pH** : Il doit être entre 9 et 11 pour sa croissance.

✚ **Lumière** : La lumière est la source d'énergie primaire des organismes réalisant la photosynthèse. Pour les microalgues, les périodes des régions les plus ensoleillées seront les plus favorisées pour la culture de microalgues compris la spirulina.[112]

9.Avantages d'*Arthrospira platensis*

Il présente de nombreux avantages, dont les suivants:

✓ Il s'est avéré plus efficace pour les enfants souffrant de malnutrition sévère.[113]

✓ Considérer comme une excellente source de vitamines B9 et B12 ainsi que de fer, la spirulina est bien adaptée aux femmes enceintes car elle leur permet d'accéder à tous les nutriments essentiels. Grâce à la phycocyanine qui augmente l'oxygénation des muscles et limite les crampes utérines, ces femmes peuvent mieux se préparer à l'accouchement et mieux

recupérer par la suite après avoir pallié la fatigue causée par l'allaitement .[114]

✓ Considéré comme un aliment « beauté » d'exception, la spiruline est utilisée aujourd'hui dans les soins anti-âges à connotation marine, dans la préparation de produits de soins en spa et thalasso (masques visage, enveloppements corporels), comme soins réparateurs et fortifiants des cheveux et des ongles, en cataplasme et enveloppement marins, comme soin revitalisant pour le corps ou masque minéralisant du visage .[115]

✓ elle constitue également un partenaire efficace pour calmer les douleurs rhumatismales et l'arthrose, la lutte contre l'ostéoporose, l'excès de cholestérol, l'hypertension, et les allergies. Elle protège le cœur et augmenterait la régénération des cellules cérébrales.[116]

Partie II.
Partie expérimentale

CHAPITRE 4

Matériel et Méthode

1. Description de la zone d'étude

1.1. Coordonnées géographiques et astronomiques

La wilaya de Biskra est située à l'est de l'Algérie, où elle est bordée au nord par la wilaya de Batna, au nord-ouest par la wilaya de M'silla, au nord-est par la wilaya de Khenchela, et à au sud par les wilayas de Djelfa et El-Oued, 35° 1' 60" N, 5° 36' 0" Est. [117]

1.2. Lieu pris d'échantillon

Arthrospira platensis prélevé dans la zone **biological Farm Al_KIRAM**, commune de Lotaya, province de Biskra.



Figure 12 : échantillon de spiruline de la commune de Lotaya province de Biskra

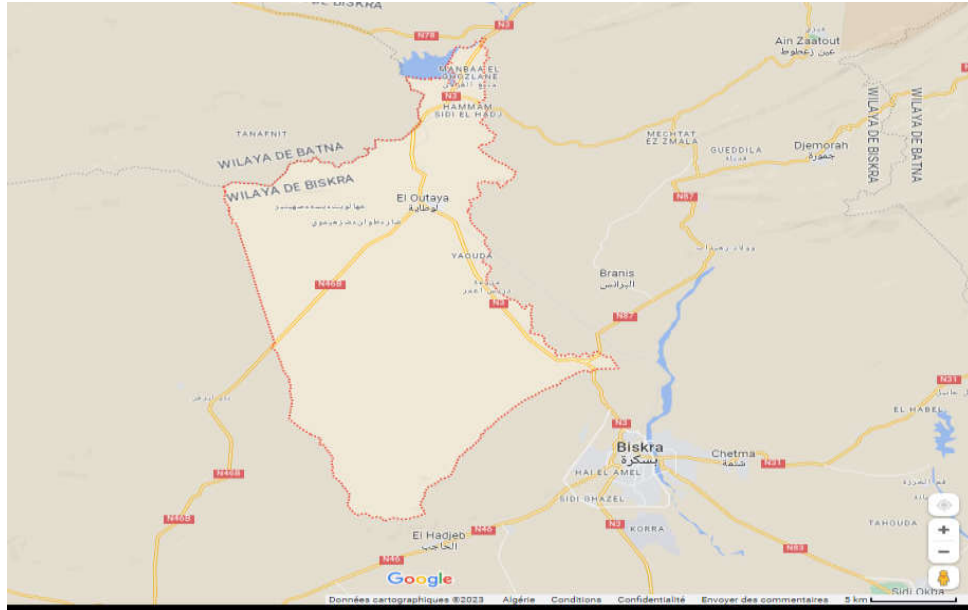


Figure 13 : commune de Lotaya province de Biskra [118]

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériels biologiques

Dans ce travail, nous avons utilisé l'échantillon de biomasse sèche d'*Arthrospira platensis* prélevé dans la zone **biological Farm Al_KIRAM, commune de Lotaya, province de Biskra**. Le chlorure est considéré comme cette substance biologique principalement en raison de la richesse de cette espèce en composés bioactifs. Nous broyons un échantillon de spiruline avec un broyeur électrique pour obtenir une poudre de spiruline de 80 μ m de diamètre qui a été conservée à l'abri de la lumière dans un flacon en verre scellé Etuve à 50°C jusqu'à son utilisation.

2.2. Matériel non biologique et équipement

Il se compose de verrerie, d'appareils électroménagers et Matériaux chimiques et organiques utilisés dans l'étude expérimentale.

Appareils

Appareils	
➤	Balance Électronique sensible
➤	Plaque chauffante agitateur
➤	Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)

- **Spectrophotomètre UV-visible.**
- **Centrifuger**
- **Spectroscopie infrarouge**
- **PH-mètre**
- **Cristallographie aux rayons(DRX)**
- **Etuve**

Outils et réactifs

Solution et réactifs	Outils
Eau distillée(H ₂ O) Bleu de méthylène(BM) acide chlorhydrique(HCl) d'hydroxyde de sodium (NaOH) Chlorure de sodium (Na Cl)	cristalliseur en verre Broyeur Béchers Pipette Spatule Cuves mélangeur magnétique. Falcon en verre Tube à essai éprouvette en verre fiole jaugée en verre thermomètre

2.3. Préparation de l'adsorbat

Tout d'abord, avant de procéder au travail appliqué, nous préparons notre matériau adsorbat, représenté par une solution de colorant bleu de méthylène

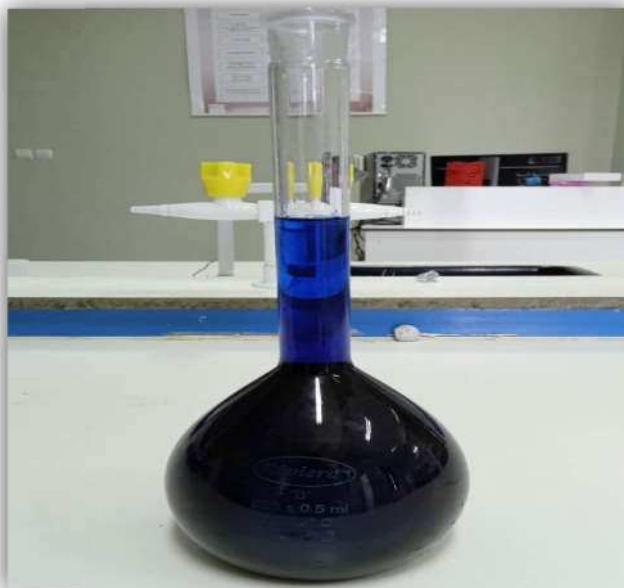


Figure14: Solution de colorant bleu de méthylène

Outils

Appareils	Solution et réactifs	Outils
Balance Électronique sensible	Eau distillée(H ₂ O) Bleu de méthylène(BM)	Répression. Falcon en verre

Méthode de préparation

- ✓ Nous avons pesé 100 mg de colorant et l'avons ensuite placé à l'intérieur de la jugulaire de 1000 ml.
- ✓ Ajouter progressivement de l'eau distillée à un tiers du volume en agitant jusqu'à ce que le colorant soit complètement dissous, puis ajouter le volume à la ligne standard.

3. Analyse Physico-chimie de l'adsorbant

3.1. Spectroscopie infrarouge (FTIR)

Nous avons effectué une spectroscopie infrarouge afin de détecter les éléments chimiques de notre adsorbant, ainsi que de distinguer les groupes ioniques qui en sont composés, ce qui permet de détecter les vibrations caractéristiques des liaisons qu'il contient.[119]

Nous avons préparé un groupe de pois dans des conditions fixes optimales (A : 85,6 mg ; pH : 5,29 ; t : 116.02 min). Le processus a ensuite été séparé par une centrifugeuse pour précipiter les échantillons après adsorption, séchage et analyse.



Figure15 : Appareil de spectroscopie infrarouge

3.2. Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)

Il est utilisé pour étudier la surface externe de toutes sortes d'échantillons et pour montrer les rapports chimiques exacts qui composent ces surfaces [120]



Figure16:Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)

3.3. Cristallographie aux rayons X(DRX)

Nous avons mené cette analyse afin de révéler la structure géométrique et les arrangements internes de la spirulina .C'est une technique qui consiste à imager des cristaux sous plusieurs angles par des rayons X. [121]

3.4. Étudier l'envoi d'échantillon (pHz)

Pour comprendre la charge « cationique, intermédiaire, ou ionique » du SMA, nous avons étudié la charge nulle à pH, cette étude est très importante dans les phénomènes d'adsorption pour connaître le type de forces électrostatiques présentes en surface [122], en ajustant 584,4mg de Na Cl avec une balance sensible, puis en ajoutant de l'eau distillée jusqu'à un volume de 250 ml.

Nous avons mis 25 ml dans 9 béchers et ajusté le pH dans chaque bécher (3_11) en ajoutant deux concentrations d'acide chlorhydrique et une concentration d'hydroxyde de sodium 0,08 mol et 0,04 mol, respectivement. Les valeurs ajustées ont été soigneusement surveillées à l'aide d'un compteur inoLab pH7110. Enfin, 25 mg d'adsorbant ont été ajoutés, placés dans un agitateur magnétique MS_H_S10 DLAB et agités pendant 24 heures, puis le pH a été mesuré.

4. conception utilisée

Le grand développement technologique et industriel que le monde a connu ces dernières années a endommagé les systèmes environnementaux, notamment aquatiques, ce qui a poussé les chercheurs à moderniser leurs procédés de purification, comme l'adsorption par exemple, en exploitant l'intelligence artificielle.

4.1. Modélisation à l'aide de la méthodologie de réponse de surface(RSM)

La méthodologie dite de surface de réponse (RSM) fait référence à des stratégies spécifiques dans le cadre de la conception d'expériences pour adapter, explorer et améliorer les surfaces de réponse en tant que modèles empiriques avec certaines données empiriques, Il a également des applications importantes dans la conception, le développement et la formulation de produits Nouveau. Le but de cette approche est non seulement de hiérarchiser l'influence de divers facteurs, mais aussi de décrire Répondre au comportement aussi précisément que possible en fonction des changements de facteurs.

Amélioration plus longue Réponses multiples Une méthode qui permet de rapprocher les différentes réponses grâce à la fonction d'appréciation Permet la combinaison de critères contenant différentes unités au moyen d'une fonction de désirabilité initiale Varie entre 0 et 1. La désirabilité de 0, c'est-à-dire la volonté initiale de prendre la valeur comme zéro, représente une configuration inacceptable pour la réponse choisie, alors que vouloir prendre la valeur 1 représente le cas idéal.[123]

4.1.1. Terminologie RSM

- **Conception** : il s'agit d'une planification de recherche pour mener une expérience spécifique afin d'obtenir des données pouvant être analysées et de parvenir à une conclusion spécifique.

- **Analyse** : C'est la dernière étape et comprend la méthode de collecte des données, de leur organisation et de leur réduction, puis la réalisation de certains tests statistiques qui sont utilisés pour prendre des décisions concernant les objectifs que l'expérience a été conçue pour étudier.

- **Expérience** : C'est une façon de tester l'hypothèse et de révéler la relation entre les variables.

- **Unité expérimentale** : C'est la plus petite partie de l'expérience et c'est l'échantillon auquel l'expérience est appliquée.

- **Traitements** : C'est le monde qui est appliqué aux unités expérimentales afin d'en atteindre le meilleur niveau, et il tient compte du fait que ces traitements sont distribués aléatoirement

- **Niveau factoriel** : Le champ de changement de facteur est limité à deux extrêmes, le mineur et le majeur, en se concentrant sur (- 1) et (1+).

- **Plan d'expérience** : C'est l'espace dans lequel les champs de changement de facteurs se croisent, ses bords sont toujours définis par (- 1) et (1+). [124]

4.1.2 Étapes de modélisation

A- Planification expérimentale

Pour une bonne planification expérimentale, il est souhaitable que le nombre d'essais à effectuer soit aussi bas que possible pour réduire les besoins de calcul, les retards et les coûts d'essai. Un bon choix en résultera. L'expérience aboutit à réduire la variance des coefficients de notre modèle mathématique, ce qui rendra les surfaces de réponse obtenues plus fiables. Pour ce faire, nous devons déterminer le plan d'expérience le plus approprié pour obtenir les expériences les plus intéressantes pour notre type de problème. Les mises en page utilisées dans l'étude RSM sont les suivantes : Dispositions quadratiques telles que les plans centraux composés (Box-Wilson) ou Box-Behnken.

B-modélisation

Lorsque nous utilisons RSM, nous essayons de relier la réponse continue y au nombre de facteurs k continu

Et contrôler X_1, X_2, \dots, X_p à l'aide d'un modèle de régression linéaire qui s'écrit :

$$y = fB(x_1, x_2, \dots, x_p) + \varepsilon \dots \text{(III.1)}$$

Bien que la forme exacte de la fonction de réponse f_B ne soit pas connue, l'expérience montre qu'elle est

Nous pouvons obtenir une bonne approximation avec notre polynôme.

En présence de deux facteurs, le modèle de régression linéaire a la forme :

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 + \varepsilon \dots \text{(III.2)}$$

C- Analyse de la variance

L'analyse de la variance est appelée "Analyse de la variance ; Dans la littérature anglo-saxonne Son nom est abrégé en ANOVA. En général, en matière de régression, le principe de l'analyse de la variance est la division Variance totale à une composante factorielle liée à l'équation de régression ou au modèle utilisé, et la composante. Sera représenté Les composantes factorielle et résiduelle sont mathématiquement mesurées par les carrés moyens, c'est-à-dire les variances. Au final c'est un avantage Analyse de la variance dans les tests de puissance absolue pour l'influence des facteurs sur les différences dans une réponse donnée.

4.1.3. Conception expérimentale

La méthodologie de surface de réponse est un ensemble de techniques mathématiques et statistiques utiles pour la modélisation et analyser des problèmes dans lesquels la réponse attentionnelle est affectée par de nombreuses variables et dont le but est d'améliorer Cette réponse.

La modélisation RSM est la procédure permettant de déterminer la relation entre des paramètres de processus indépendants avec une réponse souhaitée et explorer l'effet de ces paramètres sur les réponses, y compris six étapes. Dans notre étude, il comprenait La méthodologie de surface de réponse (RSM) comprend les six composants principaux suivants :

1. Déterminez les variables d'entrée indépendantes et les réponses de sortie requises.
2. Adopter une matrice de conception expérimentale en utilisant la conception expérimentale.
3. Effectuez une analyse de régression à l'aide du modèle quadratique RSM.

4. Analysez les résultats à l'aide de l'ANOVA
5. Déterminez l'état de la forme quadratique de RSM et déterminez s'il a besoin de variables de tri.
6. Améliorer et effectuer un test de validation et vérifier les performances attendues.[125]

4.2. Condition Expériences d'adsorption

Tableau5: Conditions expérimentales pour la conception de BBD pour l'adsorption deMB

<i>Run</i>	<i>m (mg)</i>	<i>t (min)</i>	<i>PH</i>
<i>1</i>	100	30	7
<i>2</i>	20	30	7
<i>3</i>	60	180	10
<i>4</i>	60	105	7
<i>5</i>	100	105	10
<i>6</i>	60	30	4
<i>7</i>	60	105	7
<i>8</i>	60	105	7
<i>9</i>	20	105	10
<i>10</i>	100	105	4
<i>11</i>	60	105	7
<i>12</i>	60	105	7
<i>13</i>	60	30	10
<i>14</i>	60	180	4
<i>15</i>	20	105	4
<i>16</i>	20	180	7
<i>17</i>	100	180	7

4.3. Expériences d'adsorption

✓ **Outils et appareils utilisés**

Appareils	Solution et réactifs	Outils
PH-mètre. Centrifuger	Eau distillée. solution de bleu de méthylène. NaOH. HcL	100 ml presse-agrumes. Biomasse SMA Feuille d'aluminium. Éprouvette graduée. pipette 1ml. Cuve. Mélangeur magnétique Aimant.

Méthode utilisée

✓ Dans 17 béchers, nous avons réparti uniformément la solution de bleu de méthylène dans chaque bécher de 100 ml.

- Nous ajustons la valeur du pH dans chaque bécher en fonction des conditions expérimentales de conception de en **Box-Behnken Design (BBD)**.

✓ ajoutant HcL et NaOH à une concentration de 0,1 mol.

✓ Nous couvrons le système étudié avec une feuille d'aluminium et y faisons de petits trous après avoir ajouté l'aimant et la biomasse, puis le mettons dans le mélangeur magnétique DLAB MS-H-S10 avec une vitesse d'agitation modérée jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint.

✓ Le mélange (SMA-MB) a été placé dans des tubes puis centrifugé à 3900 ppm pendant 5 minutes.

✓ Nous avons dilué la solution d'un facteur 25, puis l'avons mise dans une cuvette, et l'absorbance a été lue par un spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda = 664\text{nm}$.

5. Etude thermodynamique

Dans l'étude thermique, les facteurs m (masse), t (temps) PH (figure) ont été fixés, avec le changement de température respectivement 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C 45 °C.

Méthode utilisée

✓ Dans un bécher de 500 ml, on met 500 ml de la solution d'adsorbat, puis on règle la valeur du pH = 5,29.

✓ Le hêtre est placé dans le mélangeur magnétique avec un degré d'agitation modéré en ajoutant de la chaleur cette fois, et avec un thermomètre nous surveillons sa température jusqu'à ce qu'elle se stabilise à la valeur requise.

✓ On ajoute la biomasse puis on laisse le mélange jusqu'à l'équilibre.

On dilue le mélange d'un facteur 50 puis on le met dans une cuvette pour lire l'absorbance.

6. Etude cinétique

Dans les mêmes conditions précédentes, la solution est placée dans le mélangeur magnétique, et cette fois nous prélevons un échantillon du mélange avec une pipette de 1 ml et le plaçons dans un tube à essai dans l'ordre chronologique suivant (1, 2..., 5, 10...30.45..75..90.120.180) minutes . Ce processus est répété pour plusieurs concentrations.

Tableau6 : Modèles de concentration de l'étude cinétique

Concentration1 100mg/500ml	
Concentration2	75mg/500ml
Concentration3	50mg/500ml
Concentration4	25mg/500ml
Concentration5	12.5mg/500ml

7. Extraits de travaux de laboratoire

Dans ce titre, nous avons présenté un certain nombre de photographies prises lors de nos travaux de laboratoire :



Figure17 : Réglage de la valeur du pH



Figure18 :Centrifuger



Figure19 : Échantillon pour La lecture de l'absorbance



Figure20 : Mélange (SMA-MB) après dilution

CHAPITRE 5

Résultats et discussion

1. Caractérisation physicochimiques du *Spirulina platensis*

1.1. Spectroscopie infrarouge (FTIR)

F

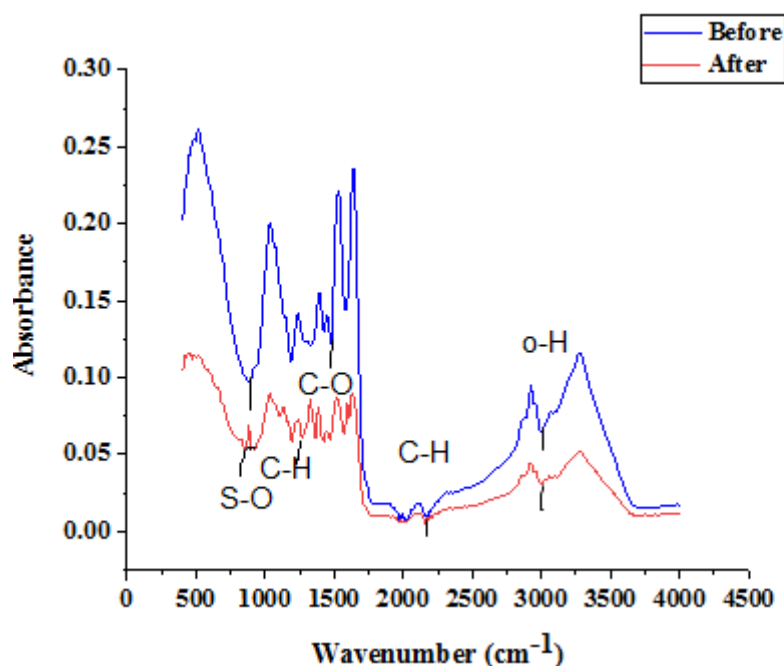


Figure21 : Spectromètre FTIR de (a) SMA et (b) SMA après adsorption de colorant MB.

La capacité d'adsorption des métaux est fortement influencée par les structures de surface de l'adsorbant telles que le type et le nombre de groupes fonctionnels. Groupes fonctionnels de l'adsorbant ont été déterminées par spectromètre FTIR. Le spectre FTIR de *S. platensis* a montré plusieurs grandes bandes intenses, autour de 3265, 2908, 1642, 1396 et 1024 cm^{-1} (Fig.21). Le pic est à 3265 cm^{-1} pourrait être attribuée aux groupes $-\text{OH}$ et $-\text{NH}$. Présence des vibrations d'étirement $-\text{CH}$ ont pu être confirmées par le pic d'adsorption à 2908 cm^{-1} . Les pics d'adsorption dans la région 1730–1390 cm^{-1} pourrait être attribuée à $-\text{C}=\text{O}$ étend les aldéhydes, les cétones et les carboxylates. De plus, $-\text{C}-\text{O}$, $-\text{C}-\text{C}$, et des vibrations d'étirement $-\text{C}-\text{OH}$ peuvent être trouvées au niveau de l'adsorption pics de la région 1300–1000 cm^{-1} . Les pics d'adsorption dans la région 750–900 cm^{-1} pourrait être attribué à $-\text{S}-\text{O}$, et vibrations d'étirement aromatique- CH . Le spectre FTIR de l'adsorbant a indiqué que les ions de cuivre pourraient être liés à l'amine groupe et groupes anioniques dus à l'attraction électrostatique. Par exemple, amine (3265 cm^{-1}), carboxyle (1730–1390, 1300–1000 cm^{-1}), hydroxyle (3265, 1300–1000 cm^{-1}), et phosphate et sulfate (750–

900 cm^{-1}) les aires des pics ont été modifiées lorsque l'adsorbant a été chargé de cuivre (Fig.21). 3.2. Effet des régimes de pH initiaux..[126]

1.2. Microscope électronique à balayage (SEM-EMX)

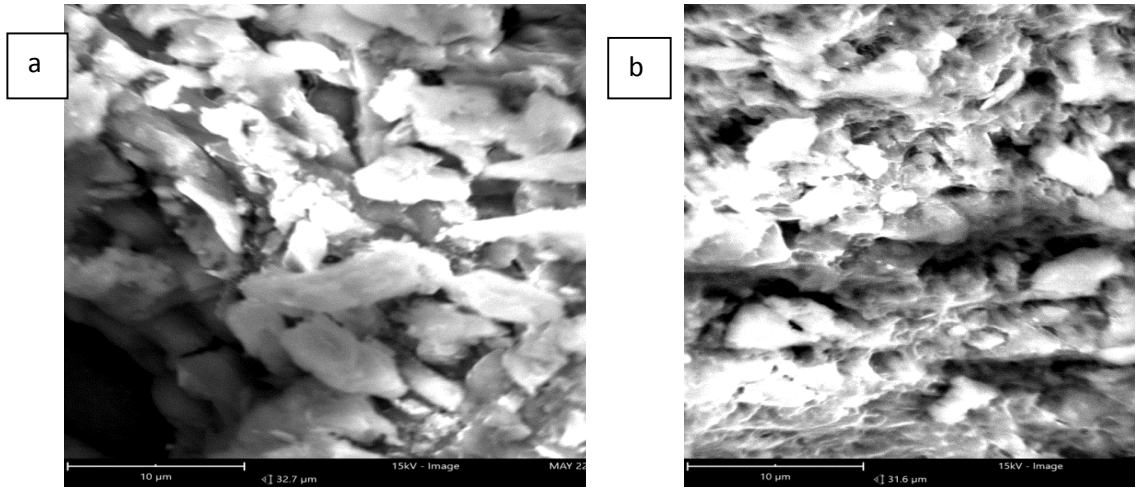
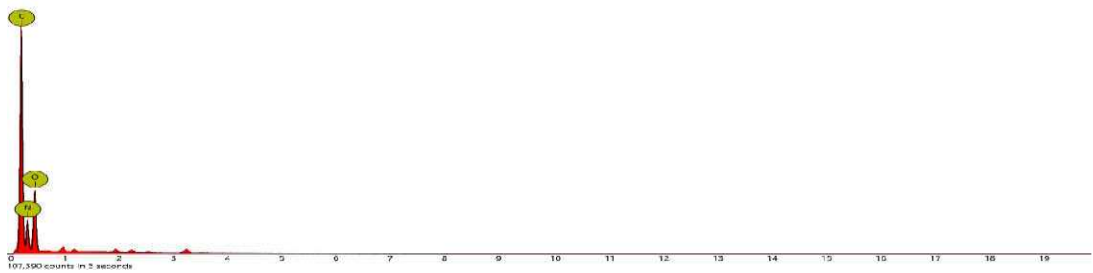


Figure22 : SEM de (a) SMA et (b) SMA après adsorption de colorant MB

Avant adsorption



Après adsorption

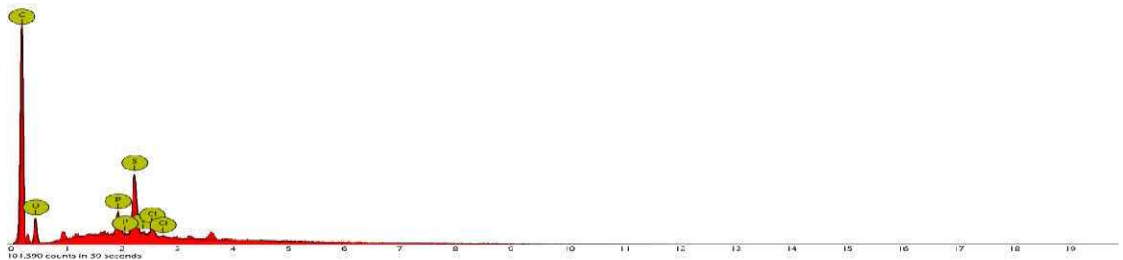


Figure23 : Analyse EDS de SMA avant et après l'adsorption

- Grâce aux résultats de l'analyse EDS de l'échantillon avant le processus d'adsorption, nous remarquons l'apparition de pourcentages importants de C, O et N, respectivement.
- A travers les résultats après le processus d'adsorption, nous remarquons une légère augmentation du rapport de C et N, et une diminution de O, preuve de l'adsorption, avec l'apparition à la fois de Cl et de S en raison de la couverture de surface de l'adsorbant.

Tableau7 : Propriétés SMA avant et après adsorption

éléments	Avant		Après	
	Concentration atomique	Concentration Massique	Concentration atomique	Concentration Massique
C	46.30	41.09	67.62	60.8
O	23.20	27.39	15.47	18.49
N	26.25	27.65	31.13	32.42
Cl	/	/	0.28	0.63
S	/	/	1.57	0.95

Le changement de morphologie de surface SMA avant et après l'adsorption de MB peut être visualisée en comparant leur SEM images. Comme on peut le voir sur la Fig. 22a, la biomasse SMA a une texture rugueuse et cavités de différentes dimensions et formes, principalement des cavités grandes et larges avec des fentes. Après l'adsorption BM, une morphologie de surface plus compacte été observé (Fig. 22b). Cela peut être attribué au MB molécules occupant les pores et les cavités du SMA. L'EDX examen du SMA avant et après adsorption du colorant MB détecté la présence de carbone, d'oxygène et d'azote. La modification de la teneur en éléments avant et après adsorption peut être attribuée au chargement de MB sur la surface de SMA.

1.3. Cristallographie aux rayons X(DRX)

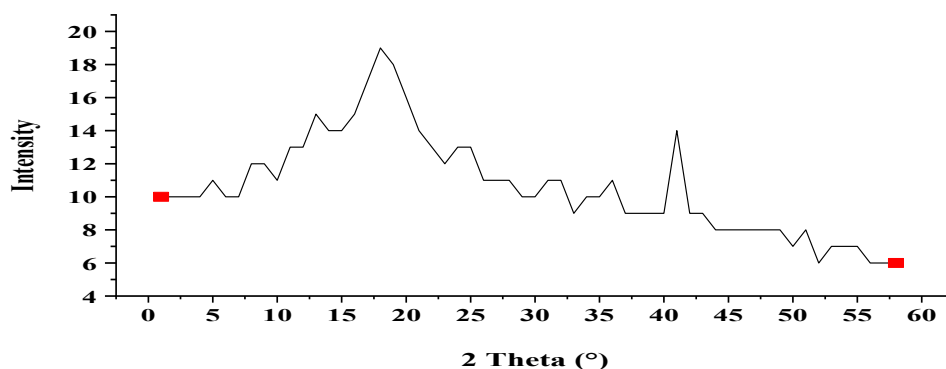


Figure24 :Le spectomètre DRX du SMA

La diffractométrie aux rayons X de la spiruline a été réalisée pour rechercher la présence de toute structure cristalline sur la poudre brute du matériau. Les spectomètre(Fig.24) montre une importante prééminence amorphe avec un maximum 2θ de $20,5^\circ$. Cette structure amorphe est liée à la teneur plus élevée en hémicellulose qu'en cellulose dans la composition glucidique de cette algue bleu-vert. [127] Une petite crête se trouve à 2θ de $10,5^\circ$, ce qui peut être lié aux formations de protéines cristallines présentes dans la spiruline. Il existe en outre deux pics proéminents définis à 2θ de $28,5^\circ$ et de $40,7^\circ$. Ces deux pics sont liés au KCl.[128], un complément très courant utiliser comme source de K dans le milieu de culture pour la culture des algues.[129]

1.4.Étudier la charge de l'échantillon pHz

A cet égard, pHz test de SMA a été réalisée pour comprendre l'influence du PH sur l'adsorption du colorant MB :

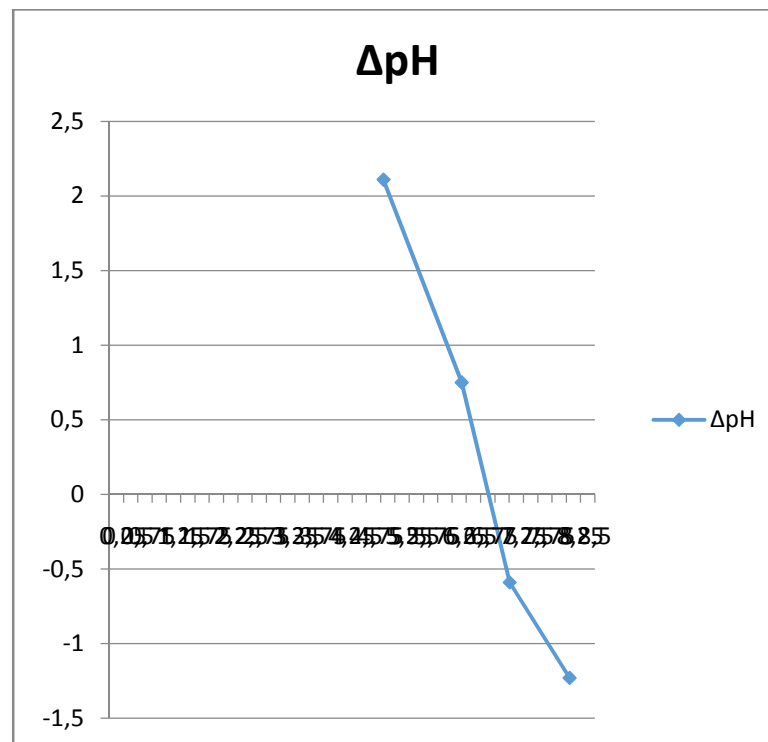


Figure25 : courbe pHz pour l'échantillon SMA

Ainsi, le pHz de SMA était trouvé à 6,62, comme le montre la Fig.25. Par conséquent, à haute pH acides, c'est-à-dire inférieurs au pHz, la surface SMA sera acquérir une charge positive. Par conséquent, à pH = 7, la surface SMA et les molécules MB deviennent négatives et chargé positivement, respectivement. En conséquence, une électrostatique attraction entre la charge positive sur la surface des molécules de colorant MB et la charge négative sur la surface de SMA serait éventuellement survenue..[130]

2. Planification expérimentale

2.1. Modélisation à l'aide de la méthodologie de réponse de surface

De nos jours, il existe plusieurs programmes efficaces qui permettent au chercheur d'adapter le plan d'expérience à ses besoins, en utilisant les critères d'optimalité qu'il juge pertinents pour le problème l'étude. Bien que ces programmes soient un outil essentiel, leur utilisation doit être guidée par une compréhension claire de la méthodologie, des critères et de leur signification dans la pratique.[118]

Dans la présente étude, quatre paramètres expérimentaux (variables) ont été considérés, à savoir la masse de microalgues adsorbées m , le temps d'équilibre t et le pH. Nous avons déterminé la réponse Pour modéliser le RSM, on suit les valeurs

d'absorption A à l'équilibre, et ainsi de suite Calculer la quantité adsorbée q_e . Résumé Les conditions expérimentales et leurs valeurs aux limites sont présentées dans le tableau ci-dessous avec l'adoption du diagramme de Box-Behnken design.

Tableau8 : Attribuer des niveaux aux facteurs de Box-Behnken.

Facture	code	les niveaux		
		-1	0	+1
M	A	20	60	100
T	B	30	105	180
pH	C	4	7	10

Le présent travail se concentre sur le plan Box-Behnken à quatre niveaux (BBD) dans la méthode de surface de réponse (RSM) pour l'optimisation de la charge Microalgues (SMA) dans le bleu de méthylène (MB)Matrice, masse d'adsorbant, pH et température de la solution. Importance toutes les interactions factorielles et quadratiques en optimisation le processus a été déterminé à l'aide d'un programme informatique pour l'analyse statistique [Logiciel expert en conception version 11.0 Stat easy, Minneapolis, États-Unis]. Chaque La variance du facteur se situe dans trois niveaux différents -1, 0 et +1, ce qui signifie des valeurs faibles, moyennes et élevées. [131]

Tableau9 : Trois variantes BBD Matrice et données expérimentales Pour supprimer le MB(%)

Numéro Epreuve	Transactions				Répons	
	c0	m	t	pH	Rexp	Rprd
	Mg/L	mg	min	/	%	""%

1	100	100	30	7	28.65	31.54
2	100	20	30	7	25.95	26.23
3	100	60	180	10	81.14	81.54
4	100	60	105	7	93.20	93.20
5	100	100	105	10	64.26	64.26
6	100	60	30	4	46.67	46.67
7	100	60	105	7	93.20	93.20
8	100	60	105	7	93.20	93.20
9	100	20	105	10	75.61	78.11
10	100	100	105	4	97.45	94.94
11	100	60	105	7	93.20	93.20
12	100	60	105	7	93.20	93.20
13	100	60	30	10	36.88	26.63
14	100	60	180	4	65.11	67.89
15	100	20	105	4	53.19	53.3
16	100	20	180	7	58.87	55.97
17	100	100	180	7	96.04	78.34

Le tableau (9) montre les valeurs d'absorption expérimentales et attendues du bleu de méthylène par un modèle Prédiction, pour chaque expérience séparément, qui

confirme la linéarité du modèle mathématique. Un manque d'ajustement non significatif lié à l'erreur pure indique une excellente réponse aux résultats expérimentaux. Ainsi, il peut être déduit que le modèle BBD était approprié pour s'attendre à la suppression de colorant MB sur la surface de SMA dans la plage des paramètres étudiés.

3. Analyse du modèle BBD

Le tableau 10 présente les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA), qui est a été utilisé pour valider l'analyse statistique :

Tableau10 : Analyse de variance (ANOVA) pour l'efficacité d'élimination du MB

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>f</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>
Model	9913.85		1101.54	170.15	< 0.0001 Significant
<i>A-m</i>	383.11		383.11	59.18	0.0001
<i>B-t</i>	2928.77		2928.77	452.38	< 0.0001
<i>C-Ph</i>	17.95		17.95	2.77	0.1399
<i>AB</i>	72.82		72.82	11.25	0.0122
<i>AC</i>	772.98		772.98	119.40	< 0.0001
<i>BC</i>	276.87		276.87	42.77	0.0003
<i>A²</i>	833.41		833.41	128.73	< 0.0001
<i>B²</i>	4075.37		4075.37	629.49	< 0.0001
<i>C²</i>	178.31		178.31	27.54	0.0012
Residual	45.32		6.47		
<i>Lack of Fit</i>	45.32		15.11		
<i>Pure Error</i>	0.0000		0.0000		
Cor Total	9959.17	6			

La valeur F du modèle de 170,15 implique que le modèle est significatif. Il n'y a que 0,01 % de chances qu'une valeur F aussi élevée puisse se produire en raison du bruit.

- Les valeurs P inférieures à 0,0500 indiquent que les termes du modèle sont significatifs [132]. Dans ce cas A, B, AB, AC, BC, A², B², C² sont des termes significatifs du modèle. Les valeurs supérieures à 0,1000 indiquent que les termes du modèle ne sont pas significatifs. S'il existe de nombreux

termes de modèle non significatifs (sans compter ceux requis pour prendre en charge la hiérarchie), la réduction du modèle peut améliorer votre modèle.[133]

3.1.Statistiques d'ajustement

La relation entre les facteurs et les mesures de performance a été modélisée par régression quadratique. Il a été obtenu La relation entre les facteurs actifs t, m et le pH et la sortie par modèle quadratique. Cela peut être représenté lien vers les équations suivantes :

Tableau11 : Statistiques d'ajustement

Std. Dev.	2.54	R²	0.9954
Mean	68.88	Adjusted R²	0.9896
C.V. %	3.69	Predicted R²	0.9272
		Adeq Précision	35.2090

- Le R² prévu de 0,9954 est en accord raisonnable avec le R² ajusté de 0,9896 ; c'est-à-dire que la différence est inférieure à 0,2.
- Adeq Précision mesure le rapport signal sur bruit. Un rapport supérieur à 4 est souhaitable. Votre ratio de 35,2090 indique un signal adéquat. Ce modèle peut être utilisé pour naviguer dans l'espace de conception.[133]

3.1.1. Équation finale en termes de facteurs codés

$$R = +93.20 + 6.92*A + 19.13*B - 1.50*C + 4.27*AB - 13.90*AC + 8.32*BC -14.07*A^2 - 31.11*B^2 - 6.51*C^2$$

- L'équation en termes de facteurs codés peut être utilisée pour faire des prédictions sur la réponse pour des niveaux donnés de chaque facteur. Par défaut, les niveaux hauts des facteurs sont codés +1 et les niveaux bas sont codés -1.

- L'équation codée est utile pour identifier l'impact relatif des facteurs en comparant les coefficients des facteurs.

3.1.2. Équation finale en termes de facteurs réels

$$R = - 81.04923 + 1.88975*m + 1.07243*t + 12.69188*PH + 0.001422m*t - 0.115844m*pH + 0.036976t*pH - 0.008793m^2 - 0.005531t^2 - 0.723073pH^2$$

- L'équation en termes de facteurs réels peut être utilisée pour faire des prédictions sur la réponse pour des niveaux donnés de chaque facteur. Ici, les niveaux doivent être spécifiés dans les unités d'origine pour chaque facteur. Cette équation ne doit pas être utilisée pour déterminer l'impact relatif de chaque facteur car les coefficients sont mis à l'échelle pour s'adapter aux unités de chaque facteur et l'ordonnée à l'origine n'est pas au centre de l'espace de conception.[134]

- Sur la base du modèle mathématique obtenu, les valeurs d'absorption obtenues ont été comparées Laboratoire, c'est-à-dire expérimentalement, et les valeurs de retour attendues par le modèle mathématique par le programme statistique évoqué précédemment. L'équation peut être utilisée en termes de facteurs réels pour faire des prédictions sur la réponse à des niveaux spécifiques de stress chaque travailleur. Ici, les niveaux doivent être spécifiés dans les unités d'origine de chaque facteur. Cette équation ne doit pas être utilisée Pour déterminer l'effet relatif de chaque facteur, car les coefficients sont mis à l'échelle pour s'adapter aux unités de chaque facteur et l'ordonnée à l'origine n'est pas Au centre de l'espace de conception.[134]

- L'analyse ANOVA des facteurs de réponse indique que la valeur de Rsquared (coefficient de détermination) est de 0,9783 ce qui est très élevé et révèle une bonne corrélation entre les valeurs réelles et prédites comme montré dans Par conséquent, la régression linéaire peut être considérée comme acceptable ou peut être utilisée.[133]

3.1.3. La relation entre les valeurs d'absorbance attendues et réelles est illustrée

La valeur de convergence entre les valeurs expérimentales et les valeurs attendues par le modèle et l'efficacité du modèle peuvent être comprises par leurs

attentes sur le degré de convergence des valeurs et leur répartition autour du premier médiastin, telles que la présence de valeurs proches du premier médiastin indique une convergence des valeurs, et la présence de valeurs (points sur la figure) éloignées du médiastin indique l'absence de l'efficacité du modèle à prédire les résultats, ce qui nécessite nécessairement qu'il ne peut pas être adopté comme modèle adapté.[135]

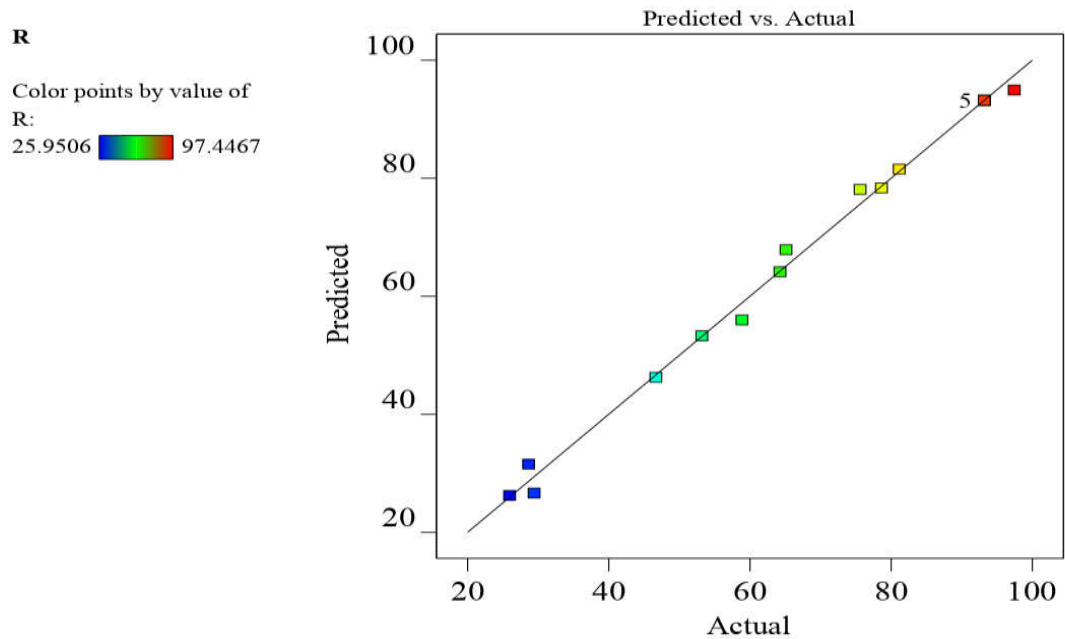


Figure26 : Plan de la relation entre les valeurs prédites et réelles de l'élimination de MB(%).

Sur la figure26, la relation entre les valeurs d'absorbance attendues et réelles est illustrée. Les valeurs réelles sont les valeurs La capacité d'adsorption mesurée du bleu de méthylène, qui est déterminée expérimentalement à l'aide de l'équation .Du côté d'autres valeurs attendues sont générées à l'aide de l'équation (*). Selon la Figure26, les valeurs attendues l'absorbance A obtenue à partir du modèle est en bon accord avec les données expérimentales réelles. Indiquer la valeur numérique du coefficient de détermination ($R^2= 0,9783$) Indique qu'il existe une bonne relation entre les réponses attendues Et expérimentale.

4. Expériences d'adsorption

Le diagramme de perturbation présenté à la figure 27 montre les effets comparatifs de toutes les variables indépendantes la capacité d'adsorption du bleu de méthylène. La cartographie des perturbations identifie les changements de réponse à chaque mouvement une variable d'un point de référence spécifié à un autre, avec toutes les autres variables maintenues à la valeur marque-page fixe. Le logiciel définit généralement les niveaux zéro codés pour chaque variable comme point de référence dans milieu du graphique. [133]

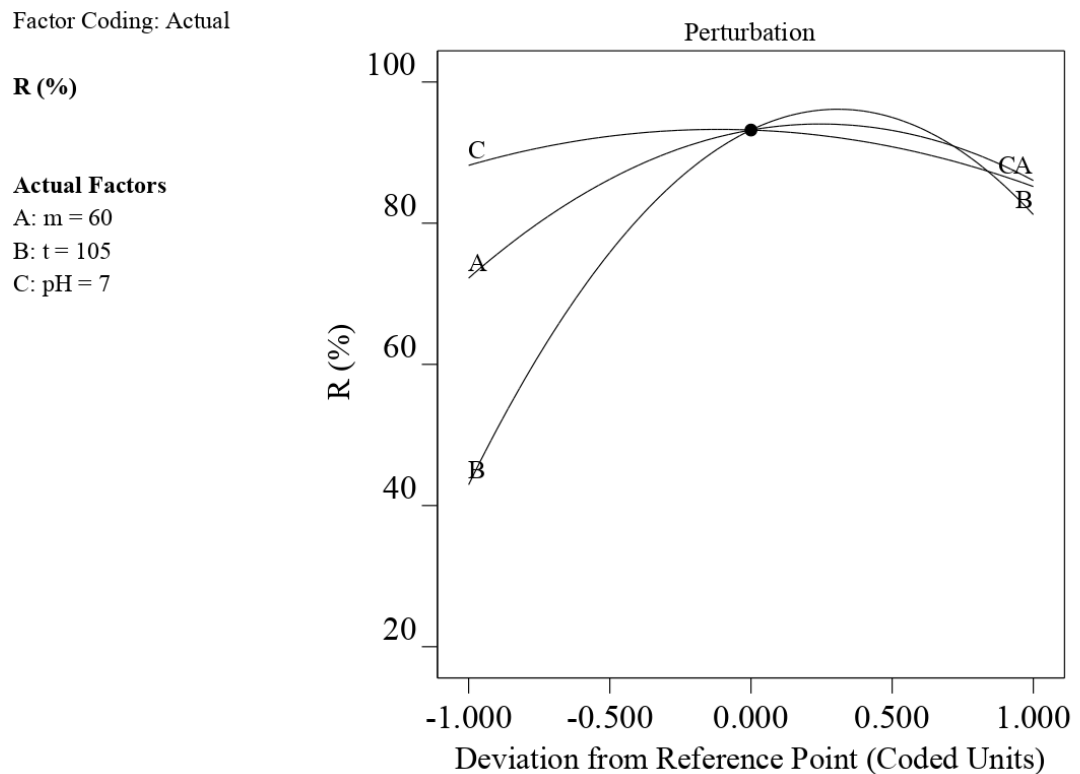


Figure27 : Diagramme de désordre pour l'adsorption

Une régression abrupte ou une courbure dans le diagramme factoriel indique que la réponse est sensible à cette variable, tandis que la ligne relativement plate représente un manque de sensibilité en réponse aux changements de cette variable. Selon la figure 27, la courbure prononcée du temps indique l'équilibre Le colorant bleu de méthylène indique que la réponse d'absorption de toutes les microalgues est plus sensible aux changements que les autres variables avec très peu d'effet pour la masse et le pH.

4.1 . Conditions optimales pour les facteurs d'adsorption

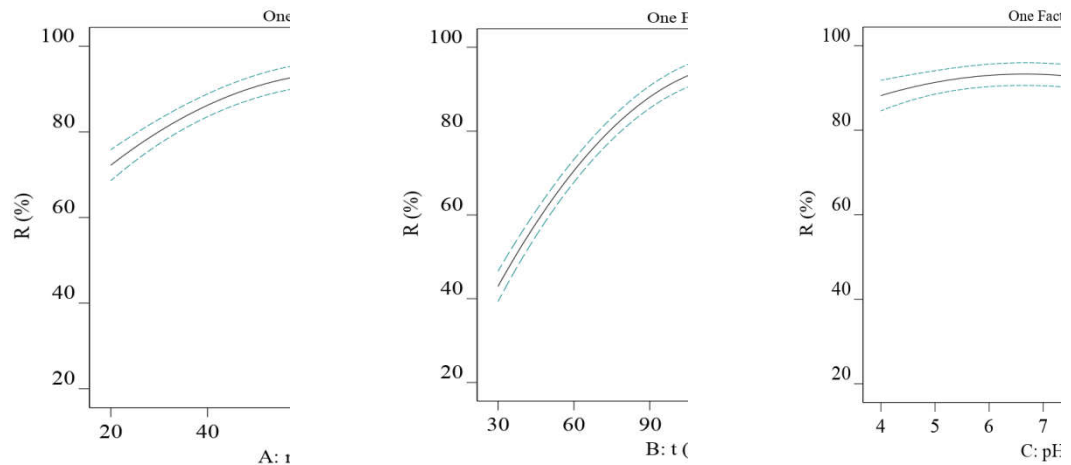


Figure28 : La matrice BBD à 3 facteurs et les données expérimentales pour l'efficacité d'élimination des MB

La figure28 montre l'effet de la modification de chaque facteur séparément sur la capacité des spirulina à absorber le colorant bleu de méthylène. Selon cette figure, le temps d'équilibre augmente, coïncidant avec l'augmentation de la concentration initiale de la solution de 20 à 100 mg/L. La capacité d'absorption des spirulina augmente dans un premier temps, puis se stabilise et revient progressivement à une légère diminution. Pour atteindre une concentration maximale, la réponse logique peut aussi s'expliquer par la loi de Ber Lambert.[130]

4.2. Interactions significatives

Pour analyser l'effet des examens intranet et al Déterminer la corrélation significative entre les deux testeurs Les paramètres ont été utilisés sur l'adsorption de colorant MB, les surfaces 3D et les tracés 2D. Graphismes 3D et 2D pour L'interaction entre la masse de SMA et le pH est montrée En figures29 ;30 ; 31(a ; b). , respectivement :

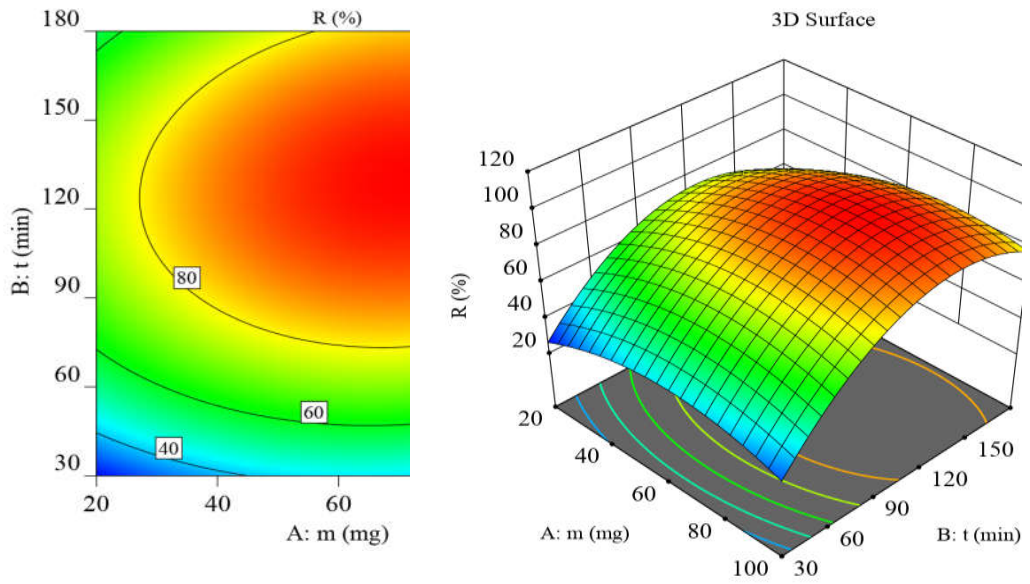


Figure29 : Tracé de surface de réponse a) 2D et b) 3D de contour de l'efficacité d'élimination du colorant (MB%) montrant l'interaction entre A(m) et le temps.

Comme le montre la Fig.29, une plus longue le temps de contact (3h) était plus efficace pour éliminer le colorant MB de les solutions, peut-être en raison du temps suffisant pour surmonter le processus de diffusion interne.[136]

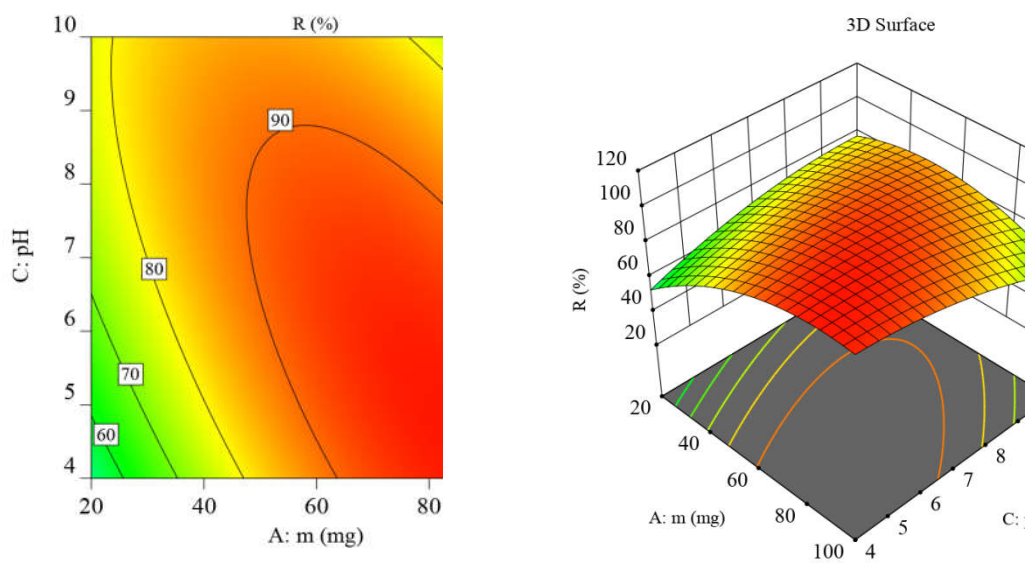


Figure30 : (a) Diagramme de surface de réponse 3Det b bidimensionnel

contour 2D de l'efficacité d'élimination du MB montrant l'interaction entre A(m) et le pH

Figure 30 présente le tracé de surface 3D de l'effet combiné du masse de A(m) et pH. On a constaté que l'élimination du colorant BM(%) augmentait de augmenter le pH de la solution de 4 à 10. [133]

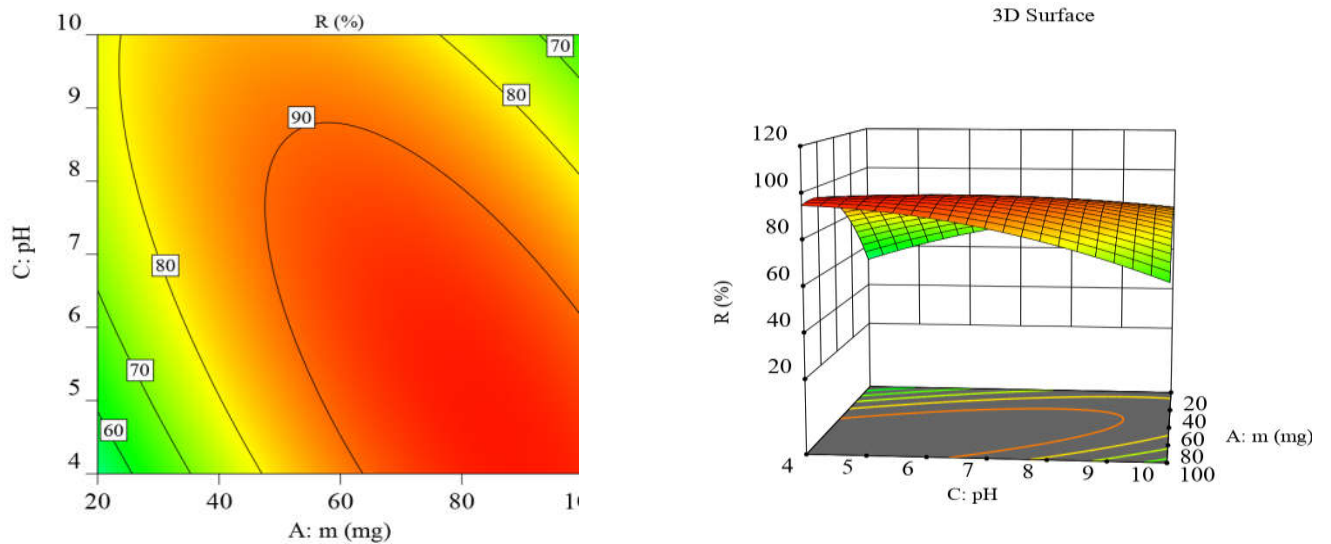


Figure31 : Tracés d'une surface (3D) et b bidimensionnel contour (2D) pour l'interaction AB (A(m) vs(pH)

Des diagrammes 2D ont été utilisés. Les graphiques 3D et 2D de interaction entre la masse de SMA et le pH est montrée sur les figures 30a et b, respectivement. Les résultats illustrent que augmentation de la masse de SMA de 40 mg à 100 mg est responsable pour améliorer élimination des MB (%). En fait, cette amélioration d'élimination de BM (%) peut être attribuée à abondance de plusieurs sites de liaison de SMA dans la solution de colorant MB. Ajouter croissant le pH de la solution de 4 à 10 conduit à une augmentation de élimination du colorant MB.[136]

4.3. Optimisation par la fonction de désirabilité

Le processus de modélisation se termine avec le programme suggérant un ensemble de valeurs empiriques à ré-testes Lorsque ces (Expériences de confirmation) confirment la pertinence de la modélisation et des attentes Statistique.

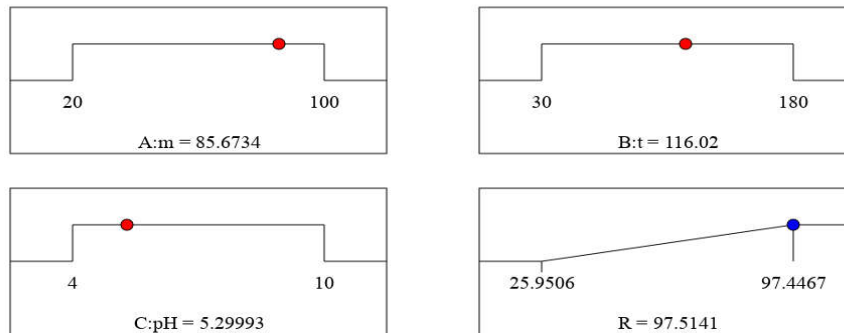


Figure32 : Pentés de désirabilité pour optimiser les importants coefficients d'entrée d'adsorption de l'élimination du colorant MB (%) par SMA

Une quantité précise (g) de SMA a été pesée et ajoutée à 100mg/L de solution de colorant BM (100mL). La concentration de colorant MB a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (HACH, modèle DR3900) à λ_{max} 664nm. Le pourcentage d'élimination du colorant MB(R %)a été calculé à l'aide de l'équation.

(V.1)

$$R\% = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0}\right) \times 100 \dots \dots (V.1)$$

Où :

Co (mg/L) : est la concentration initiale de BM.

Ce (mg/L) : est la concentration de BM à la fin.

L'objectif principal est de déterminer un point où la désirabilité a une valeur maximum. Ainsi, une fonction de désirabilité est une fonction établie méthode utilisée pour trouver l'optimisation simultanée du processus variables (A : masse SMA, B : pH, C : temps) qui atteint un niveau de performance optimal pour la réponse (Mo retrait %), et la procédure approfondie avait été décrite précédemment. L'optimisation numérique du logiciel a démontré que l'élimination optimale de MB était obtenue à la masse SMA de 85,6 g, pH de la solution de 5,29 et temps de 116.02 ; Dans ces

conditions de fonctionnement, l'élimination des MB est de 97,51 % avec valeur de désirabilité de 1 comme le montre la Fig.32 .[133]

4.4. Expériences de confirmation

Pour valider les expériences de traitement de l'eau par biomasse SMA, nous avons préparé trois béciers à partir d'une solution de bleu de méthylène à une concentration de 100 mg/l dans les mêmes conditions optimales, A : m = 85,6 mg, pH = 5,29, t=116,02min, nous constaté que les rendements R de ces résultats sont respectivement de : 79,47 %, 75,98 % ; 95,85% et l'erreur absolue est de 1,74 %, ce qui est négligeable par rapport aux résultats initiaux, R =97.51%.

5. Modélisation thermodynamique

Les paramètres thermodynamiques d'adsorption peuvent être obtenus à partir de le diagramme de van 't Hoff, utile pour révéler la faisabilité de l'adsorption, la spontanéité et la détermination du degré d'aléatoire. et les équations liées à la variation de l'énergie libre de Gibbs (ΔG), Le changement d'enthalpie (ΔH) et le changement d'entropie (ΔS) sont présentés ci-dessous : [137]

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \dots (V.2)$$

$$kd = \frac{qe}{ce} \dots (V.3)$$

En combinant l'équation thermodynamique (IV.2) avec van t'Hoff (IV.3), on obtient :

$$\ln(kd) = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T}\right) \dots (V.4) \quad \text{(Équation d'Eyring)}$$

ΔG : l'énergie libre de Gibbs (kJ/mol)

ΔH : Le changement d'enthalpie (kJ/mol)

➤ qui exprime l'énergie d'interaction entre les molécules et la surface absorbante. La valeur négative de ΔH indique que Le processus d'adsorption est exothermique, si ΔH est positif alors le processus d'adsorption sera endothermique chauffer.

ΔS : Le changement d'entropie(kJ/mol)

➤ C'est une grandeur qui mesure le désordre à l'interface solide-liquide et exprime l'affinité du soluté envers adsorbant.

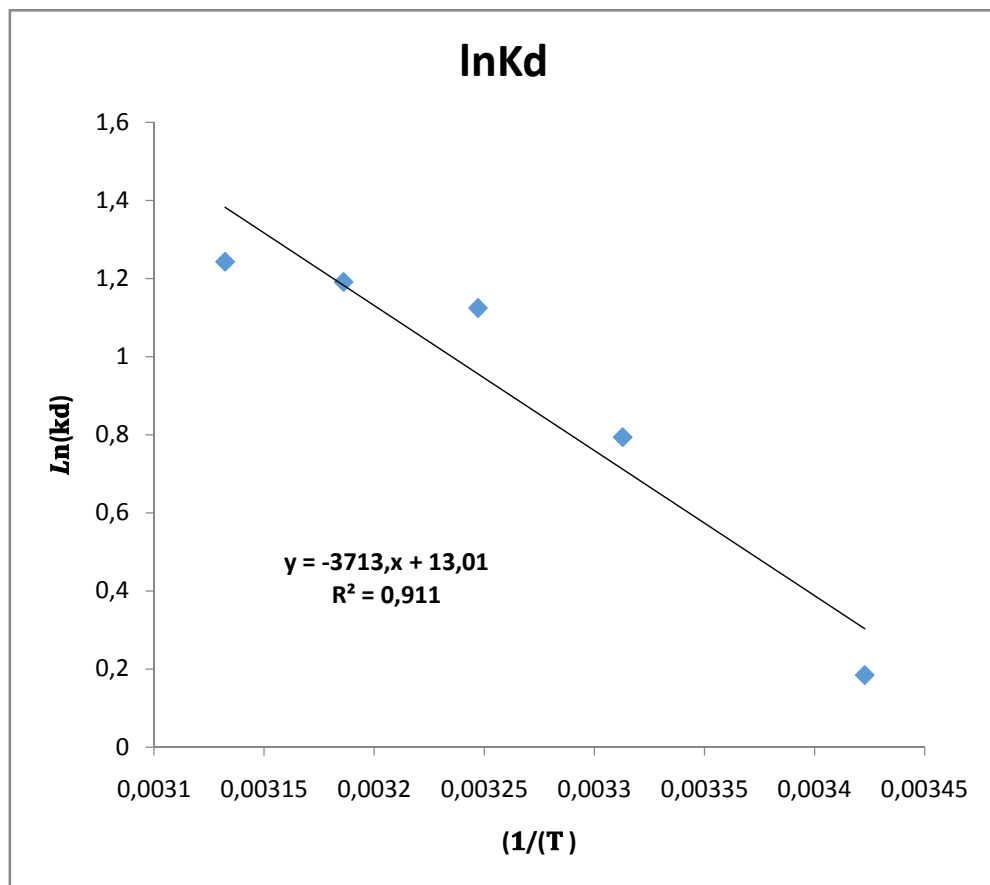
Kd : Coefficient de distribution d'adsorption

R : Constante du gaz universel .($8.314\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$)

T : température absolue. (k)

Nous dessinons un graphique de relations(**Lnkd**) En fonction de l'inverse de la température (**1/T**) Nous obtenons donc une relation linéaire avec la pente ($-\frac{\Delta H}{R}$)et

($\frac{\Delta S}{R}$) (Croix).[138]



Figur33 : Thermodynamique d'adsorption du bleu de méthylène

Le tableau 12 montre les valeurs négatives de ΔG , qui ont validé que l'adsorption du colorant MB était spontanée et améliorée des températures plus élevées. La valeur positive de ΔS indique un désordre accru de l'adsorbat à l'interface solide-liquide. La valeur positive de ΔH illustre que le mode d'adsorption MB était endothermique, ce qui est conforme aux résultats de la BBD qu'ont montré une augmentation de l'élimination des MB avec l'augmentation de la température.[133]

Tableau12: Facteurs thermodynamiques Adsorption du MB à différentes températures

ΔH (KJ / mol)	Δs (KJ/mol)	ΔG (KJ/mol)	
		T(K)	ΔG
30.88	0.11	292.15	-1.25
		301.85	-2.32
		307.95	-2.99
		313.85	-3.64
		319.25	-4.23

A travers les résultats calculés dans le tableau ci-dessus, la valeur d'entropie était positive, ce qui indique que les molécules d'adsorbant s'organisent à la surface de l'adsorbant du fait de son association avec puisqu'à l'intérieur de la phase liquide La valeur de l'enthalpie d'adsorption est positive, ce qui prouve Le procédé est endothermique. Dans le tableau, nous pouvons également voir que toutes les valeurs d'enthalpie libre sont négatives négatif, indiquant que l'adsorption est spontanée et thermodynamiquement appropriée. De plus, les chercheurs ont rapporté que le changement d'énergie libre dans le cas de l'absorption physique Elle varie de -20 à 0 kJ/mol et dans le cas de la chimisorption elle varie de -80 à -400kJ/mol. Dans cette étude, la valeur thermodynamique obtenue se situe dans une plage adsorption physique du bleu de méthylène. et c'est exactement ce qu'il confirme valeurs ΔH° . [136]

6. Etudes cinétique

L'étude d'adsorption de MB sur SMA a été réalisée en suivant l'effet du temps de contact et de la concentration initiale en MB (25 à 200 mg/L) sur la capacité d'adsorption du SMA est montrée dans Fig. 27. Autres facteurs clés optimaux indiqués dans le tableau 5 (exécution ou expérience 17) ont été simultanément maintenus constants dans cette expérience. [136]

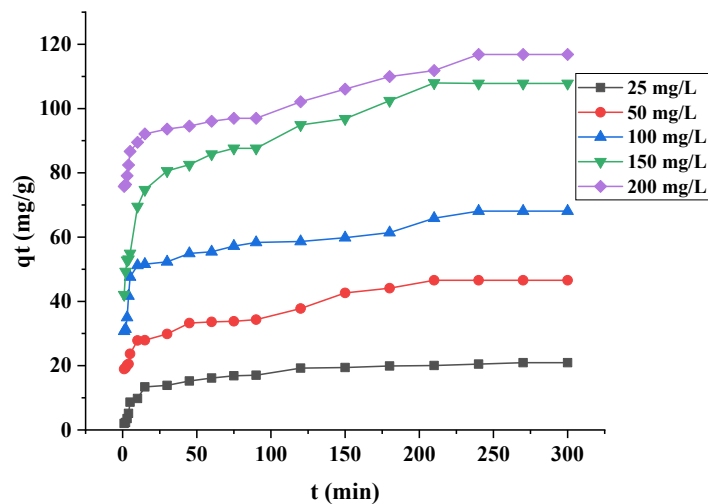


Figure34 : Effet des concentrations initiales et du temps d'équilibrage sur l'adsorption de MB par SMA

Comme le montre la Fig.34, les données expérimentales révèlent que l'adsorption la capacité à l'équilibre passe de 20,04 à 116,82 mg/g, avec une augmentation dans la concentration initiale de MB de 25 à 200mg/L. Cela a été attribué à un taux de collision plus élevé entre les molécules MB et le SMA en augmentant la concentration initiale en MB. De plus, le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre a également augmenté avec l'augmentation de la concentration initiale de MB.

6.1 Modélisation Isotherme

Une isotherme d'adsorption est un graphique de la concentration à l'équilibre d'un adsorbant sur la surface de l'adsorbant en fonction de la concentration d'adsorbant dans la solution. Ce regard, aussi des modèles isothermes, à savoir Langmuir ; Freundlich ; ont été utilisés étudier la constante d'isotherme et les capacités d'adsorption

6.1.1. Langmuir isotherme

Le modèle isotherme de Langmuir décrit la monocouche processus d'adsorption sur des sites d'adsorption uniformes et s'exprime par L'équation : [139]

$$\frac{ce}{qe} = \frac{1}{q_{max} \times kl} + \frac{ce}{q_{max}} \dots (V.5)$$

Ce : Concentration de MB à l'équilibre (mg/L)

qe : quantité adsorbée de MB à l'équilibre (mg/g)

qmax : Capacité d'adsorption maximale de Langmuir (mg/g)

KL : Constante de Langmuir(mg/l)

✚ A travers la ligne de pente et l'intersection avec l'axe y, respectivement, nous déterminons les valeurs de qmax et KL ; les résultats sont dans le tableau.

✚ On connaît le coefficient d'équilibre **RL** comme suit :

$$RL = \frac{1}{1 \times kL \times C_0} \dots\dots(V.6)$$

Où :

C₀ : la concentration initiale maximale (mg/l)

La valeur **RL** détermine si un isotherme est **préféré** ou **non** ($0 < RL < 1$) [140] :

- ❖ Si le : $RL > 1$ **adsorption non préférée.**
- ❖ Si le : $RL = 1$ **adsorption linéaire.**
- ❖ Si le : ($0 < RL < 1$) **adsorption préférée.**

6.1.2. Freundlich isotherme

Dans le modèle isotherme de Freundlich, hétérogénéité de la surface ainsi que la distribution exponentielle des sites actifs et les énergies des sites actifs sont décrites. [141]

$$qe = kF \times Ce_n^1 \dots\dots(V.7)$$

$$\ln(qe) = \ln(kF) + \frac{1}{n} \times \ln(ce) \dots\dots(V.8)$$

qe : capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g)

kF : constante de Freundlich (mg/g)

n : constante expérimentale (g/l)

ce : la concentration initiale à l'équilibre (mg/l)

📊 Lorsque l'on représente **Ln (qe)** en termes de **Ln (ce)**, on obtient une indication de l'adsorption du bleu de méthylène sur la biomasse. Sa ligne de pente est $1/n$ et elle coupe l'axe des ordonnées en **Ln (kF)**.

La valeur de $1/n$ peut être utilisée pour **déterminer le type d'isotherme**, comme [142] :

- ❖ Irréversible ($1/n = 0$),
- ❖ Favorable ($0 > 1/n < 1$),
- ❖ Défavorable ($1/n > 1$).

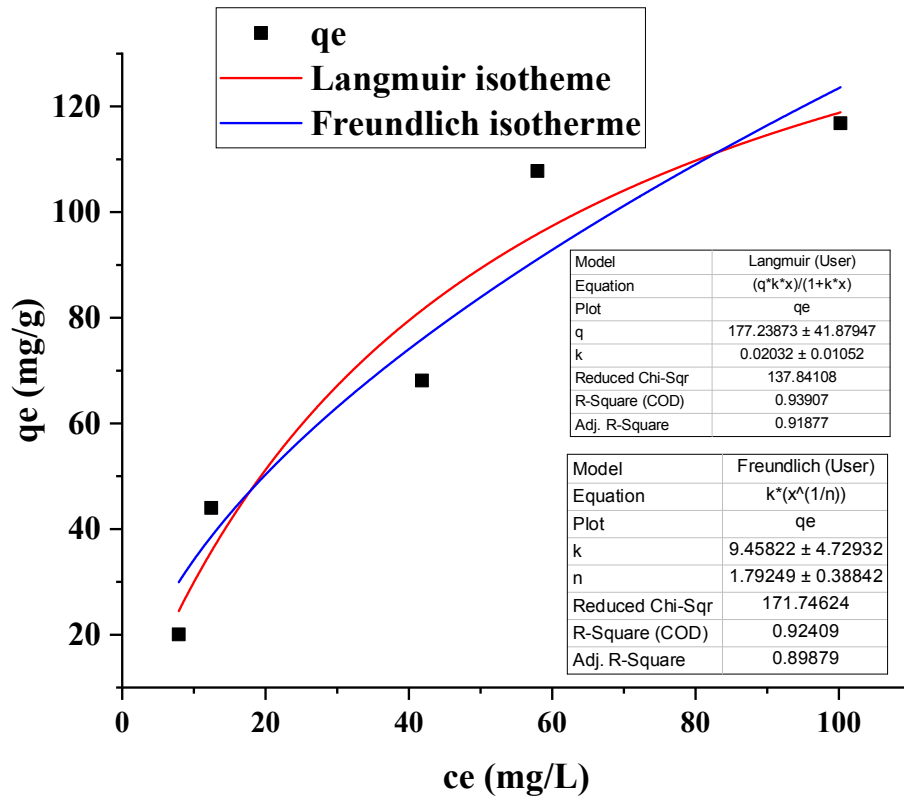


Figure35 : Modelés de Langmuir et Freundlich d’adsorption de colorant MB sur SMA

En faisant correspondre les résultats obtenus dans le tableau (13) avec les équations linéaires pour chacun des Freundlich et Langmuir montre que l'isotherme d'adsorption suit l'isotherme de Langmuir, selon Pour le coefficient R^2 , où la capacité maximale d'adsorption Q_{max} était égale à 177.23 dans le colorant BM, et selon le coefficient de séparation :

$RL=0.2$: pour le colorant bleu biliaire, alors **l'adsorption est préférée.**

Tableau13 : Les valeurs des constantes isothermes pour les modèles de Langmuir et Freundlich

Modèle	R ²	CONSTANTES		
Langmuir	0.918	q _{max}	177.23	Mg/g
		k _L	0.02	g/mg
		RL	0.2	g/mg
Freundlich	0.898	K _F	9.45	Mg/g
		n _F	1.79	g/l

6.2. Modélisation cinétique

L'étude cinétique d'adsorption a été réalisée pour l'acquisition d'une compréhension complète du processus d'adsorption du colorant BM sur SMA, ainsi que la définition de la phase de contrôle du débit qui est principalement responsable de l'adsorption du colorant. L'absorption les paramètres cinétiques ont été déterminés à l'aide de deux équations à savoir pseudo-premier ordre (PFO) et pseudo seconde commande (PSO). Les deux formules de PFO et PSO sont donnés par les Eqs. (V.9)

Et (V.10), respectivement : [136]

6.2.1 Modèle de pseudo-premier ordre

La cinétique d'adsorption de quasi premier ordre est obtenue en traçant la courbe $\ln(q_e - q_t)$

En fonction du temps, la constante de vitesse d'absorption de quasi-premier ordre est déduite du modèle qu'il a développé Langer Green et la relation a été écrite comme suit : [143]

$$qt = qe(1 - \exp^{-k_1t}) \dots\dots (V.9)$$

En insérant le logarithme dans l'équation (V.9), on obtient :

$$\ln(qe - qt) = -k_1 \times t \dots\dots(V.10)$$

qe :capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g)

t :Temps de contact (min)

qt :capacité d'adsorption à l'instant t (mg/g)

Kt :la constante de vitesse d'adsorption de pseudo-premier ordre.(min⁻¹)

6.2.2.Modèle pseudo-second ordre

La cinétique d'adsorption de quasi-deuxième ordre est obtenue en traçant la courbe t/qt en fonction du temps , l'équation du pseudo-second ordre est souvent utilisée avec succès pour décrire la cinétique de réaction des polluants avec les adsorbants, Le modèle de pseudo-second ordre permet de caractériser la cinétique d'adsorption en prenant en compte la condition de fixation rapide les solutés sont dans les sites les plus réactifs et l'état de fixation lente est dans les sites à faible énergie.[144]

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(qe - q_t)^2 \dots\dots(V.11)$$

L'intégration que nous trouvons

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{(k_2 \times qe^2)} + \frac{1}{qe} \dots\dots(V.12)$$

K2 :la constante de vitesse d'adsorption de pseudo-second ordre.

qe :La quantité adsorbée à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg/g)

Tableau14 : Constantes de la cinétique d'adsorption du BM sur le SMA

/	constantes Le modèle pseudo- premier	constantes Le modèle pseudo-second ordre
---	--------------------------------------	--

concentration	q _{max}	ordre			K ₂	q _e	R ²
		K ₁	q _e	R ²			
25	20.042	0.072	18.79	0.93	0.0042	20.74	0.97
50	44	0.215	38.66	0.58	0.007	40.99	0.73
100	68.101	0.349	59.43	0.73	0.009	61.68	0.83
150	107.8	0.235	93.64	0.70	0.003	98.31	0.84
200	116.82	0.830	100.60	0.30	0.014	103.96	0.61

Les valeurs R² pour PFO et PSO sont proches l'un de l'autre, avec des préférences envers les OSP en raison d'un coefficient de valeur de détermination (R²). De plus, la cohérence entre les valeurs q théoriques (q_{cal}) du PSO et les valeurs expérimentales de q (q_{exp}) ont reconfirmé l'aptitude de PSO sur PFO.[145]. Dans l'ensemble, la voie de chimisorption entraîne l'adsorption de MB sur la surface SMA.

7. Modèle de diffusion intra particulaire

Afin de déterminer le mécanisme de diffusion, les résultats cinétiques ont ensuite été analysés à l'aide du modèle intra-diffusion Particule Selon Webber et Morris [145], l'expression cinétique de la diffusion intra particulaire est souvent donnée par avec l'équation suivante :

$$qt = ki \times t^{1/2} \dots \dots (IV.13)$$

Généralement, on peut supposer que le mécanisme d'adsorption élimine les colorants par adsorption à l'aide de la substance Mezzés comprend trois Étapes dans lesquelles la diffusion est considérée comme immédiate : .[146]

1- Diffusion du colorant à travers une couche limite à la surface du matériau adsorbant.

2- Transfert de colorant de la surface externe de l'adsorbant vers les pores internes des particules via un mécanisme Diffusion au sein des particules.

3- Adsorption du colorant dans un site actif à la surface du matériau.

Étant donné que l'amplitude d'adsorption est approximativement proportionnelle à $t^{0,5}$ plutôt qu'au temps de contact et peut être exprimée comme

Le suivant :

$$q_e = k_i \times t^{1/2} + C \quad \text{.....(V.14)}$$

Nous pouvons voir sur la figure qu'il y a trois divisions linéaires. Cela indique que le mécanisme d'adsorption dans ce cas se fait contrôlé en trois étapes. La première ligne représente l'étape d'adsorption instantanée ou d'adsorption sur la surface externe, tandis que la deuxième étape correspond à la reproduction dans l'articulation qui représente l'étape réductrice du mécanisme d'adsorption, la troisième étape représente l'équilibre final

❖ La valeur de C_i indique l'effet de la couche limite, si sa valeur est grande, cela signifie un effet significatif si la courbe q_t vs $t^{0,5}$ est linéaire alors le processus d'adsorption est contrôlé uniquement par diffusion intra particulaire.

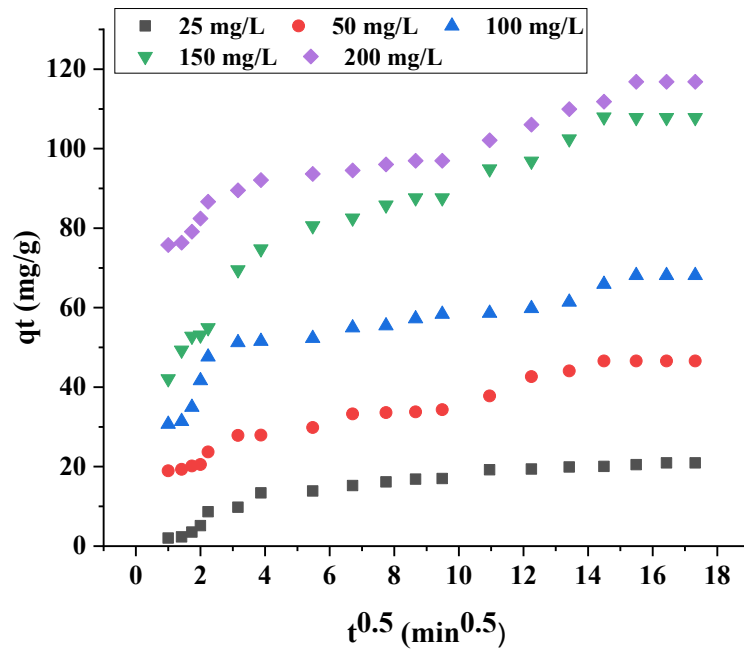


Figure36 : Effet du temps de contact sur l'adsorption de MB à différentes concentrations initiales

Des coefficients ont été extraits de la pente de la courbe $q_t = f(t^{0,5})$ pour l'adsorption des colorants et sont résumés dans (le tableau 14) Suivant

Tableau15 : Constantes Modèle de diffusion intra particulaire et valeurs R² à différentes concentrations de MB

/	constantes Modèle de diffusion intra particulaire		
Constantes	R ²	C	ki
25	0.84	5.05	1.096
50	0.96	19.04	1.77
100	0.84	37.90	1.93
150	0.92	50.60	3.80
200	0.95	77.74	2.36

Conclusion

Conclusion

L'objectif principal de nos travaux est de trouver des solutions aux problèmes de pollution de l'eau en utilisant un matériau biosorbant alternatif, renouvelable et efficace issu d'espèces végétales afin d'éliminer les polluants organiques toxiques tout en abandonnant les méthodes expérimentales classiques et en introduisant des logiciels dans le domaine de la recherche scientifique. Recherche utilisant des programmes de modélisation et d'amélioration dans les expériences.

La capacité d'adsorption de l'algue Spiruline a été étudiée dans la région de Biskra pour le colorant bleu de méthylène en tant que polluant, et nous avons obtenu des résultats avec une efficacité d'élimination élevée avec un rendement estimé à 92.72 %.

✓ L'étude physicochimique de la biomasse a été menée par l'étude de sa charge nulle pHz, FTIR et microscopie électronique à balayage (SEM), où il a été constaté que la surface de la biomasse est riche en ... qui sont considérés comme des sites d'adsorption favorables pour le cationique colorant bleu de méthylène.

✓ Le modèle d'optimisation **Design Box-Behnken** pour l'adsorption sur un colorant a donné des conditions optimales pour les facteurs d'influence comme suit : (m : 85,6 mg/g, pH : 5,29, t : 116,02 min), où les résultats de notre étude ont montré un rendement d'élimination de 95,98 %.

✓ Les résultats de la modélisation isotherme ont montré que l'adsorption suit le modèle de Langmuir avec un coefficient de régression =, tandis que l'étude de la diffusion intra particulaire a révélé que le phénomène d'adsorption se déroule selon trois étapes : la première est la diffusion externe, la seconde est l'adsorption expérimentale, et enfin l'équilibre final.

✓ La modélisation thermique a indiqué que l'adsorption endothermique spontanée du bleu de méthylène avec des valeurs négatives de ΔG et $\Delta H = 30,88\text{kJ/mol}$, tandis que la valeur positive de $\Delta S = 0,11\text{kJ/mol}$ indique une augmentation du niveau de désordre dans le composants du système étudié, ce qui est probable Ils sont liés à des changements dans la composition des particules et des changements dans la surface de l'adsorbant.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que la métrique biologique se caractérise par une capacité supérieure à éliminer les polluants organiques toxiques et

à contribuer à une solution aux problèmes des milieux aquatiques, en plus de cela s'appuyant sur le modèle d'optimisation a donné des résultats impressionnants aux résultats de l'étude.

Recommandations et perspectives d'avenir :

- ❖ Valoriser l'exploitation des espèces végétales dans la résolution des problèmes
- ❖ S'efforcer d'introduire des logiciels de modélisation et d'optimisation dans la recherche de solutions aux problèmes environnementaux ; car ils se sont avérés efficaces pour fournir les meilleurs résultats avec moins de temps et d'efforts.
- ❖ Etudier la possibilité de bénéficier d'une eau traitée dans de nombreux domaines tels que l'irrigation et la pisciculture.

Référence

مراجع باللغة العربية

- [31] محمد. (2021) (التلوث البيئي) المشاكل والحلول بحث وصفي بمدينة سبها (جامعة سبها
(Dissertation Doctoral).
- [38] حفيفة عامر. فرحاتيرفيق. الدراسة الفيزيوكيميائية والبيولوجية لمياه واد الزرازية بمنطقة برج
بوعريريج 2020
- [47] الزهراء إسماعيل حسن ، التخلص من ملوثات المياه بواسطة ظاهرة الامتزاز ، بحث مقدم إلى
مجلسكلية العلوم ، قسم الكيمياء ،العراق ، . 4
- [121]. هيثم شاهين، محمد غفر & قينان إبراهيم. (2006). تقييم بعض العوامل المؤثرة على
امتزاز الكاديوم، النحاس، الرصاص والحديد حالة الدراسة: الامتزاز على رمال منطقة
البدرسية. *Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series*, 28(1).
- [123]. محمد مجدي عبد الله واصل، كيمياء الحفز والسطوح، الطبعة الأولى، دار النشر
للجامعات، مصر، 2.
- [125]. جويجي ، كاليفورنيا ، محمدي ، إل ، أحمددي ، س. ، رادار ، أ ، خدخادي ، د ، دهقاني
، ر ، وادار ، س. (2019). نمذجة امتزاز صبغة الميثيلين الزرقاء على الجسيمات
النانوية Ho-CaWO₄ باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM) وتقنيات الشبكة العصبية
الاصطناعية. (ANN) طرق X، 6، 1779-1797.
- [126]. بن درويش. بن قدور، مسعودة (2020). دراسة انتقائية امتزاز الملوثات العضوية من
المحاليل المائية باستعمال استجابة السطح. (RSM).

[132]. برتيمية الغالية, برجى &, اليامنة. استخدام تصميم Behnken Box لنمذجة و أمثلية تخليق الايثانول الحيوي من صنف تمر يدعى محليا: تكموست. (Doctoral dissertation). جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

[139]. النعيمي، خليل إبراهيم وإبراهيم يونس محمد والدبوني، صفوان عبد الستار. 2014. دراسة الامتزاز الايزوثيرمي لبعض الحوامض ثنائية الكربوكسيل باستخدام ثنائي اوكسيد المنغنيز. مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة مج. 8، ع. 1، ص. 75-100.

Sources en français

- [1]. Morsetto, P., Mooren, C. E., & Munaretto, S. (2022). Circulareconomy of water: definition, strategies and challenges. *CircularEconomy and Sustainability*, 2(4), 1463-1477.
- [2]. Chen, M., Chang, L., Zhang, J., Guo, F., Vymazal, J., He, Q., & Chen, Y. (2020). Global nitrogen input on wetlandecosystem: The drivingmechanism of soil labile carbon and nitrogen on greenhousegasemissions. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4, 100063.
- [3]. Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., ... & Wang, H. (2022). Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 10, 100167.
- [4]. Hena, S., Gutierrez, L., & Croué, J. P. (2021). Removal of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) fromwastewaterusingmicroalgae: A review. *Journal of hazardousmaterials*, 403, 124041.
- [5]. Mo, Z., Tai, D., Zhang, H., & Shahab, A. (2022). A comprehensivereview on the adsorption of heavymetals by zeolite imidazole framework (ZIF-8) basednanocomposite in water. *Chemical Engineering Journal*, 443, 136320.
- [6]. Abidli, A., Huang, Y., Rejeb, Z. B., Zaoui, A., & Park, C. B. (2022). Sustainable and efficient technologies for removal and recovery of toxic and

- valuable metals from wastewater: Recent progress, challenges, and future perspectives. *Chemosphere*, 292, 133102.
- [7]. Mittal, H., Alhassan, S. M., & Ray, S. S. (2018). Efficient organic dye removal from wastewater by magnetic carbonaceous adsorbent prepared from corn starch. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(6), 7119-7131.
- [8]. Geng, H., Xu, Y., Zheng, L., Gong, H., Dai, L., & Dai, X. (2020). An overview of removing heavy metals from sewage sludge: Achievements and perspectives. *Environmental Pollution*, 266, 115375.
- [9]. Saleh, I. A., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. (2020). Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101026.
- [10]. Truzsi A et al (2022) Controlling the formation of halogenated byproducts in the chlorination of source waters by oxidative pre-treatment with the Fe (II)/Fe (III)-S (IV)-air system. *Ecotoxicol Environ Saf* 244:114036.
- [11]. Raza W et al (2019) Removal of phenolic compounds from industrial waste water based on membrane-based technologies. *J Ind Eng Chem* 71:1–18.
- [12]. Li, D., Zhang, X., Liang, X., Liu, W., Guo, K., Zhang, Z., ... & Wang, H. (2023). Simultaneous removal and conversion of silver ions from wastewater into antibacterial material through selective chemical precipitation. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(7), 104836.
- [13]. Rajala, K., Grönfors, O., Hesampour, M., & Mikola, A. (2020). Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals. *Water research*, 183, 116045.
- [14]. Lalmi, A., Bouhidel, K. E., Sahraoui, B., & el Houda Anfif, C. (2018). Removal of lead from polluted waters using ion exchange resin with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ for elution. *Hydrometallurgy*, 178, 287-293.

- [15]. Jamil, S., Loganathan, P., Kandasamy, J., Listowski, A., McDonald, J. A., Khan, S. J., & Vigneswaran, S. (2020). Removal of organic matter from wastewater reverse osmosis concentrate using granular activated carbon and anion exchange resin adsorbent columns in sequence. *Chemosphere*, 261, 127549.
- [16]. Khanzada, N. K., Farid, M. U., Kharraz, J. A., Choi, J., Tang, C. Y., Nghiem, L. D., ... & An, A. K. (2020). Removal of organic micropollutants using advanced membrane-based water and wastewater treatment: A review. *Journal of membrane science*, 598, 117672.
- [17]. Ya, V., Martin, N., Chou, Y. H., Chen, Y. M., Choo, K. H., Chen, S. S., & Li, C. W. (2018). Electrochemical treatment for simultaneous removal of heavy metals and organics from surface finishing wastewater using sacrificial iron anode. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 83, 107-114.
- [18]. Ye, S., Chen, Y., Yao, X., & Zhang, J. (2021). Simultaneous removal of organic pollutants and heavy metals in wastewater by photoelectrocatalysis: A review. *Chemosphere*, 273, 128503.
- [19]. Dalvi, V., Naaz, F., Nigam, H., Jain, R., Samuchiwal, S., Kalia, S., ... & Gola, D. (2021). Removal of pollutants from wastewater via biological methods and shifts in microbial community profile during treatment process. *Wastewater Treatment Reactors*, 19-38.
- [20]. Pintor, A. M., Vilar, V. J., Botelho, C. M., & Boaventura, R. A. (2016). Oil and grease removal from wastewaters: sorption treatment as an alternative to state-of-the-art technologies. A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 297, 229-255.
- [21]. Raval, N. P., Shah, P. U., & Shah, N. K. (2016). Adsorptive removal of nickel (II) ions from aqueous environment: A review. *Journal of Environmental Management*, 179, 1-20.
- [22]. Garcia-Segura, S., & Brillas, E. (2017). Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 31, 1-35.

- [23]. Ismail, I. M., Fawzy, A. S., Abdel-Monem, N. M., Mahmoud, M. H., & El-Halwany, M. A. (2012). Combined coagulation flocculation pretreatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331-336.
- [24]. Mostafa, S. S., & El-Gendy, N. S. (2017). Evaluation of fuel properties for microalgae *Spirulina platensis* bio-diesel and its blends with Egyptian petrodiesel. *Arabian journal of chemistry*, 10, S2040-S2050.
- [25]. Mezzomo, N., Saggiorato, A. G., Siebert, R., Tatsch, P. O., Lago, M. C., Hemkemeier, M., ... & Colla, L. M. (2010). Cultivation of microalgae *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) from biological treatment of swine wastewater. *Food Science and Technology*, 30, 173-178.
- [26]. H. Andemichael, J.W. Lee, Toxicological study of biofuel ethanol with blue green alga *Spirulina platensis*, *Algal Res.* 18 (2016) 110–115.
- [27]. Cardoso, N. F., Lima, E. C., Royer, B., Bach, M. V., Dotto, G. L., Pinto, L. A., & Calvete, T. (2012). Comparison of *Spirulina platensis* microalgae and commercial activated carbon as adsorbents for the removal of Reactive Red 120 dye from aqueous effluents. *Journal of hazardous materials*, 241, 146-153.
- [28]. CAPON, M., COURILLEU, V., & VALTE, C. (1999). Chimie des couleurs et des odeurs, culture et technique. *Nantes ISBN*, 2-9502444.
- [29]. Rangabhashiyam, S., Anu, N., & Selvaraju, N. (2013). Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 629-641.
- [30]. Demirbas, A. (2009). Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: a review. *Journal of hazardous materials*, 167(1-3), 1-9.
- [34]. AOUI, A., BENAÏSSA, R., REBHI, R., & HADIDI, N. (2022). Etude de la dispersion d'un gaz polluant dans espace clos. p3.

- [35].MEDJAHDI, M. *Préparation d'un monolithe carboné pour l'élimination d'une substance organique polluante* (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).
- [37].ZAHRA, M., &KARIMA, O. M. utilisation d'une algue rouge pour le traitement des effluents
- [39].Mekaoui Abdel Hafid, B. S. E. (2016). Bassin versant de la moyenne Seybouse pollution des eaux de surface approche qualitative et cartographique.p10
- [40].Oumaima, S. Étude de l'impact de type de substrat sur la qualité des eaux usées épurées par filtre planté.
- [41].BENSALLEH,M.,LABBACI,A.,&NEDJHIOUI,M. (2017). *CARACTIRISATION DES MATERIAUX D'ADSORBANT EN VUE DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS INDUSTRIELS* (Doctoral dissertation). P41
- [42].Hocini, A. A. (2022). Conception d'une unité de traitement des eaux usées industrielles d'une conserverie de thon (Tuna Star) w. Béjaia la commune d'oued Ghir.p10.
- [43]. BAOUCHI, A. W., & BELDI, R. (2022). *Contribution pour l'étude et l'amélioration des ambiances de travail* (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-).
- [44].Neboit, R. (1991). *L'homme et l'érosion*. Presses Univ Blaise Pascal.
- [45].LABED, M. L., & CHEKIMA, S. (2017). Dépollution par charbon actif d'une eau contaminée par bleu de méthylène,p10 ;9.
- [46]. ZINEB, A., & WAHIBA, M. (2019). Application des co-produits naturels à la dépollution des eaux (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).P4,5.

- [48]. Sara, K., & Khaoula, R. (2016). Elimination du bleu de méthylène de l'eau par adsorption sur un déchet naturel (Tiges des dattes). LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI.P4.
- [49.]Med, M. (2014). *Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite)* جامعة محمد خيضر كلية العلوم و التكنولوجيا قسم الكيمياء الصناعية (Master's thesis).
- [50].Midoun, S., Kaci, I., & Bezzi, N. (2021). *Elimination d'un colorant (bleu de méthylène) par adsorption sur les noyaux de fruits de néfliers* (Doctoral dissertation, Univers. Abderrahmane Mira).
- [52]. BENGALID, Y. (2021). *L'adsorption du bleu de méthylène et vert de malachite avec film chitosane/argile bio composite* (Doctoral dissertation, جامعة غرداية).
- [53]. Sofowora, A. (2010). *Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique*. KARTHALA Editions.
- [54]. GALINDO C. (1998). *Dégradation de colorants par la méthode d'oxydation avancée UV/H₂O₂*. Thèse de doctorat, n° 98 MULH 0520, Université de Mulhouse, France. Google Scholar 10.1128/AEM.70.2.837-844.2004
- [55]. Elazzozi, M. (1999). *Persistance ; mobilité et photo dégradation de l'imazapyr dans le sol et l'eau ; Thèse doctorat d'état, Université Mohammed V-Agdal Rabat-Maroc*.
- [56]. Atkins, P.W. (1994). *physical chemistry, 5Th Edition, Oxford University press, Oxford, 25-30*.
- [57]. Guergazi, S., Amimeur, D., Achour, S. (Mars 2013). Élimination des substances humiques de deux eaux de surface algériennes par adsorption sur charbon actif et sur bentonite, *Larhyss Journal, ISSN1112-3680, n°13, pp.125-137*
- [58]. Gaetan, C.M (2002). *Contribution à l'étude de l'adsorption binaire par les carbones non poreux et poreux ; Thèse doctorat, Université de Neuchâtel*
- [59]. Terchi, S (2009). *Adsorption du Bore en solution aqueuse essai de dépollution ; mémoire de magister, Université Mentouri Constantine ; Département de chimie*

- [60].Mechrafi, E (2002). Adsorption désorption et mobilité des herbicides au contact des adsorbants organiques et minéraux, *thèse de doctorat. Université Mohammed V, Rabat*
- [61].Djabba, M (2014). Argile de Magnai : purification et adsorption des polluants, *Thèse de. Doctorat, Université d'Oran-Algérie*
- [62].Khan, S.U.(1980). Fundamental aspects of pollution control and environmental science,. Elsevier. New York
- [63].Joachim Krou,N (2010). Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques, *Thèse de Doctorat, Université de Toulouse .*
- [64].Limousin, G., Gaudet, J.P., Charlet, L., Szenknect, S., Barthes, V., Krimissa, M. (2007). Sorption isotherms : A review on physical bases, modelling and measurement - *Applied Geochemistry . 22, 249-275.*
- [65].Sharma, K. K., Sharma, L. K.1986. A Text Book of Physical Chemistry. 8th edition, Vina Education. India.
- [66]. Barka, N (2008). «L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photo catalytique sur TiO₂ supporté », *thèse doctorat, Agadir*
- [67].RUTHVEN, D.M.(1984).principles of adsorption and adsorption process, Ed, J. Wiley. New York.
- [68] .Montacer , H (1999). Contribution à l'étude du devenir de la Therbutylazine dans le sol et l'eau. *Doctorate d'état.*
- [69].Nandi, B.K., Goswami, A., Purkait, M.K. *Journal of Hazadous Materials. 161, 387- 395*
- [70].Weber, W.J ., Vanvliet. B.M. (1998). In : Activated carbon adsorption of organic from the aqueous phase, *Ed.I.H. Suffet.M.J.Mc Guire1. 55, 80-115.*

- [71].Edeline ,F.(1998). L'épuration physico –chimique , Théorie et technologie des eau ,Ed ,. Cebedoc .Sprl. Liège
- [72].Limousin, G., Gaudet, J.P., Charlet, L., Szenknect, S., Barthes, V., Krimissa, M (2007). Sorption isotherms: A review on physical bases, modelling and measurement - *Applied Geochemistry* . 22, 249-275. 15
- [73].Goswani, D., Trivedi, Y., Block, D.M. (1997).Sol. *Energy Eng*, 23, 119
- [74].Slejko, E.L., Dekker, M. (1985). Adsorption technology : a step by step approach to process evaluation and application , edition M. Dekker. New York
- [75].Desjardins, R. Le traitement des eaux, 2^{eme}édition Revue amélioré. Ing /professeur à l'école polytechnique de Montréal
- [76].Langmuir, I.(1916). *Journal of the American Chemical Society* 38, 2221-95, 1
- [77].Rouesac, F., Rouesac, A.(2000).Analyse chimique, méthode et technique instrumentales modernes , édition Dunod. Paris .
- [78].Langmuir, I.(1918). « The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum». *Journal Am. Chem. Soc*, V 40, 1361-1403.
- [79].Freundlich, H.M. (1906). « Over the adsorption in solution », *J. Phy. Chem*, V 57, 385-470.
- [80].Stumm, W., Morgan, J.J.(1981). Aquatic chemistry, Ed.2.Wiley inter-science , J., *Wiley& sons*
- [81]. Valsaraj, k.T., Thibodeaux, L.J. (1988). Equilibrium Adsorption of Chemical Vapors on Surface Soils, Landfills & Landfarms, A Review. *J. Hazardous Matenals*, 19, 79-99.
- [82].Talidi, A.(2006).« Étude de l'élimination du Chrome et du bleu de méthylène en milieux aqueux par adsorption sur la pyrophyllite traitée et non traitée», Thèse de doctorat, Université Mohamed V-Agdal Rabat
- [83].Salam, I.I., Bandoz, T.J.(2005). *Journal of colloid and interface Science* 264,37-312.

- [84]. Banat, K.M. (1980). "Principle of Clay Mineralogy", Baghdad University Press, Baghdad .
- [85]. Gerasimov, Y.(1974). "Physical Chemistry ", vol. 1, Mir Publishers, Moscow
- [86]. Bagane, M. (2000). «Elimination d'un colorant des effluents de l'industrie textile par adsorption», Annal de Chimie Paris.
- [87]. Rudzinski, W., Steele, A. William., Zgrablich, G.(1997). «Equilibria and Dynamics of Gas Adsorption on Heterogeneous solid Surfaces», Publisher : Elsevier Science et Technology Books
- [88]. Fierro Torné-Fernández, V., Celzard, A. (2007). Microporous and mesoporous Materials(101), p 419-431.
- [89]. Ho, Y.S., McKay, G., (1998). « Kinetic model for lead (II) sorption onto peat Adsorp». *Sci. Technol.*, 16, 1-39.
- [90]. Ho, Y.S.(2006). « Second order kinetic model for the sorption of cadmium onto tree fern: a comparison of linear and nonlinear methods». *Water. Res.*40, 119-125.
- [91]. Tsai, W.T., Chang, Y.M., Lai, C.W., Lo, C.C. (2005). *Applied clay Science* 29, 149-154.
- [92]. Daoud, T.(2007). Biosorption Simultanée du Plomb et du Fer sur une Biomasse Morte «*La Streptomyces rimosus* », Diplôme de Magister, École nationale Polytechnique El-Harrach Alger.
- [93]. AREFFAS, A.(2010). Etude de l'adsorption de colorants organique (Rouge nylosan e bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir de marc de café, *thèse de doctorat*, université de Mentouri Constantine,
- [94]. Koller, E .2004 . « Génie chimique aide-mémoire » , 2ème édition DUNOD. Paris(France).

- [95]. Benguela, B.(2009).« Valorisation des argiles Algériennes application à l'adsorption des colorants textiles en solution » *Thèse de doctorat* de l'université de Tlemcen-Algérie.
- [96]. Abo-Shady, A. M., Osman, M. E. A. H., Gaafar, R. M., Ismail, G. A., & El-Nagar, M. M. (2023). Cyanobacteria as a Valuable Natural Resource for Improved Agriculture, Environment, and Plant Protection. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(5), 313.
- [97].BENKADDOUR,I.,MOKADDEM ,S ,BOUZEGAG,t.(2022),Contribution à l'étude phytochimique et de l'activité antioxydantet antisolaire des extraits de la souche *Arthrospiraplatensis* cultivé dans deux régions différentes en Algérie.UniversitéEchahidHamma Lakhdar -El OUED,p6 ;7.
- [98]. FERHAT, W., & LAKEHAL, S. (2019). Culture et production de la spiruline *Arthrospiraplatensis* dans la région d'El'Oued.
- [100].Wijffels, R. H., Kruse, O., &Hellingwerf, K. J. (2013). Potential of industrial biotechnology with cyanobacteria and eukaryotic microalgae. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(3), 405–413
- [101].Balasubramaniam, V., Gunasegavan, R. D. N., Mustar, S., Lee, J. C., & Noh, M. F. M. (2021). Isolation of industrial important bioactive compounds from microalgae. *Molecules*, 26(4), 1–45.
- [102].Balloni W, Tomaselli L, Giovannetti L, Margheri MC (1980) Biologiafondamentale del genereSpirulina. In: Materassi R (ed) ProspettivedellaColturaMassiva di Spirulina in Italia. CNR Rome, pp 49–85
- [103]. Ciferri O. (1983). Spirulina, the Edible Microorganism. *Microbiol. Rev.*, v. 47, No. 4p. 551-578.
- [104]. . Ross E., Dominy W. The nutritional value of dehydrated, blue-green algae (*Spirulinaplatensis*) for poultry. *Poult. Sci.* 1990;69:794–800.
doi: 10.3382/ps.0690794

- [105].Aly M.S., Gad A.S. Chemical composition and potential application of *Spirulinaplatensis* biomass. *J. Am. Sci.* 2010;6:819–826
- [106].Carcea M., Sorto M., Batello C., Narducci V., Aguzzi A., Azzini E., Fantauzzi P., Finotti E., Gabrielli P., Galli V., et al. Nutritional characterization of traditional and improved dihe, alimentary blue-green algae from the lake Chad region in Africa. *LWT Food Sci. Technol.* 2015;62:753–763.
doi: 10.1016/j.lwt.2014.10.039
- [107].Aouir A., Amiali M., Bitam A., Benchabane A., Raghavan V. Comparison of the biochemical composition of different *Arthrospiraplatensis* strains from Algeria, Chad and the USA. *J. Food Meas. Charact.* 2017;11:913–923.
doi: 10.1007/s11694-016-9463-4.
- [108].Rajaa S., Mourad K., Azzouz E. Functional composition, nutritional properties, and biological activities of Moroccan *Spirulina* microalga. *J. Food Qual.* 2019;2019:3707219.
- [109].Gabar G., El-Sayed S., Hikal M. Antioxidant activities of Phycocyanin: A bioactive compound from *Spirulinaplatensis*. *J. Pharm. Res. Int.* 2020;32:73–85. doi: 10.9734/jpri/2020/v32i230407
- [110].Bleakley S., Hayes M. Algal Proteins: Extraction, Application and challenges Concerning Production. *Foods.* 2017;6:33. doi: 10.3390/foods6050033.
- [111].Ali S., Saleh A. Spirulina-an overview. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 2012;4:9–15.
- [112].Alvarenga R., Rodrigues P., Cantarelli V., Zangeronimo M., Junior J., Silva L., Santos L., Pereira L. Energy values and chemical composition of spirulina (*Spirulinaplatensis*) evaluated with broilers. *Rev. Bras. De Zootec.* 2011;40:992–996. doi: 10.1590/S1516-35982011000500008.
- [113].BENKADDOUR. I& MOKADDEM. S & BOUZEGAG. t;(2022);Contribution à l'étude phytochimique et de l'activité antioxydant et antisolaire des extraits de la souche *Arthrospiraplatensis* cultivé dans deux régions différentes en Algérie.p11.

- [114].Sara, K., &Khaoula, R. (2016). Elimination du bleu de méthylène de l'eau par adsorption sur un déchet naturel (Tiges des dattes). LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI.
- [115].Fox R.D. ,1999: Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix en provence:EdiSud._
- [116].LAHOUCINE Halima Amina ;2019 : Etude de l'impact de l'incorporation de la Spiruline sur la qualité organoleptique et physicochimique de la Mayonnaise.p9.
- [117].CASAL A., 2019 ,l'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web, www.spirulinefrance.fr
- [122]. A., Reghiooua, D., Barkat, A., H., Jawad, A., S., Abdulhameed, A., A. Al-Kahtani, Z., A. ALOthman ,(2021), Parametric optimization by Box–Behnken design for synthesis of magnetic chitosan-benzil/ZnO/Fe₃O₄ nanocomposite and textile dye removal, Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(3) , , ISSN 2213-3437,
- [124].Mohammad, A. T., Abdul Hamed, A. S., &Jawad, A. H. (2019). Box-Behnken design to optimize the synthesis of new crosslinkedchitosan-glyoxal/TiO₂ Nano composite: methyl orange adsorption and mechanism studies. International journal of biologicalmacromolecules, 129, 98-10
- [127].Abdulhameed, A. S., &Jawad, A. H. (2019). Box-Behnken design to optimize the synthesis of new crosslinked chitosan-glyoxal/TiO₂ nanocomposite: methyl orange adsorption and mechanism studies. International journal of biological macromolecules, 129, 98-109
- [128].GuimarãesGusmão . k .A , alvesgurgel L . V , Sacramento melo T.M , Gil L .F , " Dyes ".pig ,92-967 , 2012.

- [129]. Wang, C.-Y., Fu, C.-C., and Liu, Y.-C. 2007. "Effects of Using Light-Emitting Diodes on the Cultivation of *Spirulina platensis*." *Biochemical Engineering Journal* 37: 21-5.
- [130]. Chen, T., Wong, Y.-S., and Zheng, W. 2006. "Purification and Characterization of Selenium-Containing Phycocyanin from Selenium-Enriched *Spirulina platensis*." *Phytochemistry* 67: 2424-30
- [131]. Domozych, D. S., Stewart, K. D., and Mattox, K. R. 1980. "The Comparative Aspects of Cell Wall Chemistry in the Green Algae (Chlorophyta)." *Journal of Molecular Evolution* 15: 1- 12
- [133]. Abdulhameed, A. S., Jawad, A. H., AlOthman, Z. A., & Yaseen, Z. M. (2022). Modeling and optimization of the adsorptive removal of crystal violet dye by durian (*Duriozibethinus*) seeds powder: insight into kinetic, isotherm, thermodynamic, and adsorption mechanism. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-14.
- [134]. B. T. Iber, D. Torsabo, C. E. N. C. E. Chik, F. Wahab, S. R. S. Abdullah, H. A. Hasan, N.A. Kasan, (2023), Optimization of chitosan coagulant from dry legs of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* in aquaculture wastewater treatment using response surface methodology (RSM), *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3) ,, ISSN 2213-3437. 109761 .
- [135]. Khalfaoui A. Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels : Application aux Peaux d'Orange et de Banane, Thèse de Doctorat, Université Mentouri-Constantine, 2012.
- [136]. Manole Creanga, C. Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique). Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. (2007
- [137]. A. S., Hanafiah, M. M., AlOthman, Z. A., Khan, M. R., & Surip, S. N. (2021). Numerical desirability function for adsorption of methylene blue dye by

- sulfonated pomegranate peel biochar: Modeling, kinetic, isotherm, thermodynamic, and mechanism study. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 38(7), 1499-1509.
- [138]. Chouat M. Laboubi F. Etude de l'adsorption du bleu méthylène par charbon actif, Mémoire de Master, Université Mohamed Khaider-Biskra, Juin 2013
- [140]. Bouziane N. Élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Mémoire de Master, Université Mentouri Constantine, 30/05/2007.
- [141]. M. Karima (2015) "Etude et réalisation de semi-conducteurs transparents ZnO dopé vanadium et oxyde de vanadium en couches minces pour applications photovoltaïques", thèse de doctorat, Univ Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [142]. Chouat M. Laboubi F. Etude de l'adsorption du bleu méthylène par charbon actif, Mémoire de Master, Université Mohamed Khaider-Biskra, Juin 2013
- [143]. Unburned carbon as a low-cost adsorbent for treatment of methylene blue-containing wastewater. *Journal of colloid and interface science*, 292(2), 336-343.
- [144]. Abdul Hameed, A. S., Jawed, A. H., AL Othman, Z. A., & Yasmeen, Z. M. (2022). Modeling and optimization of the adsorptive removal of crystal violet dye by durian (*Duriozibethinus*) seeds powder: insight into kinetic, isotherm, thermodynamic, and adsorption mechanism. *Biomasse Conversion and Biorefinery*, 1-14.
- [145]. Ho, Y. S., & McKay, G. (1998). Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chemical engineering journal*, 70(2), 115-12.
- [146]. A., Reghioua, D., Barkat, A., H., Jawad, A., S., Abdulhameed, A., A. Al-Kahtani, Z., A. AL Othman, (2021), Parametric optimization by Box–Behnken design for synthesis of magnetic chitosan-benzil/ZnO/Fe₃O₄ nanocomposite and textile dye removal, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), ISSN 2213-3437.

Référence

[121].<https://filab.fr/nos-moyens-techniques/analyse-et-caracterisation-des-materiaux-par-diffraction-des-rayons-x-drx-en-laboratoire/filab-caracterise-vos-mineraux-par-drx/>.

Annexes

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514**Version: **3.0 fr**

Remplace la version de: 10.12.2018

Version: (2)

date d'établissement: 10.12.2018

Révision: 16.08.2021

RUBRIQUE 1: Identification de la substance/du mélange et de la société/l'entreprise**1.1 Identificateur de produit**

Identification de la substance	Bleu de méthylène (C.I. 52015)
Numéro d'article	A514
Numéro d'enregistrement (REACH)	L'indication des utilisations identifiées n'est pas nécessaire puisque selon la directive REACH (< 1 t/a) la substance ne nécessite pas un enregistrement.
Numéro CE	200-515-2
Numéro CAS	61-73-4
Nom(s) alternatif(s)	Basic blue 9

1.2 Utilisations identifiées pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations déconseillées

Utilisations identifiées pertinentes:	Substance chimique de laboratoire Utilisation en laboratoire et à des fins d'analyse
Utilisations déconseillées:	Ne pas utiliser pour des produits qui sont destinés au contact avec des aliments. Ne pas utiliser pour des fins privés (ménage).

1.3 Renseignements concernant le fournisseur de la fiche de données de sécurité

Carl Roth GmbH + Co KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Allemagne

Téléphone: +49 (0) 721 - 56 06 0**Téléfax:** +49 (0) 721 - 56 06 149**e-mail:** sicherheit@carlroth.de**Site web:** www.carlroth.de

Personne compétente responsable de la fiche de données de sécurité:

:Division sécurité au travail et protection de l'environnement

e-mail (personne compétente):**sicherheit@carlroth.de****Fournisseur (importateur):**

ROTH SOCHIEL E.U.R.L.

3, rue de la Chapelle

67630 Lauterbourg

+33 3 88 94 82 42

-

info@carlroth.frwww.carlroth.fr**1.4 Numéro d'appel d'urgence**

Nom	Rue	Code postal/ville	Téléphone	Site web
Centre Antipoison et de Toxicovigilance Hôpital Fernand WIDAL	200 rue du Faubourg Saint Denis	75475 Paris Cedex 10	+ 33 (0)1 45 42 59 59	



Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

Bleu de méthylène (C.I. 52015)

numéro d'article: **A514**

1.1 Importateur

ROTH SOCHIEL E.U.R.L.
3, rue de la Chapelle
67630 Lauterbourg
France

Téléphone: +33 3 88 94 82 42

Téléfax: -

e-Mail: info@carlroth.fr

Site web: www.carlroth.fr

RUBRIQUE 2: Identification des dangers

2.1 Classification de la substance ou du mélange

Classification opérée conformément au règlement (CE) no 1272/2008 (CLP)

Ru- brique	Classe de danger	Catégo- rie	Classe et catégo- rie de danger	Mention de danger
3.10	Toxicité aiguë (orale)	4	Acute Tox. 4	H302

Pour le texte intégral: voir la RUBRIQUE 16

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquetage selon le règlement (CE) no 1272/2008 (CLP)

**Mention
d'avertissement**

Attention

Pictogrammes

GHS07



Mentions de danger

H302

Nocif en cas d'ingestion

Conseils de prudence

Conseils de prudence - prévention

P270

Ne pas manger, boire ou fumer en manipulant ce produit

Conseils de prudence - intervention

P301+P312

EN CAS D'INGESTION: Appeler un CENTRE ANTIPOISON/un médecin en cas de malaise

Étiquetage de paquets dont le contenu n'excède pas 125 ml

Mention d'avertissement: **Attention**

Symbole(s)



Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514****2.3 Autres dangers****Résultats des évaluations PBT et vPvB**

Conformément aux résultats de son évaluation, cette substance n'est pas une substance PBT ou vPvB.

RUBRIQUE 3: Composition/informations sur les composants**3.1 Substances**

Nom de la substance	Bleu de méthylène
Formule moléculaire	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Masse molaire	319,9 g/mol
No CAS	61-73-4
No CE	200-515-2

Substance, Limites de concentrations spécifiques, facteurs M, ETA

Limites de concentrations spécifiques	Facteurs M	ETA	Voie d'exposition
-	-	1.180 mg/kg	oral

RUBRIQUE 4: Premiers secours**4.1 Description des premiers secours****Notes générales**

Enlever les vêtements contaminés.

Après inhalation

Fournir de l'air frais. En cas de malaise ou en cas de doute, consulter un médecin.

Après contact cutané

Rincer la peau à l'eau/se doucher. En cas de malaise ou en cas de doute, consulter un médecin.

Après contact oculaire

Rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. En cas de malaise ou en cas de doute, consulter un médecin.

Après ingestion

Rincer la bouche avec de l'eau (seulement si la personne est consciente). Appeler un médecin.

4.2 Principaux symptômes et effets, aigus et différés

Vomissements, Nausée, Spasmes

4.3 Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires

aucune

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514****RUBRIQUE 5: Mesures de lutte contre l'incendie****5.1 Moyens d'extinction****Moyens d'extinction appropriés**

coordonner les mesures de lutte contre l'incendie à l'environnement
eau, mousse, poudre d'extincteur à sec, poudre ABC

Moyens d'extinction inappropriés

jet d'eau à pleine puissance

5.2 Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange

Combustible.

Produits de combustion dangereux

En cas d'incendie, risque de dégagement de: Oxydes azotés (NOx), Monoxyde de carbone (CO), Dioxyde de carbone (CO₂), Oxydes de soufre (SOx)

5.3 Conseils aux pompiers

En cas d'incendie et/ou d'explosion, ne pas respirer les fumées. Combattre l'incendie à distance en prenant les précautions normales. Porter un appareil respiratoire autonome.

RUBRIQUE 6: Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle**6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence****Pour les non-secouristes**

Ne pas respirer les poussières. Éviter le contact avec la peau et les yeux.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement

Éviter la contamination des égouts, des eaux de surface et des eaux souterraines.

6.3 Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage**Conseils concernant le confinement d'un déversement**

Couverture des égouts. Ramasser mécaniquement.

Conseils concernant le nettoyage d'un déversement

Ramasser mécaniquement. La lutte contre les poussières.

Toute autre information concernant les déversements et les dispersions

Placer dans un récipient approprié pour l'élimination.

6.4 Référence à d'autres rubriques

Produits de combustion dangereux: voir la rubrique 5. Équipement de protection individuel: voir rubrique 8. Matières incompatibles: voir rubrique 10. Considérations relatives à l'élimination: voir rubrique 13.

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**

numéro d'article: A514

RUBRIQUE 7: Manipulation et stockage**7.1 Précautions à prendre pour une manipulation sans danger**

Éviter la formation de poussière.

Mesures destinées à prévenir les incendies et à empêcher la production de particules en suspension et de poussières

Élimination de dépôts de poussières.

Conseils d'ordre général en matière d'hygiène du travail

Se laver les mains avant les pauses et à la fin du travail. Conserver à l'écart des aliments et boissons, y compris ceux pour animaux.

7.2 Conditions d'un stockage sûr, y compris d'éventuelles incompatibilités

Stocker dans un endroit sec. Maintenir le récipient fermé de manière étanche.

Substances ou mélanges incompatibles

Observez le stockage compatible de produits chimiques.

Considération des autres conseils:**Exigences en matière de ventilation**

Utilisation d'une ventilation locale et générale.

Conception particulière des locaux ou des réservoirs de stockage

Température de stockage recommandée: 15 - 25 °C

7.3 Utilisation(s) finale(s) particulière(s)

Aucune information disponible.

RUBRIQUE 8: Contrôles de l'exposition/protection individuelle**8.1 Paramètres de contrôle****Valeurs limites nationales****Valeurs limites d'exposition professionnelle (limites d'exposition sur le lieu de travail)**

Pays	Nom de l'agent	No CAS	Identificateur	VME [mg/m ³]	VLCT [mg/m ³]	VP [mg/m ³]	Mention	Source
FR	poussières réputées sans effet spécifique		VME	10			i	INRS
FR	poussières réputées sans effet spécifique		VME	5			r	INRS

Mention

i Fraction inhalable

r Fraction alvéolaire

VLCT Valeur limite court terme (limite d'exposition à court terme): valeur limite au-dessus de laquelle il ne devrait pas y avoir d'exposition et qui se rapporte à une période de quinze minutes (sauf indication contraire)

VME Valeur limite de moyenne d'exposition (limite d'exposition à long terme): mesuré ou calculé par rapport à une période de référence de huit heures, moyenne pondérée dans le temps (sauf indication contraire)

VP Valeur plafond au-dessus de laquelle il ne devrait pas y avoir d'exposition (ceiling value)

8.2 Contrôles de l'exposition

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)



Bleu de méthylène (C.I. 52015)

numéro d'article: **A514**

Mesures de protection individuelle (équipement de protection individuelle)

Protection des yeux/du visage



Utilisation des lunettes de protection avec une protection sur les côtés.

Protection de la peau



• protection des mains

Porter des gants appropriés. Un gant de protection contre les substances chimiques selon la norme EN 374 est approprié. Pour un usage spécial il est recommandé de vérifier la résistance des gants de protection indiqué plus haut contre les produits chimiques avec le fournisseur de ces gants. Les temps sont des valeurs approximatives à partir de mesures à 22 ° C et de contact permanent. L'augmentation des températures due à des substances chauffées, à la chaleur corporelle, etc., ainsi qu'une réduction de l'épaisseur effective de la couche par étirement peuvent entraîner une réduction considérable du temps de pénétration. En cas de doute, contactez le fabricant. Avec une épaisseur de couche environ 1,5 fois supérieure / inférieure, le temps de passage respectif est doublé / réduit de moitié. Les données s'appliquent uniquement à la substance pure. Transférés dans des mélanges de substances, ils ne peuvent être considérés qu'à titre indicatif.

• type de matière

NBR (Caoutchouc nitrile)

• épaisseur de la matière

>0,11 mm

• délai normal ou minimal de rupture de la matière constitutive du gant

>480 minutes (perméation: niveau 6)

• mesures de protection diverse

Faire des périodes de récupération pour la régénération de la peau. Une protection de la peau (crèmes barrières/pommades) est recommandée.

Protection respiratoire



Une protection respiratoire est nécessaire lors de: Dégagement de poussière. Filtre à particules (EN 143). P2 (filtre au moins 94 % des particules atmosphériques, code couleur: blanc).

Contrôles d'exposition liés à la protection de l'environnement

Éviter la contamination des égouts, des eaux de surface et des eaux souterraines.



Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

Bleu de méthylène (C.I. 52015)

numéro d'article: **A514**

RUBRIQUE 9: Propriétés physiques et chimiques

9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles

État physique	solide
Forme	poudre cristalline
Couleur	vert foncé
Odeur	inodore
Point de fusion/point de congélation	180 - 190 °C
Point d'ébullition ou point initial d'ébullition et intervalle d'ébullition	non déterminé
Inflammabilité	cette matière est combustible, mais elle ne s'enflamme pas facilement
Limites inférieure et supérieure d'explosion	non déterminé
Point d'éclair	ne s'applique pas
Température d'auto-inflammabilité	non déterminé
Température de décomposition	>190 °C
(valeur de) pH	~ 3 (en solution aqueuse: 10 ^{g/l} , 20 °C)
Viscosité cinématique	non pertinent
<u>Solubilité(s)</u>	
Solubilité dans l'eau	soluble
<u>Coefficient de partage</u>	
Coefficient de partage n-octanol/eau (valeur log):	cette information n'est pas disponible
Pression de vapeur	non déterminé
Densité	non déterminé
Densité de vapeur relative	des informations sur cette propriété ne sont pas disponibles
Densité globale	400 - 600 kg/m ³

Caractéristiques des particules Il n'existe pas de données disponibles.

Autres paramètres de sécurité

Propriétés comburantes aucune

9.2 Autres informations

Informations concernant les classes de danger physique: classes de danger selon SGH (dangers physiques): non pertinent

Autres caractéristiques de sécurité: Il n'y a aucune information additionnelle.

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514****RUBRIQUE 10: Stabilité et réactivité****10.1 Réactivité**

Le produit dans sa forme de livraison n'est pas capable d'explosion de poussière; l'enrichissement avec de la poussière fine mène au danger d'une explosion de poussières.

10.2 Stabilité chimique

Le matériau est stable dans les conditions ambiantes normales et prévisibles de stockage et de manipulation, en ce qui concerne la température et la pression.

10.3 Possibilité de réactions dangereuses

Vive réaction avec: comburant puissant

10.4 Conditions à éviter

Conserver à l'écart de la chaleur. La décomposition s'opère à partir de températures de: >190 °C.

10.5 Matières incompatibles

Il n'y a aucune information additionnelle.

10.6 Produits de décomposition dangereux

Produits de combustion dangereux: voir la rubrique 5.

RUBRIQUE 11: Informations toxicologiques**11.1 Informations sur les classes de danger telles que définies dans le règlement (CE) no 1272/2008**

Classification opérée conformément au SGH (1272/2008/CE, CLP)

Toxicité aiguë

Nocif en cas d'ingestion.

Toxicité aiguë					
Voie d'exposition	Effet	Valeur	Espèce	Méthode	Source
oral	LD50	1.180 mg/kg	rat		RTECS

Corrosion/irritation cutanée

N'est pas classé comme corrosif ou irritant pour la peau.

Lésion oculaire grave/sévère irritation des yeux

N'est pas classé comme causant des lésions graves aux yeux ou comme irritant pour les yeux.

Sensibilisation respiratoire ou cutanée

N'est pas classé comme sensibilisant respiratoire ou sensibilisant cutané.

Mutagenicité sur cellules germinales

N'est pas classé comme mutagène sur les cellules germinales.

Cancérogénicité

N'est pas classé comme cancérogène.

Toxicité pour la reproduction

N'est pas classé comme toxique pour la reproduction.

Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition unique

N'est pas classé comme un toxique spécifique pour certains organes cibles (exposition unique).

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514****Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition répétée**

N'est pas classé comme un toxique spécifique pour certains organes cibles (exposition répétée).

Danger en cas d'aspiration

N'est pas classé comme présentant un danger en cas d'aspiration.

Symptômes liés aux caractéristiques physiques, chimiques et toxicologiques• **En cas d'ingestion**

vomissements, nausée, Spasmes

• **En cas de contact avec les yeux**

Des données ne sont pas disponibles.

• **En cas d'inhalation**

L'inhalation de poussière peut causer une irritation des voies respiratoires

• **En cas de contact avec la peau**

Un contact fréquent et permanent avec la peau peut provoquer des irritations cutanées

• **Autres informations**

aucune

11.2 Propriétés perturbant le système endocrinien

Pas énuméré.

11.3 Informations sur les autres dangers

Il n'y a aucune information additionnelle.

RUBRIQUE 12: Informations écologiques**12.1 Toxicité**

N'est pas classé comme dangereux pour le milieu aquatique.

Toxicité aquatique (aiguë)				
Effet	Valeur	Espèce	Source	Durée d'exposition
EC50	2.260 mg/l	daphnia magna		48 h

Biodégradation

Des données ne sont pas disponibles.

12.2 Processus de la dégradabilité

Demande Théorique en Oxygène avec une nitrification: 2,192 mg/mg

Demande Théorique en Oxygène: 1,951 mg/mg

Dioxyde de Carbone Théorique: 2,201 mg/mg

12.3 Potentiel de bioaccumulation

Des données ne sont pas disponibles.

12.4 Mobilité dans le sol

Des données ne sont pas disponibles.

12.5 Résultats des évaluations PBT et vPvB

Des données ne sont pas disponibles.

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514****12.6 Propriétés perturbant le système endocrinien**

Pas énuméré.

12.7 Autres effets néfastes

Des données ne sont pas disponibles.

RUBRIQUE 13: Considérations relatives à l'élimination**13.1 Méthodes de traitement des déchets**

Éliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux. Éliminer le contenu/récipient conformément à la réglementation locale/régionale/nationale/internationale.

Informations pertinentes pour l'évacuation des eaux usées

Ne pas jeter les résidus à l'égout.

13.2 Dispositions pertinentes relatives à la prévention des déchets

Selon la branche professionnelle et le processus, la classification dans une catégorie de déchets doit être effectuée conformément à la directive allemande EAVK. Abfallverzeichnis-Verordnung (ordonnance sur le catalogue des déchets, Allemagne).

13.3 Remarques

Les déchets sont à trier selon les catégories qui peuvent être traitées séparément dans les installations locales ou nationales de gestion des déchets. Veuillez bien noter toute disposition nationale ou régionale pertinente.

RUBRIQUE 14: Informations relatives au transport

14.1 Numéro ONU ou numéro d'identification	non soumis aux règlements sur le transport
14.2 Désignation officielle de transport de l'ONU	pas attribué
14.3 Classe(s) de danger pour le transport	aucune
14.4 Groupe d'emballage	pas attribué
14.5 Dangers pour l'environnement	pas dangereux pour l'environnement selon le règlement sur les transports des marchandises dangereuses
14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur	Il n'y a aucune information additionnelle.
14.7 Transport maritime en vrac conformément aux instruments de l'OMI	Le transport en vrac de cargaisons n'est pas prévu.
14.8 <u>Informations pour chacun des règlements types des Nations unies</u>	
Transport par route, par rail ou par voies de navigation intérieures de marchandises dangereuses (ADR/RID/ADN) - Informations supplémentaires	Non soumis à l'ADR, au RID et à l'ADN.
Code maritime international des marchandises dangereuses (IMDG) - Informations supplémentaires	Non soumis à l'IMDG.

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514****Organisation de l'aviation civile internationale (OACI-IATA/DGR) - Informations supplémentaires**

Non soumis à l'OACI-IATA.

RUBRIQUE 15: Informations relatives à la réglementation**15.1 Réglementations/législation particulières à la substance ou au mélange en matière de sécurité, de santé et d'environnement****Dispositions pertinentes de l'Union européenne (UE)****Restrictions selon REACH, Annexe XVII**

pas énuméré

Liste des substances soumises à autorisation (REACH, Annexe XIV)/SVHC - liste des candidats

Pas énuméré.

Directive Seveso**2012/18/UE (Seveso III)**

No	Substance dangereuse/catégories de danger	Quantité seuil (tonnes) pour l'application des exigences relatives au seuil bas et au seuil haut	Notes
	pas attribué		

Directive Decopaint

Teneur en COV	0 %
---------------	-----

Directive relative aux émissions industrielles (DEI)

Teneur en COV	0 %
---------------	-----

Directive relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (RoHS)

pas énuméré

Règlement concernant la création d'un registre européen des rejets et des transferts de polluants (PRTR)

pas énuméré

Directive-cadre sur l'eau (DCE)**Liste des polluants (DCE)**

Nom de la substance	Nom selon l'inventaire	No CAS	Énuméré dans	Remarques
Bleu de méthylène	Composés organohalogénés et substances susceptibles de former des composés de ce type dans le milieu aquatique		A)	

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)

**Bleu de méthylène (C.I. 52015)**numéro d'article: **A514**

Liste des polluants (DCE)				
Nom de la substance	Nom selon l'inventaire	No CAS	Énuméré dans	Remarques
Bleu de méthylène	Substances et préparations, ou leurs produits de décomposition, dont le caractère cancérigène ou mutagène ou les propriétés pouvant affecter les fonctions stéroïdogénique, thyroïdienne ou reproductrice ou d'autres fonctions endocriniennes dans ou via le milieu aquatique ont été démontrés		A)	

Légende

A) Liste indicative des principaux polluants

Règlement sur la commercialisation et l'utilisation de précurseurs d'explosifs

pas énuméré

Règlement relatif aux précurseurs de drogues

pas énuméré

Règlement relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (ODS)

pas énuméré

Règlement concernant les exportations et importations de produits chimiques dangereux (PIC)

pas énuméré

Règlement concernant les polluants organiques persistants (POP)

pas énuméré

Inventaires nationaux

Pays	Inventaire	Status
AU	AICS	la substance est répertoriée
CA	DSL	la substance est répertoriée
CN	IECSC	la substance est répertoriée
EU	ECSI	la substance est répertoriée
JP	CSCL-ENCS	la substance est répertoriée
KR	KECI	la substance est répertoriée
MX	INSQ	la substance est répertoriée
NZ	NZIoC	la substance est répertoriée
PH	PICCS	la substance est répertoriée
TW	TCSI	la substance est répertoriée
US	TSCA	la substance est répertoriée

Légende

AICS Australian Inventory of Chemical Substances
 CSCL-ENCS List of Existing and New Chemical Substances (CSCL-ENCS)
 DSL Liste intérieure des substances (LIS)
 ECSI CE inventaire de substances (EINECS, ELINCS, NLP)
 IECSC Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China
 INSQ National Inventory of Chemical Substances
 KECI Korea Existing Chemicals Inventory
 NZIoC New Zealand Inventory of Chemicals

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)



Bleu de méthylène (C.I. 52015)

numéro d'article: A514

Légende

PICCS	Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)
TCSI	Taiwan Chemical Substance Inventory
TSCA	Toxic Substance Control Act

10.2 Évaluation de la sécurité chimique

Aucune évaluation de la sécurité chimique n'a été effectuée pour la substance.

RUBRIQUE 16: Autres informations

Indication des modifications (fiche révisée de données de sécurité)

Alignement sur le règlement: Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH), modifié par 2020/878/UE

Restructuration: rubrique 9, rubrique 14

Rubrique	Inscription ancienne (texte/valeur)	Inscription courante (texte/valeur)	Pertinente pour la sécurité
2.1		Classification opérée conformément au règlement (CE) no 1272/2008 (CLP): changement dans la liste (tableau)	oui
2.2		Mentions de danger: changement dans la liste (tableau)	oui
2.2		Conseils de prudence - prévention: changement dans la liste (tableau)	oui
2.2		Conseils de prudence - intervention	oui
2.2		Conseils de prudence - intervention: changement dans la liste (tableau)	oui
2.2		Étiquetage de paquets dont le contenu n'ex- cède pas 125 ml: changement dans la liste (tableau)	oui
2.3	Autres dangers: Il n'y a aucune information additionnelle.	Autres dangers	oui
2.3		Résultats des évaluations PBT et vPvB: Conformément aux résultats de son évaluation, cette substance n'est pas une substance PBT ou vPvB.	oui

Abréviations et acronymes

Abr.	Description des abréviations utilisées
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures
ADR	Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route
CAS	Chemical Abstracts Service (numéro d'enregistrement auprès du Chemical Abstracts Service. Identifiant numérique unique n'ayant aucune signification chimique)
CLP	Règlement (CE) no 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage (Classification, Labelling and Packaging) des substances et des mélanges
COV	Composés Organiques Volatils
DGR	Dangerous Goods Regulations (règlement sur les transports des marchandises dangereuses - voir IATA/DGR)

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)



Bleu de méthylène (C.I. 52015)

numéro d'article: **A514**

Abr.	Description des abréviations utilisées
EC50	Effective Concentration 50 % (Concentration efficace 50 %). La CE50 correspond à la concentration d'une substance testée entraînant 50 % de modifications de la réponse (e50.: sur la croissance) au cours d'une période donnée
EINECS	European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (inventaire européen des substances chimiques commerciales existantes)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (liste européenne des substances chimiques notifiées)
ETA	Estimation de la Toxicité Aiguë
IATA	Association Internationale du Transport Aérien
IATA/DGR	Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Règlement sur les transports des marchandises dangereuses pour le transport aérien)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code (code maritime international des marchandises dangereuses)
INRS	Aide mémoire technique INRS sur les valeurs limites d'exposition (ED 984) (http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20984)
LD50	Lethal Dose 50 % (dose létale 50 %): la DL50 correspond à la dose d'une substance testée entraînant une létalité à 50 % au cours d'une période donnée
NLP	No-Longer Polymer (ne figure plus sur la liste des polymères)
No CE	L'inventaire CE (EINECS, ELINCS et NLP) est la source pour le numéro CE comme identifiant des substances dans l'Union européenne
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PBT	Persistant, Bioaccumulable et Toxique
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques)
RID	Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses
SGH	"Système Général Harmonisé pour la classification et l'étiquetage des produits chimiques" développé par les Nations unies
SVHC	Substance of Very High Concern (substance extrêmement préoccupante)
VLCT	Valeur limite court terme
VME	Valeur limite de moyenne d'exposition
VP	Valeur plafond
vPvB	Very Persistent and very Bioaccumulative (très persistant et très bioaccumulable)

Principales références bibliographiques et sources de données

Règlement (CE) no 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage (Classification, Labelling and Packaging) des substances et des mélanges. Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH), modifié par 2020/878/UE.

Transport par route, par rail ou par voies de navigation intérieures de marchandises dangereuses (ADR/RID/ADN). Code maritime international des marchandises dangereuses (IMDG). Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Règlement sur les transports des marchandises dangereuses pour le transport aérien).

Liste des phrases (code et texte intégral comme indiqué dans le chapitre 2 et 3)

Code	Texte
H302	Nocif en cas d'ingestion.

Fiche de données de sécurité

selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH)



Bleu de méthylène (C.I. 52015)

numéro d'article: **A514**

Clause de non-responsabilité

Ces informations sont basées sur l'état actuel de nos connaissances. Cette FDS a été élaborée exclusivement pour ce produit et est exclusivement destinée à ce produit.