



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

REZZAG-LAGRA Abderrahmane & SOUAIB Cherifa

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie des Procédés de environnement

Thème

Essai d'adsorption d'un polluant aqueux
sur un biomatériau local

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Pr.BENALIA Mokhtar	Professeur	Président
Dr. Boudaoud Asma	MCA	Examinatrice
Dr. AD Chifaa	MCA	Rapportrice
Dr.TOUNSI Aissa	MCB	Co-rapporteur
Pr. Djedid Mebrouk	Professeur	Invité

Année Universitaire :2022-2023

Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père

Hajj El Din

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; ma mère

fatma

que j'adore.

A mes frères : mostafa ,ibrahime et khalil

Et à mes sœurs : chorouk, Imane et wiame

A mon mari, mon soutien et ma force :

Othmane

A ma deuxième famille : la famille tourch

A mon très cher binôme : Abderrahmane

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnées durant mon chemin d'études supérieures

À tous les étudiants de la promotion 2022/2023.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ...

Cherifa

Dédicaces

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père

Laroussi.

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; ma mère **Meriem** que j'adore.*

À mes frères : Hamza, Bachir, Youcef et yazid.

Et à mes sœurs : Anfel, et Maroua.

À mon très cher binôme : Cherifa

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnées durant mon chemin d'études supérieures, mes

aimables amies : Khaled et Mohamed,

Et, Riad, Djamel, Youcef, Hamdi, Ameer Djerab, ilyes Bakhou , Othmane,

Karim , Abdelaadime et La raa baas ...

À tous les étudiants de la promotion 2022/2023.

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ...

Abderramane

Remerciements

*Ce mémoire est le résultat de recherche effectuée au Laboratoire de recherche **Génie des Procédés** et au laboratoire du département de **Génie des Procédés** à l'université de Amar Téliidji - Laghouat.*

*Avant tout nous remercions « **ALLAH** » le tout puissant, de nous avoir ouvert les portes du savoir et qui sans lui ce travail ne serait jamais réalisé.*

*En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude envers **Madame Dr. AD Chifaa** en qualité d'encadreur et **Monsieur TOUNSI Aissa** en qualité de co-rapporteur, D'avoir fortement enrichi notre formation grâce à leurs conseils, **disponibilité** et encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire. Leurs suggestions et commentaires nous ont été extrêmement précieux,*

*Nous remercions également l'ensemble des membres du jury : **Monsieur Pr. BENALIA Mokhtar** en qualité de président et **Mlle Dr. BOUDAOU D Asma** comme examinateurs, pour avoir accepté d'examiner ce **modeste** travail.*

*Nous remercions **monsieur Pr. DJEDID Mebrouk**, le chef de département de **Génie des procédés**, pour son effort*

Plusieurs personnes ont participé à ce thème de recherche et méritent d'être remerciés :

*Nous présentons nos immenses respects et gratitude à **Mr : SAIDAAT Aboubaker**, professeur au niveau de département de Science de la Matière de l'Université de Laghouat.*

*Merci à tous les ingénieurs et les techniciens de **Laboratoire de Génie des Procédés** de l'Université de Laghouat*

*Merci à tous les enseignants et enseignantes de département de **Génie des procédés** que nous avons côtoyé chaque jour durant nos années d'études.*

Enfin un grand merci à tous mes collègues et à toutes les personnes qui partagent notre vie et qui ont contribué grandement à l'accomplissement de ce travail dans de parfaites conditions.

Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	9
Chapitre I : Généralités sur l'adsorption et les eaux colorées	12
I.1 Les eaux usées	13
I.1.1 Sources	13
I.1.2 Types des pollutions	14
I.1.3 Traitement des eaux	14
I.2 Les colorants	15
I.2.1 Sources	16
I.2.2 Composition chimique des colorants	16
I.2.3 L'impact sur l'environnement	16
I.2.4 L'impact sur la santé	16
I.3 Adsorption	16
I.3.1 Type d'adsorption	17
I.3.2 Paramètres influençant l'adsorption	17
Référence bibliographique	20
Chapitre II : Matériels et méthodes	22
II.1 Appareillage et réactifs	23
II.1.1 Réactifs chimiques utilisés	24
II.2 Le bleu de Méthylén	24
II.2.1 Définition et propriété de BM	24
II.2.2 Préparation de solution mère du BM(1000ppm)	26
II.3 Tige de palmier	26
II.3.1 Présentation du biomatériau étudié	26
II.3.2 Préparation des tiges de palmiers	26
II.3.3 Traitement des tiges de palmiers	26
II.4 Dosage du bleu de crésyl brillant par spectroscopie UV-Visible	27
II.5 Essais d'adsorption	28
II.5.1 Influence de la masse d'adsorbant	28
II.5.2 Influence du pH	28
II.5.3 Influence du temps de contact	28
II.5.4 Influence de la température	29
Référence bibliographique	29

Chapitre III : Résultats et discussion	30
III.1 Résultats des essais d'adsorption de BM :	31
III.1.1 Effet de la masse d'adsorbant :	31
III.1.2 Effet du pH de solution	32
III.1.3 Effet du temps de contact et de la concentration initiale	33
III.1.4 Effet de la température	33
III.2 Etude cinétique	34
III.2.1 Modèle cinétique du pseudo-premier ordre	34
III.2.2 Modèle cinétique du pseudo-second ordre	35
III.3 Etude isothermique	37
III.3.1 Isotherme de Freundlich	37
III.3.2 Isotherme de Langmuir	38
III.4 Etude comparative	40
Référence bibliographique	42
Conclusion Générale	43
Annexes	Error! Bookmark not defined.

Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
BM	Blue de méthylène
TP	Tige de palmier
C ₀	La concentration initiale
g	gramme
Ppm	Partie par million
L	Litre
M	Molarité
Mg	Milligramme
Min	Minute
R ²	Les coefficients de corrélation
t	Temps
T	Température
Rpm	Rotation par minute
UV	Ultra Viole
λ_{\max}	Longueur d'onde maximale
K	Kelven
KJ	Kilo Joule

Liste des figures

Figure	Désignation	Page
Figure (I-01)	Classes des isothermes d'après Gilles et al	19
Figure (III-01)	Influence de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption du BM.	31
Figure (III-02)	Influence du pH de la solution sur l'adsorption du BM	32
Figure (III-03)	Effet du temps de contact et la concentration initiale sur l'adsorption du BM.	33
Figure (III-04)	Influence de la température dans la solution de l'adsorption du BM.	34
Figure (III-05)	Cinétique d'adsorption de M à différentes concentrations initiales (à l'aide d'un modèle de pseudo- premier ordre) à 293 K.	36
Figure (III-06)	Cinétique d'adsorption de BM à différentes concentrations initiales (à l'aide d'un modèle de pseudo- second ordre) à 293 K.	36
Figure (III-07)	Linéarisation d'isotherme d'adsorption de BM selon le Modèle de Freundlich à 323 K.	39
Figure (III-08)	Linéarisation d'isotherme d'adsorption de BM selon le Modèle de Langmuir à 323 K.	39

Liste des tableaux

Tableau	Désignation	Page
Tableau II.1:	Caractéristiques des réactifs utilisés.	24
Tableau II.2.2	Propriétés physique et chimique du le BM.	25
Tableau (III-01)	Paramètres cinétiques d'adsorption de BM à 293 K	37
Tableau (III-02)	Les constantes de différentes isothermes d'adsorption de BM à 323 K	40
Tableau (III-03)	Etude comparative de l'adsorption de BM sur différents adsorbants	40

Introduction générale

L'eau joue un rôle très important dans le développement économique et social. De plus, elle est un élément classé comme étant une source de vie. Ainsi, sa gestion de manière durable est devenue aujourd'hui indispensable. La qualité de l'eau est par ailleurs affectée par des applications industrielles, agricoles et domestiques qui ont une immense influence sur la détérioration de cette ressource. En effet, des substances d'origine chimique n'ont cessées d'être émises dans l'environnement et peuvent devenir une menace pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques et pour la santé humaine.

La pollution est une modification défavorable dans les caractéristiques, peut causer des perturbations dans l'écosystème. Les micropolluants présents dans l'eau comprennent une multitude de composés minéraux et organiques dont les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations (de l'ordre généralement du microgramme par litre). La contamination des eaux de surface est due essentiellement à des rejets directs (égouts non raccordés à un système d'épuration, au ruissellement de l'eau sur des surfaces contaminées ou encore à l'érosion de particules de sol.

Les milieux pollués à savoir l'eau, l'air et le sol, ce sont des supports qui véhiculent, transmettent la propagation des polluants de toutes les catégories confondues, générés par l'exploitation minière, l'agriculture intensive avec l'utilisation des pesticides, des insecticides et des fertilisants, les moyens de transport par les rejets des carburants imbrulés, les huiles usagées non captées et recyclées et les eaux altérées non traitées.

La dépollution est l'élimination des pollutions des différents compartiments (air, eau, sol), dans le but de rétablir une qualité sanitaire et écologique compatible avec une réutilisation des lieux et des compartiments pollués ou bien avec une restauration des écosystèmes.

Devant cette situation catastrophique, l'être humain a repris conscience du danger qui le guette et qui menace son existence et pour y remédier, il a promulgué un arsenal juridique pour assurer une meilleure protection de l'environnement entre autres, la redevance d'une taxe pour les activités polluantes d'une part et d'autre part l'élimination de cette pollution faisant recours aux différents traitements chimiques, physiques et biologiques.

Pour éliminer la coloration il y a plusieurs méthodes et procédés à savoir les procédés d'oxydation classique utilisant soit l'hypochlorite de sodium ou l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène. Les procédés d'oxydation avancée (POA) tels que les procédés d'oxydation

Introduction générale

avancée chimique (réaction de Fenton), les procédés d'oxydation avancée électrochimique et les procédés d'oxydation avancée photochimique. Procédés physicochimiques tel que la coagulation-précipitation, les techniques membranaires, l'échange d'ions et l'adsorption.

Dans cette étude, on a choisi l'emploi de la technique d'adsorption pour éliminer la coloration du bleu de méthylène dans l'eau. Durant les dernières décennies beaucoup de recherches ont porté sur la technique de séparation par adsorption. Ce procédé a déjà montré son potentiel dans le traitement de polluants inorganiques (métaux lourds) et substances organiques toxiques. Ce procédé ne nécessite pas beaucoup d'énergie comparée aux procédés électrochimiques, l'oxydation avancée par plasma, électro-photon, photocatalyse, etc. Ces derniers peuvent entraîner la formation de radicaux libres et même d'intermédiaires plus toxiques que le composé initial.

Dans ce cadre s'inscrit la dépollution de l'eau par adsorption et qui constitue le thème de ce mémoire de fin d'études.

L'introduction retrace brièvement la signification de l'environnement, les origines de la pollution et les procédés de traitement de la contamination.

Le premier chapitre présente un aperçu théorique sur les colorants et l'adsorption.

Le deuxième chapitre regroupe tous les éléments de la partie expérimentale à savoir la préparation de l'adsorbant utilisé lors de ce mémoire.

Le troisième chapitre illustre les résultats sous forme de tableaux et figures suivi d'une discussion.

En fin, une conclusion générale regroupe les principaux résultats de ce travail ainsi les perspectives pour une meilleure prise en charge des problèmes de contamination.

Chapitre I :
Généralités sur
l'adsorption et les
eaux colorées

I.1 Les eaux usées

Selon REJSEK (2002) [1], les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés, c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).[2]

I.1.1 Sources

On peut classer les eaux usées selon leurs utilisations, et on distingue trois familles principales pour la source des eaux usées sont ;

➤ Source industrielle ;

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. [3]

➤ Source domestique ;

Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement par des eaux de vanne d'évacuation de toilette. Et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains.

Elles proviennent essentiellement :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (w.c), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme. [4]

➤ Source agricole

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Donc ces eaux sont l'issues ;

- Des apports directs dus aux traitements des milieux aquatiques et semi-aquatiques tels que le désherbage des plans d'eau, des zones inondables (faucardage chimique) et des fossés, ainsi que la démolition des plans d'eau et des zones inondables (étangs et marais).
- Des apports indirects dus en particulier à l'entraînement par ruissellement, aux eaux de rinçage des appareils de traitement, aux résidus présents dans des emballages non correctement rincés ou détruits, aux eaux résiduaires des usines de fabrication et de conditionnement. [5]

I.1.2 Types des pollutions

Il y a différents types de la pollution de l'eau et on peut classer ces pollutions selon des caractéristiques et ces types sont ;

Physique : pollution thermique pollution radioactive

Chimique : Fertilisants, métaux et métalloïdes, pesticides, organochlorés, composés organiques, de synthèse, détergents, hydrocarbures

Microbiologiques : bactéries, virus, champignons. [6]

I.1.3 Traitement des eaux

Afin de réduire les risques de contamination et de perturbation des écosystèmes aquatiques, on doit traiter les eaux usées et les rendre propres avant de les retourner dans l'environnement. Le traitement des eaux usées comprend une suite d'opérations impliquant à la fois des procédés physiques, chimiques et biologiques.

Prétraitement (physique)

Le prétraitement physique permet d'éliminer les plus gros déchets solides et les matières insolubles. D'abord, lors du dégrillage, les eaux usées passent à travers une grille qui retient les gros déchets flottants. Ensuite, le dessablage permet de retirer le sable et le gravier de l'eau par sédimentation dans

un bassin. Finalement, les huiles et les graisses produisent une mousse en surface de l'eau qui sera enlevée à l'aide d'un racloir lors de l'étape du déshuilage. [7]

✚ Traitement primaire (physico-chimique)

Les eaux subissent ensuite un traitement physico-chimique, aussi nommé traitement primaire. Il consiste en une décantation qui permet d'éliminer une partie des matières en suspension dans l'eau. L'ajout de certaines substances chimiques facilite la décantation en formant des petits flocons de matière. Ceux-ci se retrouvent alors au fond du bassin où ils forment un lit de boues primaires. On peut alors les retirer de l'eau et les recycler. [7]

✚ Traitement secondaire (biologique)

La matière organique dissoute restante subira un traitement biologique, aussi appelé traitement secondaire. On injecte d'abord de l'air dans des bassins d'aération afin que le dioxygène favorise la croissance des micro-organismes. Ceux-ci décomposent alors une partie de la matière organique en dioxyde de carbone et en eau. Ensuite, des bactéries décomposent l'excédent de matière organique lors de la filtration biologique. Par décantation, les matières solides se déposent au fond du bassin et forment des boues secondaires qui seront aussi traitées comme l'étaient les boues primaires. Au cours de cette étape du traitement des eaux usées, 75% à 95% de la matière organique est éliminé. À la suite de cette étape, les eaux sont assez propres pour être retournées dans les cours d'eau, mais elles peuvent aussi subir des traitements complémentaires. [7]

✚ Traitements complémentaires (ou tertiaires)

On ajoute des traitements complémentaires aux traitements de base lorsque les eaux usées doivent être rejetées dans des écosystèmes fragiles. Parmi ces traitements supplémentaires, la désinfection permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes par l'ajout de chlore ou d'ozone ou par l'action de rayons ultraviolets. La déphosphatation, quant à elle, permet de précipiter les phosphates en excès dans l'eau en y ajoutant de la chaux ou du chlorure de fer. Finalement, une filtration sur un lit de sable et de charbon de bois activé permet d'éliminer divers contaminants chimiques. [7]

I.2 Les colorants

Un colorant est une espèce chimique solide ou liquide qui se dissout dans le milieu où elle est introduite (forme un mélange homogène) et modifie sa couleur.[8]

I.2.1 Sources

Les colorants sont présents chez différentes espèces végétales et animales, il est donc possible de les isoler en employant les méthodes d'extraction usuelles (en particulier l'extraction par solvant). La plupart des colorants organiques étant naturels on peut aussi les obtenir par synthèse chimique et cette dernière méthode permet aussi de produire des colorants artificiel (inexistant dans la nature). [8]

I.2.2 Composition chimique des colorants

L'ensemble des chromophores ont en commun la présence au sein de l'édifice moléculaire d'une suite de doubles liaisons conjuguées, parmi lesquelles figurent le plus souvent des noyaux aromatiques ou pseudo-aromatiques. Les auxochromes, quant à eux, sont des groupements ionisables de types NH_2 , OH , COOH , SO_3H . [9]

I.2.3 L'impact sur l'environnement

Beaucoup de colorants sont visibles dans l'eau même à de très faibles concentrations ($< 1\text{mg.L}^{-1}$). Ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable d'eau usée contenant des colorants résiduels. Le rejet de ces eaux résiduaires dans l'écosystème est une source dramatique de pollution, d'eutrophisation et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique. [10&11]

I.2.4 L'impact sur la santé

- Le contact avec la peau peut causer une irritation et tache la peau exposée et un contact prolongé peut causer une dermatite.
- Contact avec les yeux peut causer une irritation et cause des taches. [12]
- Peu toxique par inhalation et par la voie cutanée.
- Faiblement toxique par la voie orale.
- Humeur hépatique à long terme.

I.3 Adsorption

L'adsorption est le phénomène qui consiste en l'accumulation d'une substance à l'interface entre deux phases (gaz-solide, gaz-liquide, liquide-solide, liquide-liquide, solide-solide). Il a son origine dans les forces d'attraction intermoléculaires, de nature et d'intensité variées, qui sont responsables de la cohésion des phases condensées, liquides ou solides. Une molécule attirée inégalement par les autres molécules de deux phases trouvera une position énergétiquement favorable à la surface de la phase qui l'attire le plus ; celle-ci sera appelée l'adsorbant, les molécules ainsi adsorbées constituant

l'adsorbat. Si les conditions énergétiques ou cinétiques permettent à la molécule de pénétrer au sein de la phase adsorbant, il y a absorption.

I.3.1 Type d'adsorption

Il existe deux types de processus d'adsorption : l'adsorption physique ou physisorption et l'adsorption chimique ou chimisorption ;

Dans le cas de l'adsorption physique, la fixation des molécules d'adsorbat sur la surface d'adsorbant se fait essentiellement grâce aux forces de Van der Waals et aux forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation, dipôle et quadrupole pour les adsorbants ayant une structure ionique. L'adsorption physique se produit sans modification de la structure moléculaire et est parfaitement réversible (c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement désorbées en diminuant la pression ou en augmentant la température).

Dans le cas de l'adsorption chimique, le processus résulte d'une réaction chimique avec formation de liaisons chimiques entre les molécules d'adsorbat et la surface d'adsorbant. L'énergie de liaison est beaucoup plus forte que dans le cas de l'adsorption physique et le processus est beaucoup moins réversible et même parfois irréversible.

I.3.2 Paramètres influençant l'adsorption

Les paramètres qui affectent l'adsorption sont [13] :

1. La concentration initiale de l'adsorbat
2. La quantité d'adsorbant,
3. La concentration de l'adsorbant
4. La granulométrie de l'adsorbant
5. Le PH
6. La force ionique
7. La température.

I-3-3 Isothermes d'adsorption

Le phénomène d'adsorption est généralement représenté par les isothermes d'équilibre sous forme graphique. Il rend compte de la relation entre la concentration en soluté absorbé et la concentration en soluté dans la phase fluide.

L'allure de la courbe isotherme varie selon le couple adsorbat –adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption de soluté à solubilité limitées ont été classées par Giles et al. (Giles H., D. Smith et al. (1974)) en quatre principales classes (**figure I.1**)[14, 15] qui sont :

S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (Paration Constante) [16]. Ces isothermes ont été reliées assez précisément à divers modes de fixation [14].

Cette classification tient compte entre autres d'un certain nombre d'hypothèses :

- Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté ;
- Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente;
- L'orientation des molécules à la surface est prise en considération, le cas, par exemple, où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface;
- Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption [14].

I-3-4 Classification d'adsorption

Les isothermes de type C :

L'allure des courbes sont sous formes des droites qui passe par l'ordonné à l' origine qui est le zéro, la signification de cette courbe est que le rapport entre la concentration dans la solution aqueuse et la quantité adsorbée est le même à n'importe quelle concentration. Elles concernent les molécules flexibles pouvant pénétrer loin dans les pores.

Les isothermes de type L :

Le rapport entre la concentration dans la solution aqueuse et la quantité adsorbée diminue lorsque la concentration du soluté augmente, l'allure de la courbe est concave, une saturation progressive de l'adsorbant.

Les isothermes de type H :

C'est un cas particulier de l'isotherme de type L. Le soluté indique par fois une affinité si élevée pour le solide.

Les isothermes de type S :

A travers la courbe, le point d'inflexion montre que ce type d'adsorption résulte d'au moins deux mécanismes opposés, ce phénomène est appelé l'adsorption coopérative.

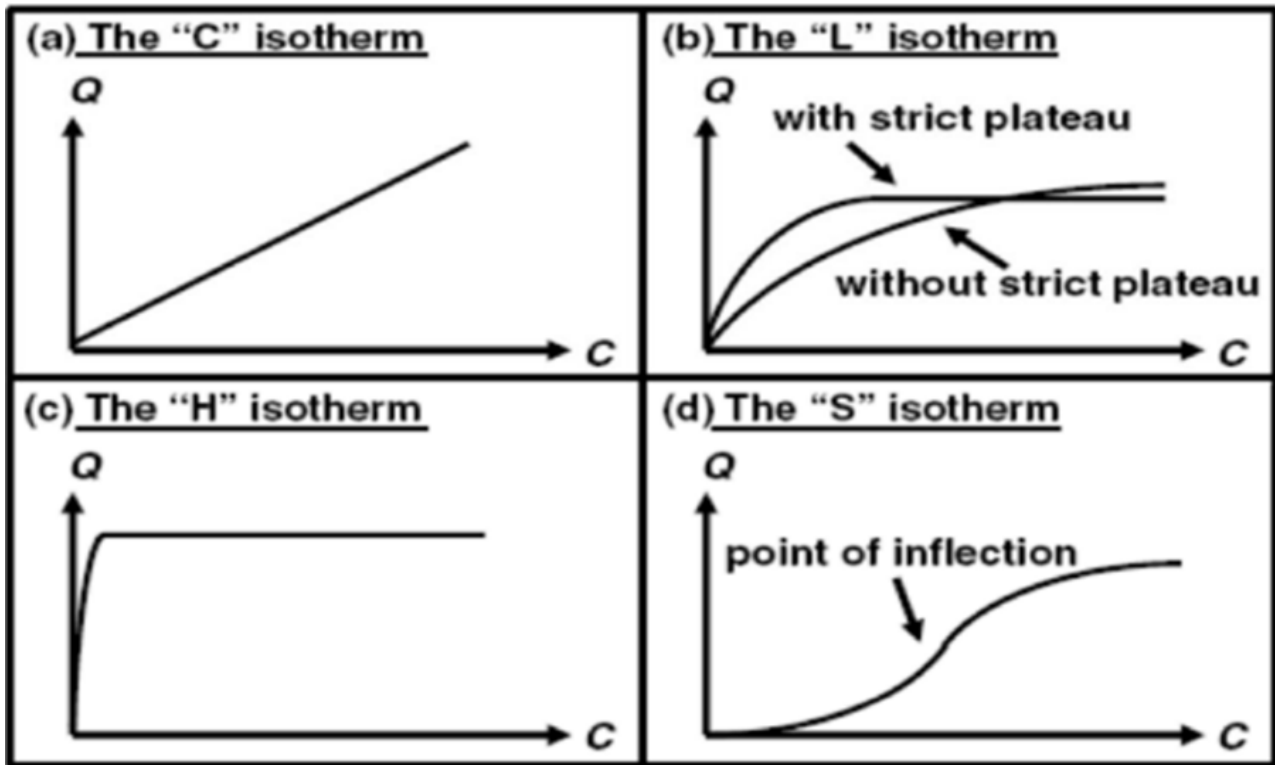


Figure I 1 : Classes des isothermes d'après Gilles et al. [17].

Référence bibliographique

- [1] **Rejsek, F.** (2002) Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques.
- [2] **Grosclaude, Gérard, dir.** (1999) L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique (Coll. « Un point sur ... »), 204 p. et 210 p.
- [3] **Jean Rodier**, 2005 L'Analyse de l'eau - Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer
- [4] **Rejsek, F.** (2002) Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Scéren (CRDP AQUITAINE). Coll. Biologie technique. Sciences et techniques de l'environnement.
- [5] **SAADI MOHAMED LAHMAR FARES ALAA EDDINE** 2018 Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de GUELMA (N-EST ALGERIE) MEMOIRE DE MASTER
- [6] **Régis Moilleron** 2017 POLLUTIONS HYDRIQUES
- [7] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/le-traitement-des-eaux-usees-s1467>. 2021
- [8] <http://webphysique.fr/> 2017
- [9] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/colorants/5-classification-des-colorants/>
- [10] **Pagga Brown**, (2004), «Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par le procédé électrochimique d'oxydation avancée électro-fenton, application à la minéralisation des colorants», thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, France.
- [11] **Aksu Z.** (2005), «Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review», Process Biochem., 40, 997–1026.
- [12] **Bliefert C., Perraud R.**, (2004), «Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets», Editions de Boeck, Bruxelles, Belgique.
- [13] **Stoekli H.F., Currit L., Laederach A. and Centeno.**, (1994), «Water Adsorption in Carbons described by the Dubinin-Astakhov and Dubinin-Serpinsk Equations», J. Chem. Soc. Faraday Trans., 90, 3689- 3691.
- [14] **S. Bouacherine**, 2013, «Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée », Mémoire Magister en Chim. Phys. Anal. Option Trait. des eaux Environnement, Univ. de Souk-Ahras.
- [15] **B. Mahjoub, M. C. Ncibi, and M. Seffen**, 2008, « Adsorption d'un colorant textile réactif sur un biosorbant non-conventionnel : les fibres de Posidonia oceanica (L.) Delile », Can. J. Chem. Eng., vol. 86, 23–29,.
- [16] **M. El Haddad, A. Regti, R. Slimani, and S. Lazar**, 2014, « Assessment of the biosorption kinetic and thermodynamic for the removal of safranin dye from aqueous solutions using calcined mussel shells », J. Ind. Eng. Chem., vol. 20, no. 2, 717–724.

[17] **A. Benarima and M.R. Kouadri, 2017**, « Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de coquilles d'oeufs », Mémoire Master en Génie des Procédés, Spécialité Génie Chimique, Univ. de Ouargla.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les techniques d'analyse ainsi que les différents protocoles expérimentaux, les expériences d'adsorption qui consistent à étudier les paramètres qui influent sur le phénomène d'adsorption de BCB par les tiges de palmiers tels que le temps, la masse, le pH et la température, suivie d'une étude isothermique d'adsorption.

Toutes ces expériences ont été fait au niveau des laboratoires de recherche Génie des Procédés et du département de Génie des procédés de l'université de Laghouat.

II.1 Appareillage et réactifs

Appareillage :

- ❖ Agitateur magnétique (SCIOLOGEX) ;
- ❖ Bain Marie à agitation du type Nuvest 30 ;
- ❖ Un pH-mètre ;
- ❖ Balance analytique ;
- ❖ Spectrophotomètre UV-Visible (UVILINE 9400).





Accessoires :

- ❖ Barreau magnétique ;
- ❖ Bécher de capacité : 100, 250 et 500 ml ;
- ❖ Fiole jaugée de capacité : 100, 250 et 500 ml ;
- ❖ Eprouvettes graduée de capacité : 50 et 100 ml ;
- ❖ Pissette, spatule, pipette 2,5 ml, propipette ; Erlenmeyer, entonnoir,
- ❖ Des embouts bleu, tube à essai 5 ml, support des tube, flacon ;
- ❖ Micropipette, papier filtre.

II.1.1 Réactifs chimiques utilisés

Les produits chimiques utilisés dans cette étude sont reportés dans le **tableau II.1**.

Tableau II.1 : Caractéristiques des réactifs utilisés

Produits	Pureté	Etat physique
NaOH	98 %	Solide 
H ₂ SO ₄	95-97 %	Liquide 
BM	-	Poudre 
NaCl	99.9 %	Poudre 

- ❖ On choisit le colorant bleu de méthylène noté BM, comme un polluant et qui joue le rôle d'adsorbat dans notre étude.

II.2 Le bleu de méthylène

II.2.1 Définition et propriété de BM

II.2.1.1 Définition

Colorant cationique, est une molécule organique appartenant à la famille des Xanthines. Elle est choisie comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne. L'adsorption du bleu de méthylène est utilisée depuis longtemps en vue d'évaluer les performances du charbon actif avant son emploi dans une installation d'épuration des eaux.

C'est une molécule qui est utilisée aussi pour tester les pouvoir adsorbants des solides, et pour déterminer leur surface spécifique [1].

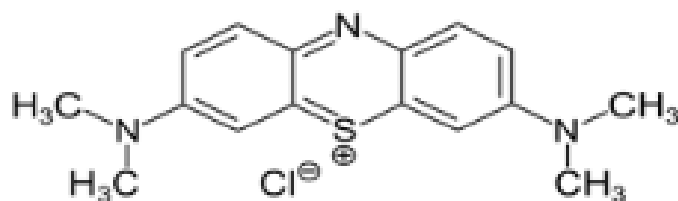


Figure (II.5): Structure moléculaire de bleu de méthylène

Le choix étudié répond aux critères suivants :

- Solubilité élevée dans l'eau ;
- Tension de vapeur faible ;
- Analyse par spectrophotomètre UV/visible ;
- Modèle de structure cationique pour le bleu de méthylène.

II.2.1.2 Propriétés physique et chimique du le BM

Tableau II.2.2 Propriétés physique et chimique du le BM

Nom	Bleu de méthylène (BM)
Famille	Colorants Basiques
Formule brute	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ SCl
Appellation chimique	3,7-Bis(Dimethylamino)-Phenazathionium Chloride
Masse molaire	320 g mol ⁻¹
λ_{Max}	664 nm
Etat physique	Solide
Hydro solubilité	Soluble (à 20°C)
Point de fusion °C	180
pH	5,9
Formule et structure chimique	<p>The image shows the chemical structure of Methylene Blue (BM) in its cationic form. It features a phenazathionium core with a positively charged sulfur atom bonded to a chloride ion (Cl⁻). The two benzene rings are substituted at the 3 and 7 positions with dimethylamino groups (-N(CH₃)₂).</p>

II.2.2 Préparation de solution mère du BM(1000ppm)

- ❖ On pèse 0.5 g de BM avec une balance électrique;
- ❖ On met cette quantité dans une fiole jaugée de 500 ml (en verre), puis on ajoute l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

II.3 Tige de palmier

II.3.1 Présentation du biomatériau étudié

Dans cette étude, on a choisi les tiges de dattier qui sont des déchets d'origine agricole sous forme solide comme adsorbant. Les tiges de dattier ont été collectées de la région de Laghouat.

II.3.2 Préparation des tiges de palmiers

Avant d'utiliser le biosorbant plusieurs étapes ont été suivies ;

➤ **Lavage :**

Les tiges de palmier sont lavées plusieurs fois à l'eau de robinet pour éliminer toutes sortes de poussières ou d'impuretés collantes jusqu'à obtenir une eau de lavage claire, puis nous les avons plusieurs fois avec de l'eau distillée.

➤ **Séchage :**

Après lavage des échantillons, un séchage a été effectué à l'air libre pendant plusieurs jours afin d'éliminer toute trace d'humidité.

➤ **Broyage :**

Le broyage a été réalisé à l'aide d'un broyeur électrique afin d'obtenir des matériaux homogènes pour le besoin des études de laboratoire, donnant des grains de petite taille, généralement inférieure à 1mm.

II.3.3 Traitement des tiges de palmiers

Le traitement de la tige de palmier est nécessaire pour voir une élimination des micropolluants efficace, alors les étapes de traitement sont comme ça :

- Ajouter 4 g de NaHCO_3 dans une fiole de 500 ml

- Remplir la fiole par l'eau distillée jusqu'à 500 ml
- Après agiter la solution avec un agitateur
- Ajouter tige de Palmier (TP) 30 g dans la fiole
- Agiter la solution pendant 30 minutes
- Ajouter dans la solution 10 ml de HCl concentré
- Agiter la solution pour 4 heures
- Après lavage et filtration la TP avec eau distillée pour régler le pH>6
- Sécher la plante dans four (60°C) pendant 24 heures

II.4 Dosage du bleu de méthylène par spectroscopie UV-Visible

Le dosage de BM est réalisé par spectrophotométrie UV-Visible.

Le principe d'analyse par spectrophotométrie UV-visible est basé sur la loi de Beer Lambert :

$$A = \epsilon \times l \times c \dots \dots \dots (01)$$

Avec :

A :	Absorbance (sans unité)
ϵ :	Coefficient d'absorption moléculaire ou coefficient d'extinction molaire ($l \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ou $\text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$)
l :	Trajet optique (cm)
C :	Concentration de la substance dans la solution (mol/l)

En d'autres termes, on mesure la capacité de cette substance à absorber la lumière qui la traverse.

Cette analyse est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible permettant de déterminer la teneur du BM passant par le tracé de la courbe d'étalonnage à partir d'une série d'étalons préparés.

Les analyses de notre étude sont effectuées sur un spectrophotomètre piloté par ordinateur, à une longueur d'onde ($\lambda = 627 \text{ nm}$).

II.5 Essais d'adsorption

Les expériences d'adsorption ont été effectuées en système batch dans des béchers de 100 ml. Dans chaque bécher une masse optimisée d'adsorbant a été soigneusement mélangée avec 100 mL de la solution de BM. Les échantillons sont filtrés pour mesurer enfin la concentration résiduelle du BM.

II.5.1 Influence de la masse d'adsorbant

On a mis en contact 25 ml de solution de BM à une concentration de 30 ppm avec différentes quantités de l'adsorbant allant de 0.025,0.05,0.1,0.15,0.20,0.25, jusqu'à 0.5g, la pesée est faite à l'aide d'une balance électronique de précision. L'agitation est assurée pendant une heure et demi dans un Bain marie à agitation à une vitesse de 100 tr/min à une température de 25°C. Les différents échantillons ont été recueilles et filtrés puis dosé par spectrophotométrie UV-Visible.

II.5.2 Influence du pH

Dans cet essai, on doit répartir dans 7 flacons le volume de 50 ml à partir de la solution de BM avec une concentration de 30 ppm ensuite en ajoutant quelques gouttes soit de solution H₂SO₄ (0.1N) ou NaOH (0.1N) pour avoir des solutions des valeurs de pH souhaitées de 2,3, 4, 5, 6, 7 et 8. La lecture du pH est effectuée à l'aide d'un pH-mètre.

Après avoir fixé le pH de chaque flacon, on ajoute 0,05 g de l'adsorbant local puis on les fait subir une agitation dans un bain à agitation d'une vitesse de 100 tr/min pendant une heure à une T= 25 °C.

II.5.3 Influence du temps de contact

Pour le but d'étudier l'influence de temps de contact et de la concentration initiale:

- ❖ On prépare 4 flacons de différentes concentrations (15, 30,60 et 100 ppm), puis les mélangeons avec 0,1 g de l'adsorbant puis on expose ce mélange à une agitation pendant 3 heures.
- ❖ Pendant la durée d'agitation continue de ce mélange, on prélève chaque fois une quantité à des intervalles de temps différents (0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 120, 150,180 minutes).
- ❖ Ces quantités prélevées sont filtrées, diluées pour dosées par la technique UV-Visible.

II.5.4 Influence de la température

Pour l'étude de l'influence de ce paramètre, on mélange une masse optimale de 0,025 g d'adsorbant avec un volume de 25 ml BM dont les concentrations initiales (15, 30,60 et 100ppm). L'essai d'adsorption a été effectué par une série d'expériences à différentes températures de, 30 °C, 40 °C et 50 °C, sous une vitesse d'agitation de 100 tr/min pendant une heure.

Référence bibliographique

[1] NAIT M. **Application des tiges de dattes dans l'adsorption des polluants organiques.** Mémoire magister, Université de Souk Ahras, 2014.

Chapitre III :

Résultats et

discussion

Introduction :

Dans ce chapitre, on expose les résultats des différents travaux effectués de cette étude, nous avons collectés tous les résultats obtenus à partir des essais mentionnés dans le chapitre précédent portant sur l'influence de quelques paramètres physico-chimiques sur la capacité d'adsorption afin de les discuter.

Ensuite les résultats d'optimisation des différentes paramètres qui influent sur l'adsorption du polluant qui a été étudié tels que : la masse d'adsorbant, le temps de contact, la température, le pH de solution. Nous avons vérifié aussi les modèles d'adsorption cinétique et isothermique comme le modèle pseudo-premier ordre, le modèle pseudo-second ordre et les modèles de Freundlich et de Langmuir afin de déterminer la nature de cette adsorption suivie d'une étude comparative.

III.1 Résultats des essais d'adsorption de BM:

III.1.1 Effet de la masse d'adsorbant :

L'effet de la variation de la masse sur l'adsorption de BM a été étudié avec le changement de quantité de plante de 0.025 g à 0.5 g dans 50 ml de solution de BM. Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe de la figure (III-01) qui présente l'influence de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption de BM.

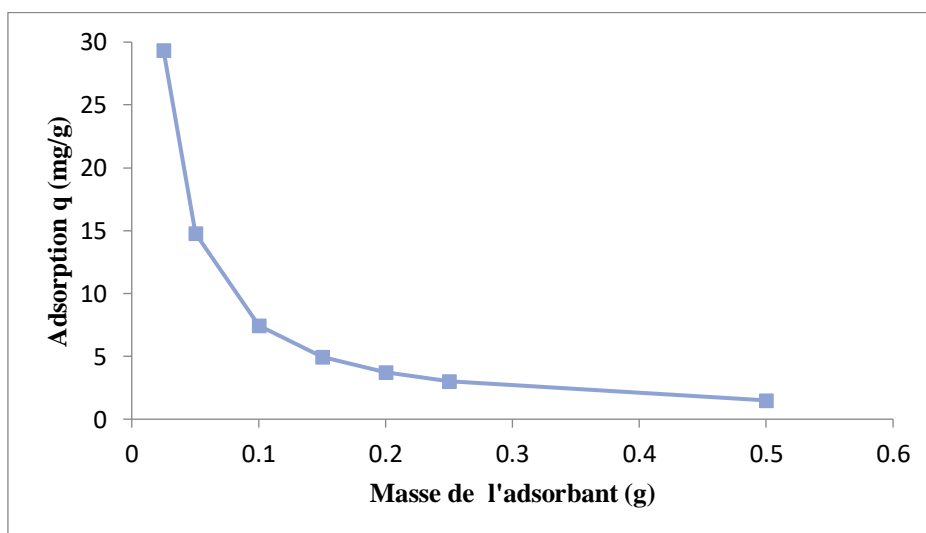


Figure (III-01) : Influence de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption du BM dans les conditions opératoires : $T = 25\text{ °C}$, $t = 90\text{ min}$, $[BM] = 30\text{ ppm}$, la vitesse 100 rpm.

A partir de la (**figure III-01**), on peut observer que la quantité de l'adsorption diminue proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de la masse de TP à partir d'une valeur maximale de 29 mg/g. La quantité adsorbée totale continue de décroître inversement avec l'augmentation de la masse de TP ce qui est bien illustré et donc on peut déduire que la masse optimale est 0.025 g.

III.1.2 Effet du pH de solution

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption [1]. Les résultats de cet essai ont abouti à la figure (**III-02**).

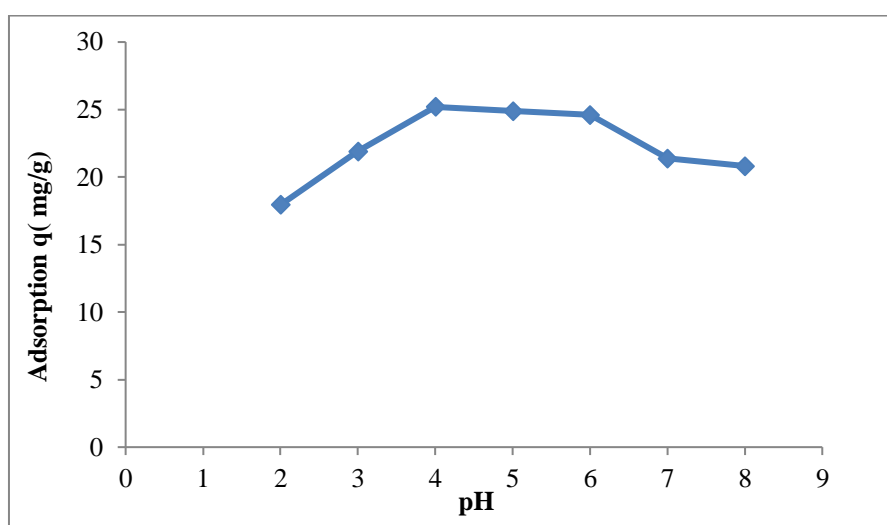


Figure (III-02) : Influence du pH de la solution sur l'adsorption du BM dans les conditions :
[BM] = 30 ppm, temps de contact = 60 min, m = 0.05 g et T=25 °C.

A partir de la figure (**III-02**) on observe que le pH augmente de 2 à 4 avec la quantité adsorbée est 17 mg/g à 25 mg/g, après pH 4, la capacité de rétention diminue graduellement dans la gamme 4 à 8 pour des valeurs élevées du pH. Ceci est relatif à la charge de la surface qui est très dépendante du pH de la solution. Alors le pH optimal est pH =4.

III.1.3 Effet du temps de contact et de la concentration initiale

Il est connu que la concentration du polluant est un paramètre très influant sur l'adsorption, elle peut limiter l'efficacité de décontamination [2]. La figure (III-03) représente l'évolution de la quantité adsorbée en fonction de la concentration initiale et du temps de contact.

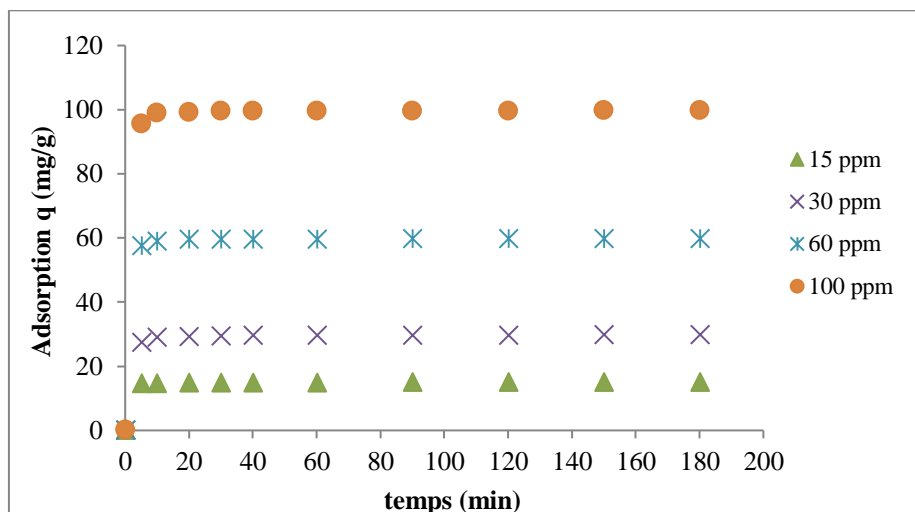


Figure (III-03) : Effet du temps de contact et la concentration initiale sur l'adsorption du BM dans les conditions : $m = 0.1$ g et $T = 25$ °C, $t = 180$ min.

Les figures représentent le rendement d'adsorption de BM en fonction du temps de contact, Le rendement d'élimination de colorant sur l'adsorbant augmente avec le temps de contact, il constitue une monophasé très rapide au bout de 20 min. Ce phénomène peut s'expliquer par l'existence d'une première étape d'adsorption des molécules du colorant sur des sites actifs disponibles à la surface de l'absorbant qui sont bien supérieures aux sites restants après un certain temps de contact, le temps d'équilibre est estimé à environ 60 min avec un rendement d'élimination de l'ordre de 99% pour le BM.

III.1.4 Effet de la température

L'étude de l'influence de la température sur l'adsorption du BM sur TP est illustrée par la figure (III-04).

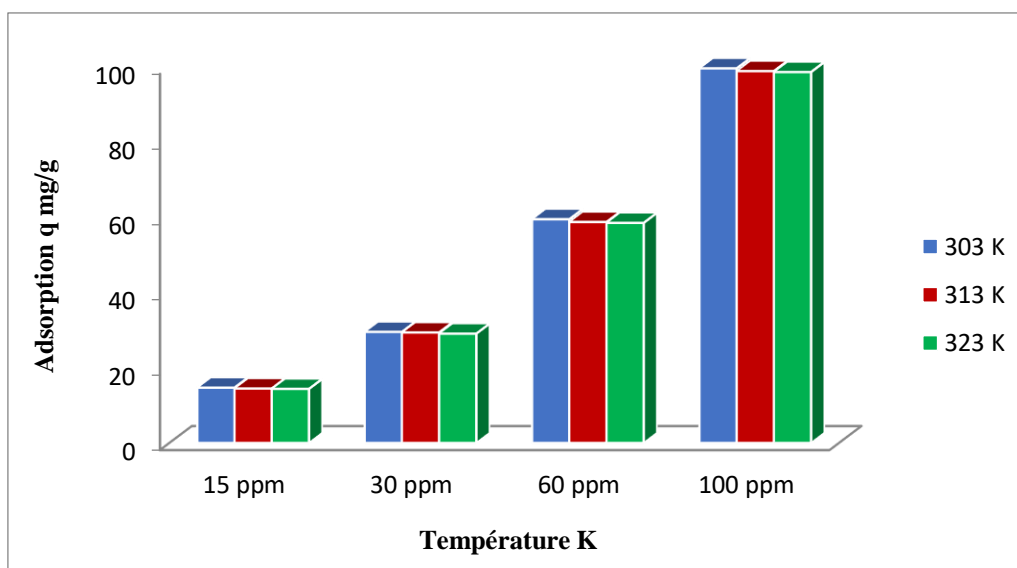


Figure (III-04) : Influence de la température dans la solution de l'adsorption du BM dans les conditions : $m = 0.025$ g, temps de contact = 120 min.

D'après le graphe de la figure (III-04), on peut constater que la quantité adsorbée diminue avec l'augmentation de la température. C'est-à-dire quand la température augmente de 303 K à 323 K, la quantité adsorbée diminue de 99.547 mg/g à 98.580 mg/g (pour 100 ppm). Le résultat obtenu laisse penser que l'adsorption du BM par les TP semble être un phénomène exothermique [3].

Cela est expliqué par la progression de la mobilité des molécules de BM dans la solution qui conduit à une adsorption rapide sur les sites actifs de TP. On obtient que la température optimale soit 303 K.

III.2 Etude cinétique

Cette étude nous a permis de déterminer l'ordre de cinétique, le modèle qui décrit bien cette cinétique d'adsorption de BM par TP, le temps nécessaire pour atteindre l'état d'équilibre et de déterminer les constantes de vitesse d'adsorption du BM.

III.2.1 Modèle cinétique du pseudo-premier ordre

Ce modèle a été proposé par Lagergren et exprimé par la relation suivante [4] :

$$\frac{dq}{dt} = K_1(qe - qt) \dots\dots(01)$$

Avec :

Q_e : Quantité de soluté adsorbée à l'équilibre en (mg/g) ;

q_t : Quantité de soluté adsorbée à l'instant en (mg/g) ;

K₁ : Constante de vitesse de premier ordre en (min⁻¹) ;

Après intégration, l'équation s'écrit :

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \dots \dots \dots \langle 02 \rangle$$

L'application de ce modèle pour un système donné peut être vérifiée en examinant la linéarité de la droite obtenue en portant $\ln (q_e - q_t)$ en fonction de t . L'ordonnée à l'origine et la pente de la droite permettent de calculer q_e et K_1 .

III.2.2 Modèle cinétique du pseudo-second ordre

Le modèle de pseudo-second ordre permet de caractériser la cinétique d'adsorption en prenant compte, à la fois, le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible [5] :

$$\frac{dq}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \dots \dots \dots \langle 03 \rangle$$

Avec :

K₂: Constante de vitesse de second ordre (mg.g⁻¹.min⁻¹).

L'intégration conduit à l'équation suivante :

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots \dots \dots \langle 04 \rangle$$

La quantité adsorbée à l'équilibre **q_e** et **K₂** peuvent être déterminées expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la fonction de **t/q_t = f(t)**.

Les résultats obtenus lors de cette étude, ont permis d'avoir les figures (III-05) et (III-06) qui représentent la cinétique d'adsorption de BM à différentes concentrations initiales avec l'application des deux modèles pseudo premier ordre et pseudo second ordre aux mêmes conditions (T= 293 K).

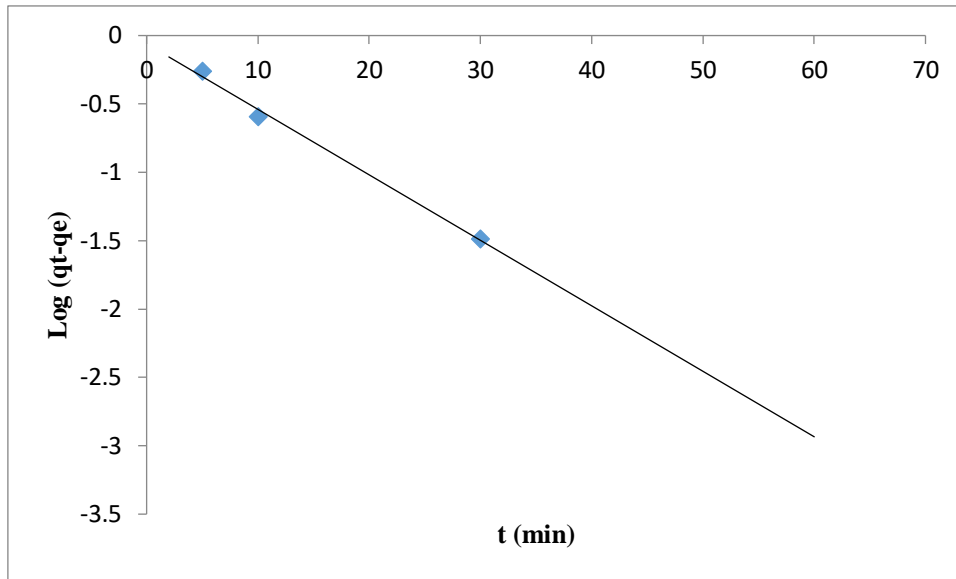


Figure (III-05) : Cinétique d'adsorption de BM à différentes concentrations initiales (À l'aide d'un modèle de pseudo- premier ordre) à 293 K

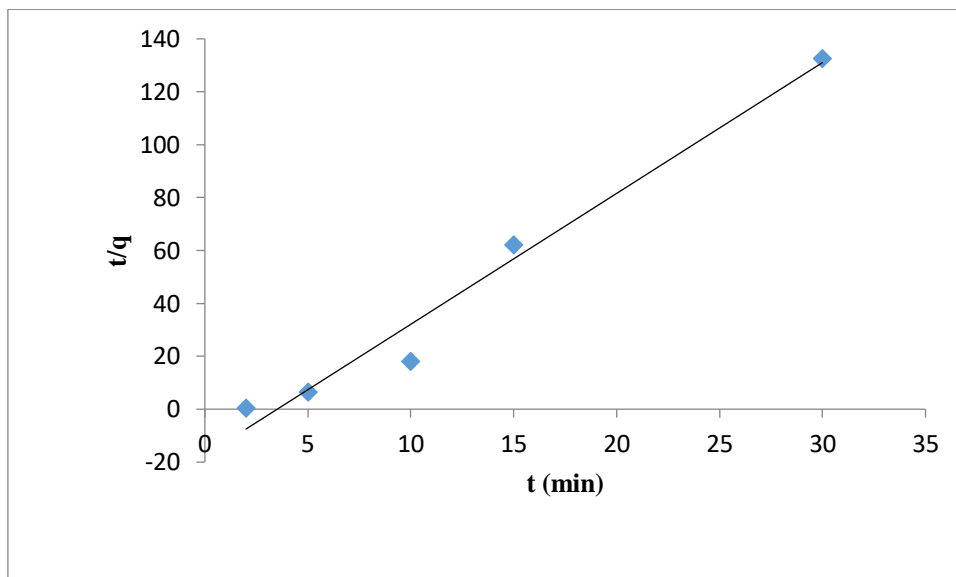


Figure (III-06) : Cinétique d'adsorption de BM à différentes concentrations initiales (À l'aide d'un modèle de pseudo-second ordre) à 293 K.

Les figures (III-05).et (III-06) aux différentes concentrations, montrent une certaine linéarité de différentes courbes obtenues, qui ont permis par la suite de calculer les différentes constantes cinétiques et la quantité optimale d'adsorption, qui sont rassemblés au tableau (III-01).

Tableau (III-01) : Paramètres cinétiques d'adsorption de BM à 293 K

C₀ (mg/L)	Pseudo- premier ordre			Pseudo-second ordre		
	q_e (mg/g)	K₁ (g/min)	R²	q_e (mg/g)	K₂ (g/mg min)	R²
100	0,869	0,479	0,9944	0,202	1,408	0,9761

D'après le tableau (III-01) du calcul des paramètres cinétiques, on remarque que le coefficient de corrélation calculé de pseudo-premier ordre ($R^2 = 0.9944$) est supérieure à celui de pseudo- second ordre ($R^2 = 0,9761$). Ces résultats indiquent que le modèle de pseudo-premier ordre est le mieux adapté pour décrire bien la cinétique de l'adsorption de BMsur cet adsorbant.

III.3 Etude isothermique

Parmi les isothermes les plus utilisées, on rencontre l'isotherme de Freundlich et l'isotherme de Langmuir

III.3.1 Isotherme de Freundlich

L'isotherme d'adsorption de Freundlich suppose que l'adsorption se produit sur une surface hétérogène par un mécanisme mono ou multicouche d'adsorption [6], et que la quantité adsorbée augmente avec la concentration selon l'équation suivante :

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \dots \dots \dots (05)$$

Avec :

q_e : la quantité d'adsorbat adsorbée par masse d'unité d'adsorbant (mg.g⁻¹) ;

K_F : est un paramètre lié essentiellement à la capacité d'adsorption maximale (mg.g⁻¹ (mg.L⁻¹)) ;

C_e : la concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre (mg.L⁻¹);

n : est un paramètre lié aux coefficients de variation des énergies d'interactions avec le taux de recouvrement.

III.3.2 Isotherme de Langmuir

Les hypothèses émises par Langmuir pour établir sa relation sont les suivantes :

- ❖ La molécule adsorbée est située sur un site bien défini sur l'adsorbant (adsorption localisée),
- ❖ Chaque site n'est susceptible de fixer qu'une molécule adsorbée,
- ❖ L'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante de la présence de molécules adsorbées sur les sites voisins (surface homogène et pas d'interaction entre les molécules adsorbées).

Dans le cas d'une adsorption en monocouche, à l'équilibre nous avons la relation suivante [7] :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L} \frac{1}{C_e} \dots \dots \dots \langle 06 \rangle$$

Avec :

C_e : concentration à l'équilibre (mg.L⁻¹) ;

q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg.g⁻¹) ;

q_m: quantité maximale adsorbée à la saturation de la monocouche ou capacité maximale d'adsorption (mg.g⁻¹);

K_L : constante d'équilibre d'adsorption, dépendant de la température (L.mg⁻¹).

Les résultats obtenus ont permis de tracer les formes linéaires selon le modèle de l'isotherme de Freundlich et le modèle de l'isotherme de Langmuir respectivement par les figures (III-07) et (III-08).

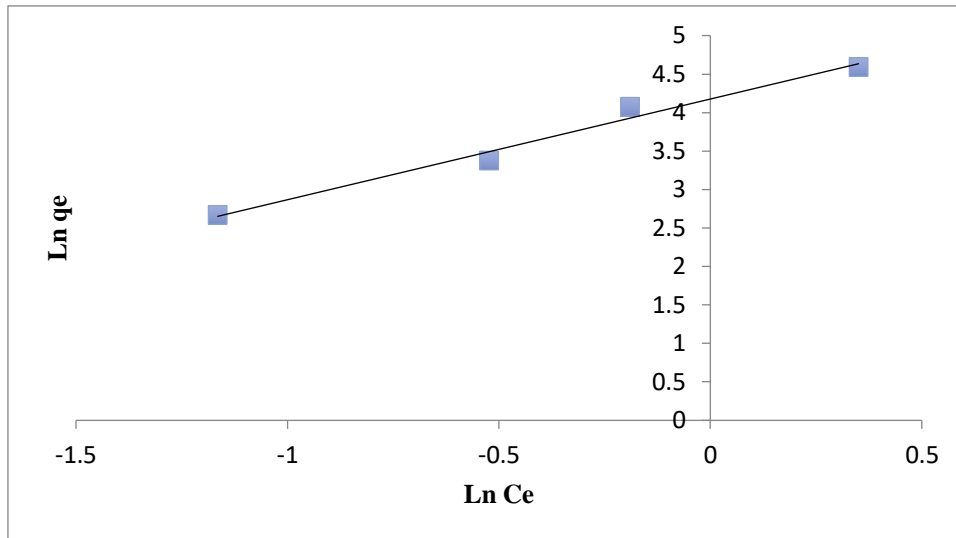


Figure (III-07) : Linéarisation d'isotherme d'adsorption de BM selon le Modèle de Freundlich à 323 K

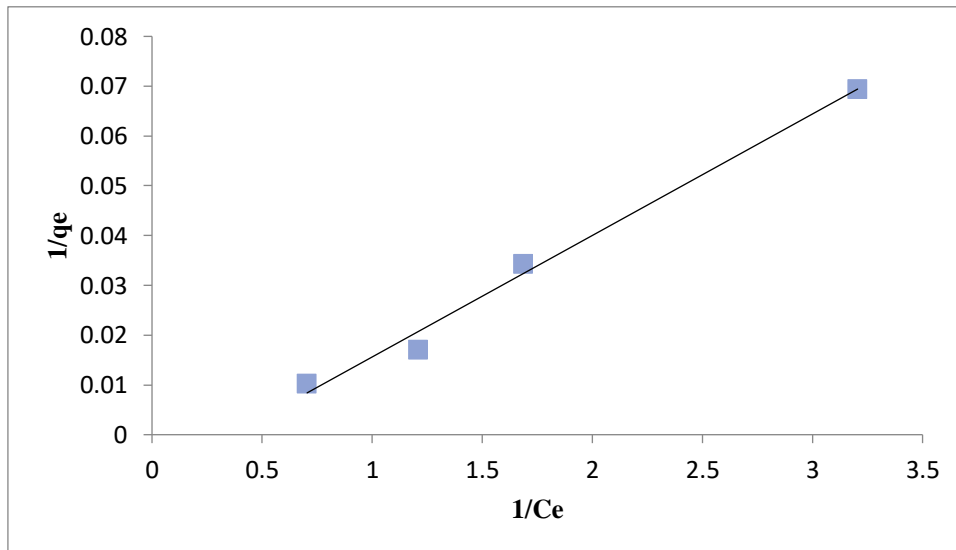


Figure (III-08) : Linéarisation d'isotherme d'adsorption de BM selon le Modèle de Langmuir à 323 K

Les figures (III-07) et (III-08) ont permis de calculer les différentes constantes des deux modèles, qui sont regroupés dans le tableau (III-02).

Tableau (III-02) : Les constantes de différentes isothermes d'adsorption de BM a 323 K.

T (K)	Langmuir			Freundlich		
	q_{max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	1/n	K_F ($mg^{1-n} \cdot l^n \cdot g^{-1}$)	R^2
323 K	40,981	2,779	0,9905	1,308	1,429	0,9825

Les paramètres de deux modèles Freundlich et Langmuir qui sont regroupés dans le tableau (III-02) et les figures (III-07) et (III-8), montrent que les résultats expérimentaux sont bien décrits par les deux modèles, mais l'isotherme de Langmuir convient le mieux aux coefficients de corrélation (R^2), pour l'isotherme de Langmuir était 0,9905 comparé à 0,9825 de l'isotherme de Freundlich. Ce qui signifie que c'est une adsorption monocouche [8]. La capacité d'adsorption maximale calculée est de 40,981 mg/g.

III.4 Etude comparative

Le résultat de cette étude, portant sur la capacité d'adsorption de BM sur TP, a été ensuite comparé aux autres études utilisant le même adsorbat.

Tableau (III-03) : Etude comparative de l'adsorption de BM sur différents adsorbants.

Adsorbant	Temps D'équilibre	pH optimal	Modèle cinétique	Isotherme	q_{max} [mg/g]	Réf.
Cendre	40 min	6	Pseudo-second ordre	Freundlich	3.62	[9]
Noyaux de mangue	40 min	6.8	Pseudo-second ordre	Freundlich	5.71	[10]
Charbon actif	60 min	2	Pseudo-second ordre	Langmuir	8.85	[11]
Tiges de palmier traitée	60 min	4	Pseudo-premier ordre	Langmuir	40.98	Cette étude

Les différents résultats du tableau (III-03) et après comparaison, on peut dire que le biosorbant utilisé dans notre étude a une capacité d'adsorption favorable et acceptable par

rapport aux autres. Ce qui donne un avantage économique et technique pour être utilisé en cas d'absence d'autres adsorbants meilleurs.

Référence bibliographique

- [1] **Chifaa AD**, M. Benalia, Y. Laidani, H. Elmsellem, F. Ben Saffedine, I. Nouacer, M. Djedid, B. El Mahi and B. Hammouti. «Adsorptive removal of cadmium from aqueous solution by *Luffa Cylindrica*: Equilibrium, dynamic and thermodynamic». *Der Pharma Chemica*. 7(12), **2015**, 388-397.
- [2] **Chifaa AD**, M. Benalia, Y. Laidani, H. Elmsellem, G. Henini, I. Nouacer, M. Djedid. «Kinetics, thermodynamics and equilibrium evaluation of adsorptive removal of iron from aqueous solution onto Algerian biosorbent '*LUFFA CYLINDRICA*'». *Journal of Materials and Environmental Science*. 7 (1), **2016**, 319-330.
- [3] **AD Chifaa**, Benalia Mokhtar, Djedid Mebrouk, Elmsellem Hicham, Ben Saffedine Fatiha, Messaoudi Amina, Ouzidan Younes, Hammouti Belkheir. «A new lignocellulosic material based on *Luffa Cylindrica* for Nickel (II) adsorption in aqueous solution». *Moroccan Journal of Chemistry*. 4N°4, **2016**, 1096-1105.
- [4] **Stephen J. Allen**, Gordon McKay, K. Y. H. Khader, **1989**, "Equilibrium adsorption isotherms for basic dyes onto lignite", *J. Chemical Technology and Biotechnol.*, 45 (4), 291-302
- [5] **A. Aarfane**, A. Salhi, M. El Krati, S. Tahiri, M. Monkade, E.K. Lhadi, M. Bensitel, **2014**, "Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of Red195 and Methylene blue dyes on fly ash and bottom ash in aqueous medium)", *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (6), 1927-1939.
- [6] **H.W. Freundlich**, **1939**, « The Adsorption of cis and trans-Azobenzene », *J. Am. Chem. Soc.*, 61, 2228-2230.
- [7] **I. Langmuir**, **1918**, « The Adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum », *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1361-1402.
- [8] **Chifaa AD**, « Evolution du pouvoir adsorbant de *Luffa Cylindrica* local pour l'élimination de quelques métaux lourds dans les eaux usées de la station de déshuilage de Hassi R'Mel». Thèse de Doctorat de l'université de Laghouat, Algérie, **(2017)**.
- [9] **Alok Mittal**, Arti Malviya, Dipika Kaur, Jyoti Mittal, Lisha Kurup, **2007**, " Studies on the adsorption kinetics and isotherms for the removal and recovery of Methyl Orange from wastewaters using waste materials", *Journal of Hazardous Materials*, 148, 229-240.
- [10] **Omar Khlifi**, Ikram Mehrez, Mouna Nacef & Abed Mohamed Affoun, **2016**, « Etude Comparative d'adsorption des cations de Nickel et de cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues d'épuration », 6ème JTLAIGM, 26 avril, Université de Guelma, Algérie.
- [11] **Fortunate Pheny Sejie**, Misael Silas Nadiye-Tabbiruka, **2016**, « Removal of Methyl Orange (MO) from Water by adsorption onto Modified Local Clay (Kaolinite) », *Physical Chemistry*, 6(2), 39-48.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le cadre de la protection d'environnement, plusieurs solutions ont été créées pour réduire toute sorte de pollution ; parmi ces procédés de traitement des eaux l'adsorption. Nous avons, dans cette étude, utilisé la technique d'adsorption pour l'élimination du polluant qui est le colorant le bleu de méthylène en solution aqueuse à l'aide des tiges de palmier.

La deuxième partie, l'accent est mis sur l'étude de quelques paramètres tels que l'effet de masse, l'effet du pH, l'influence du temps de contact et l'effet de la température, suivie par une étude cinétique et une étude isothermique et enfin une étude comparative.

Les résultats obtenus, nous ont permis d'avancer les points suivants :

- **L'influence de la masse** : l'adsorption diminue proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de la masse TP (la masse optimale est de 0.025 g).
- **L'influence du pH** : l'étude montre que le taux d'élimination de BM est maximum à $\text{pH} = 4$.
- **L'influence du temps de contact et de la concentration initiale** : montre que la vitesse d'adsorption est rapide au bout de 20 minutes.
- **L'influence de la Température** : la température influe sur le processus d'adsorption par les tiges de palmier par une relation proportionnelle du taux d'élimination et de la T° (la température optimale est 30°C).
- **Etude cinétique** : montre que la rétention est presque instantanée et le modèle de pseudo premier ordre est le modèle qui contrôle la cinétique de cette adsorption avec $R^2 = 0.9944$.
- **Etude isothermique** : l'isotherme trouvée est de type 1, autrement dit une adsorption monocouche et les résultats sont bien décrits par l'isotherme de Langmuir.
- **Etude comparative** : la capacité d'adsorption favorable et acceptable.

On peut dire que les résultats de notre étude peuvent être qualifiés d'importants notamment qu'ils mettent l'accent sur la valorisation des tiges de palmier dans la préservation de l'environnement.

Conclusion Générale

Après cette étude, nous pouvons dire que la tige de palmier peut être utilisé comme un adsorbant à faible cout économique et localement disponible pour l'éliminations de colorant le bleu de méthylène.

A la fin, on recommande de compléter cette étude par une caractérisation de ce biomatériau par différentes techniques d'analyse telles que la spectrophotométrie par IR, détermination de la surface spécifique BET et autres techniques analytiques.

عنوان المذكرة: القضاء على الملوثات العضوية الدقيقة في مياه الصرف الصحي الحضرية عن طريق الامتزاز على مادة بيولوجية محلية

المؤطر: د. شفاء عاد

الاسم: شريفة

اللقب: سوايب

الاسم: عبد الرحمان

اللقب: رزاق لقرع

يركز هذا العمل على دراسة الامتزاز للتخلص من الملوثات (الأزرق المثلين) من الماء باستخدام مادة حيوية مصنوعة من النباتات المحلية (سيقان النخيل). أجريت الدراسة باستخدام تجارب مختلفة أظهرت النتائج أن متساوي الحرارة لانغمير هو أفضل تمثيل لهذا الامتصاص والذي يحدث في طبقة أحادية. تظهر الدراسة الحركية أن نموذج الدرجة الأولى الوهمية يصف هذا الامتصاص بشكل أفضل أدى تحسين معلمات الامتزاز إلى قدرة امتصاص قصوى تبلغ 40.98 مجم / جم عند الرقم الهيدروجيني 4 بعد 60 دقيقة.

...الكلمات المفتاحية: مادة حيوية ، تلوث ، ماء ، امتزاز ، أزرق المثلين

Memory title: Elimination of organic micropollutants in urban wastewater by adsorption on a local biomaterial

Name :SOUAIB

First name :Cherifa

Directed by: Dr AD Chifaa

Name: Rezzag-

First name: Abderrahmane

Lagra

This work involves the study of adsorption for the elimination of pollutant (the methylene blue) from water using a biomaterial base on a local plant (palm stems). The sud Is carrier out usine diffèrent tests.

The résultat show That the Langmuir isotherme Is the isotherme winch better represents this adsorption and which is carried out in a monolayer. The kinetic study shows that the pseudo first order model better describes this adsorption.

The optimization of the adsorption parameters resulted in a maximum adsorption capacity of **40.98 mg/g** at pH **4** after **60 min**.

Key words: biomaterial, pollution, water, adsorption, the methylene blue.

Titre du mémoire: Élimination de micropolluant organique dans les eaux résiduaires urbaines par adsorption sur un biomatériau local

Nom: SOUAIB

Prénom: Cherifa

Encadreurs: Dr AD Chifaa

Nom: Rezzag Lagra

Prénom: Abderrahmane

Ce travail porte l'étude de l'adsorption pour l'élimination de polluant (bleu de méthlyné) des eaux à l'aide d'un biomatériau à base de plante locale (les tiges de palmier). L'étude est a été menée à l'aide de différents essais .

Les résultats montrent que l'isotherme de Langmuir est l'isotherme qui représente mieux cette adsorption et qui s'effectue en monocouche. L'étude cinétique montre que le modèle pseudo premier ordre décrit mieux cette adsorption

L'optimisation des paramètres d'adsorption ont abouti à une capacité maximale d'adsorption de **40.98 mg/g** à pH **4** après **60 min**.

Mots clés : biomatériau, pollution, eau, adsorption, bleu de méthlyné.

