

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie des procédés de l'environnement

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Par

➤ DJEGHAM OUMAIMA

➤ DEBDOUCHE KENZA

Intitulé

Elaboration d'un biocharbon à partir d'un déchet naturel (déchets des palmiers) par l'élimination d'un colorant organique (cristal violet)

Soutenu le : 23/06/2024

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mr. Abdelkader Dilmi</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. Houssam Eddine Karce</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. Abdelfateh Benmakhlouf</i>	<i>MCB</i>	<i>Co-Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. Abdelhak Hallati</i>	<i>Prof</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu pour tout le courage et la force qu'il nous donné pour faire ce travail.

Le grand merci à notre encadreur : **Dr. KARCE HOUSSAM EDDINE** pour sa gentillesse et ses idées et ses nombreux conseils ainsi que pour son aide qui a permis d'arriver à ces résultats. Nous le remercions de nous avoir fait confiance d'accomplir ce travail.

Nous remercions également à **Dr. BENMAKHOLOUFA.F** pour le suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire, pour tout le savoir qu'elle a su nous transmettre, il n'a pas cessé de nous donner conseils et remarques intéressantes.

Nous tenons à remercier infiniment toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire et spécifiquement les ingénieurs de laboratoire : Madame Habbiche Farida, Mr. Issam, et ainsi à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin, à accomplir ce travail.

DEDICACE

Je dédie ce travail

A mon père, qui peut être fier et trouve ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

A ma mère, qui DIEU la protège, qui a été le secret de ma patience et la poursuite de mes études et qui a œuvré pour ma réussite.

A mes frères, qui m'ont soutenu à tout moment : Dalale, Moutaz, loujin, ahemed.

A toutes mes chères amies et mes sœurs de mon parcours d'études khawla, serine, Iman.

A toute la famille Djegham.

➤ Enfin, je remercie mon binôme DebdoucheKenza qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

DJEGHAM.OUMAIMA

Dédicace

Je dédie le fruit de ce modeste travail, tout d'abord à:

Ma mère Yamina, la flamme de ma vie, la lumière qui m'a toujours guidé vers le bon chemin. A celle qui a tout fait pour ma réussite, pour sa douceur, sa présence, ses sacrifices et ses encouragements.

Mon père Saddek, à qui je dois tout le respect et l'amour, pour son soutien, sa tendresse, son aide et surtout sa confiance dans les

moments les plus difficiles où j'ai perdu confiance en moi.

A vous, les deux êtres les plus chères au monde que dieu les gardes,
je dis :

Merci

À mon adorable frère Achraf

À Ma très chère sœur : Linda

À Ma binôme : Oumaima

Et la lumière qui éclaire la famille, le petit Tayouba

Et mon mari Fares qui m'a poussé à continuer mes études, qui n'a jamais cessé de me soutenir moralement et matériellement sans oublier bien sûr mes deuxième parents Fatima et Emar et tous mes amies .

Debdouche kenza

Sommaire

<i>Liste des tableaux</i>	
<i>Liste figures</i>	
<i>Liste des abréviations</i>	
<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I</i>	
<i>Généralités sur les colorants</i>	
1 Définition de la pollution de l'eau	2
1.1 Impacte des activités humaines sur la qualité de l'eau	2
1.1.1 origine de la pollution des eaux	2
1.1.1.1 Pollution domestique :	2
1.1.1.2 Pollution industrielle :	2
1.1.1.3 Pollution agricole :	2
1.1.1.4 La pollution urbain :	2
2 Les colorants	3
2.1 Définition :	3
2.2 Classification des colorants	3
2.3 Utilisation des colorants	5
2.4 Toxicité des colorants	6
2.4.1 Toxicité sur l'environnement :	6
2.4.2 Toxicité sur la santé humaine :	6
2.5 Aperçu sur le cristal violet (CV)	6
2.6 procédé d'élimination des colorants	7
2.6.1 Procédés chimiques	7
2.6.1.1 Les procédés d'oxydation classique.....	7
2.6.1.2 Les procédés d'oxydation avancée (POA).....	7
2.6.2 Procédés physicochimiques	7
2.6.2.1 La coagulation-précipitation	7
2.6.2.2 Les techniques membranaires	8
2.6.2.3 l'échange d'ions.....	8
<i>Chapitre II</i>	2
<i>Généralités sur l'adsorption</i>	2
3 Généralité sur le phénomène adsorption :	9
3.1 Définition de l'adsorption :	9
3.2 Types d'adsorption	9
3.2.1 Physisorption (Adsorption physique)	9
3.2.2 Chimisorption :(adsorption chimique) :	10

3.3	Principaux facteurs influençant sur l'adsorption :	10
3.3.1	La température du milieu :	11
3.3.2	Le PH de la solution :	11
3.3.3	La masse d'adsorbant :	11
3.3.4	La concentration initiale d'adsorbât :	11
3.3.5	Le temps d'équilibre :	11
3.3.6	Facteurs caractérisant l'adsorbat :	11
3.3.7	Facteurs caractérisant l'adsorbant :	12
3.4	Isothermes adsorption.....	12
3.4.1	Modélisation des isothermes d'adsorption :	14
3.4.2	Isotherme de Langmuir :	14
3.4.3	isotherme de frendlish	14
3.5	La cinétique d'adsorption:	15
3.6	Modélisation des cinétiques d'adsorption :.....	17
3.6.1	Modèle pseudo-premier ordre (modèle Lagergren) :	17
3.6.2	Modèle pseudo-seconde ordre :	17
3.6.3	Modèle de la diffusion intra- particulaire :	18
3.7	critère de choix d'un adsorbant :.....	18
<i>chapitre</i>		
<i>III.....</i>		
<i>.....</i>		
Partie expérimentales		20
4.1	Introduction	20
4.2	Adsorbat (colorant).....	20
4.3	Les adsorbant (charbons actif).....	21
4.3.1	Préparation des adsorbants	21
4.3.1.1	Purification et séchage	21
4.3.1.2	Broyage :.....	21
4.3.1.3	Tamissage :.....	22
4.3.1.4	Activation thermique :	22
4.3.1.5	Activation chimique :.....	22
4.3.1.6	Lavage :	22
4.4	Application d'adsorption :.....	23
4.5	Effets de contact (cinétique d'adsorption).....	24
4.5.1	III.5.1 Temps de contact (cinétique d'adsorption)	24
4.6	calcul des quantités adsorbées.....	24
<i>Chapitre IV</i>		2
<i>Résultats et discussion</i>		2
5	Plans de Box-Behnken.....	25
5.1	Modèle mathématique postulé.	26
5.2	Résultats et discussions.	27
5.2.1	Application du plan d'expériences :	27
5.2.2	Modélisation.	27

5.2.2.1	Etude de la quantité de matière Q_t	28
5.2.3	Etude du rendement R	37
5.2.4	effet de temps de contact.....	45
5.2.5	la modélisation de la cinétique d'adsorption	46
5.2.6	l'isotherme d'adsorption et modélisation des résultats.....	47
Conclusion		
générale.....		
.....49		
Reférence		
bibliographé.....		
.....50		

Liste des tableaux

Tableau 1:classification chimique des colorants [5]	3
Tableau 2: Classification tinctoriale des colorants [5]	4
Tableau 3:comparaison entre l' adsorption physique et l'adsorption chimique[16]	10
Tableau 4:Propriétés du Cristal Violet.	20
Tableau 5:Matrice d'expérience de Box-Behnken pour 3 facteurs.	26
Tableau 6:Les essais et les réponses du plan box-Behnken.	27
Tableau 7: paramètre d'optimisation.....	37
Tableau 8: paramètre d'optimisation.....	44
Tableau9 : Paramètres pertinents de la cinétique d'adsorption du colorant cristal violet sur biochar B-700.....	46
Tableau10 : représente le isotherme d'adsorption de CV sur le B700.....	48

Liste des figures

Figure 1; schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption	9
Figure 2;les isotherme d'adsorption en phase liquide	13
Figure 3;les étapes de la cinétique d'adsorption.....	16
Figure 4;des adsorbants brute.....	21
Figure 5;Adsorbant avant activation.....	22
Figure 6;présentées solution de cv de différentes.....	23
Figure 7; La courbe d'étalonnage.....	23
Figure 8; Illustration du plan de Box-Behnken pour trois facteurs.....	25
Figure 9;Effet des facteurs principaux et leurs interactions	29
Figure 10;Diagramme de Pareto des effets normalisés (réponse =Qt; $\alpha = 0,05$)	29
Figure 11; Réponse mesurée en fonction de la repense prédite	30
Figure 12; diagramme de dispersion des résidus.....	31
Figure 13; Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière.....	32
Figure 14; Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière.....	33
Figure 15;Diagrammes de contours pour Qt.....	35
Figure 16;Diagrammes de surface pour l'adsorption.....	36
Figure 17; optimisation des facteurs.....	37
Figure 18;Effet des facteurs principaux et leurs interactions.....	38
Figure 19;Diagramme de Pareto des effets normalisés (réponse =R; $\alpha = 0,05$).....	39
Figure 20;Réponse prédite en fonction de la repense mesurée	40
Figure 21;diagramme de dispersion des résidus.....	40
Figure 22; Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière.....	41
Figure 23;Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière.....	42
Figure 24; Diagrammes de contours et de surfaces pour R.....	43
Figure 25; optimisation des facteurs.....	44

Liste des abréviations

A : absorbance ;

B700 : biochar

c : la concentration de la solution en mol/L ;

CAG : charbons actifs en grain ;

CAP : charbons actifs en poudre ;

CV : cristal violet ;

HC l: Acide de chlorhydrique;

l : la largeur de cuve en cm ;

NaOH : Hydroxyde de sodium ;

pH : potentiel d'hydrogène ;

(POA) : Les procédés d'oxydation avancée ;

R:Taux d'élimination (%) ;

ϵ : le coefficient d'absorption molaire en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$;

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est essentielle à tous les processus socio-économiques, peu importe le stade de développement d'une communauté. L'augmentation des activités agro-industrielles exerce une pression croissante sur les réserves mondiales d'eau douce. Ces activités produisent une variété de produits chimiques qui se déversent dans le cycle de l'eau, menaçant l'équilibre naturel fragile qui a favorisé l'émergence de la vie sur notre planète. [1].

La pollution de l'eau résulte de l'introduction de substances nocives dans le milieu aquatique, altérant sa qualité et menaçant la santé des êtres vivants. Les principales sources de pollution sont liées à l'activité humaine, l'industrie, l'agriculture et les déchets domestiques et industriels. [2-5].

L'adsorption est une méthode efficace pour éliminer une grande variété de polluants dans l'environnement, en utilisant des matériaux spécifiques pour piéger les molécules toxiques présentes dans l'eau et l'air. Ce processus consiste à fixer les molécules d'un fluide sur la surface d'un solide, permettant ainsi de purifier l'environnement de manière ciblée et efficace. [6].

Les adsorbants organiques et minéraux, tels que l'argile, le gel de silice et le charbon actif, sont largement utilisés dans les traitements des eaux après un traitement d'activation pour augmenter leur porosité.

L'objectif de notre travail est la préparation d'un biochar à partir d'un déchet naturel (déchets des palmiers) a une température de 700 °c et les appliquer à l'adsorption de polluant (cristal violet)

nous avons utilisé le plan d'expérience de Behnken à trois facteurs, il conduit à de bons résultats avec un minimum d'expérience. La méthode dite, surface de réponse utilise un modèle mathématique du second degré

Chapitre I

Généralités sur les colorants

1 Définition de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau représente l'une des principales menaces actuelles car elle entraîne une contamination croissante de l'eau potable. Cette contamination peut causer diverses maladies chez les humains et les animaux perturbant ainsi le cycle de vie de l'écosystème. Une détection précoce de la pollution de l'eau permet de prendre des mesures appropriées pour éviter les situations critiques. Pour assurer un visionnement en eau pure il est essentiel d'examiner la qualité de l'eau en temps réel [8]

1.1 Impacte des activités humaines sur la qualité de l'eau

1.1.1 Origine de la pollution des eaux

1.1.1.1 Pollution domestique

Elle est couramment transportée à travers le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration.. (Savon, détergent...). [9]

1.1.1.2 Pollution industrielle

Emanant des installations industrielles, se distingue par sa diversité, en fonction de l'utilisation de l'eau. tous les produits où sous-produits de la vie humaine peuvent ainsi se retrouver dans l'eau, ce qui en fait un vecteur majeur de contamination [9]

1.1.1.3 Pollution agricole

Issus des exploitations agricoles et les cultures sont principalement causées par l'utilisation de pesticides et engrais chimiques [9]

1.1.1.4 La pollution urbaine

Les principales sources de pollution sont facilement repérables notamment les eaux pluviales les résidus de traitement des déchets domestiques et ceux provenant de la gestion des déchets solides cette pollution se manifeste par une concentration élevée de particules minérales en suspension tels que le sable les graviers et les poussières ainsi que par la présence abondante de déchets solides [10].

2 Les colorants

2.1 Définition

Un colorant, qu'il soit d'origine naturelle ou synthétique, est une substance ayant la capacité de teindre de manière durable le support sur lequel il est appliqué, sous certaines conditions. Ces composés sont largement utilisés dans divers domaines tels que la teinture des textiles, la fabrication d'encre, de peintures, de vernis, ainsi que dans l'industrie alimentaire, entre autres. Dans le contexte industriel contemporain, un colorant communément utilisé est un produit contenant un colorant organique pur accompagné de divers additifs et agents de coupage, facilitant ainsi son utilisation [11].

2.2 Classification des colorants

Les colorants sont classés selon leur structure chimique et leur méthode d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.) [12].

Tableau 1: Classification chimique des colorants [12]

Colorants	Caractéristique et propriétés générales
Azoïques	<ul style="list-style-type: none">-Présence du groupe fonctionnel azoïque (-N=N-) qui peut être répété plusieurs fois dans la molécule pour former les diazoïques, triazoïques, etc.-Toxiques, cancérogènes et récalcitrants-Se répartissent en colorants acides, basiques directs et réactifs solubles dans l'eau, dispersés, ...etc
Anthraquinoniques	<ul style="list-style-type: none">-Les plus importants après les colorants azoïques-formule générale dérivée de l'anthracène.-la coloration des fibres polyester.-Couvrent tous la gamme de nuances jaune –orange –rouge.-Solidité à la lumière.-Vivacité des coloris surtout dans le bleu et turquoise
Triphénylméthanes	<ul style="list-style-type: none">-Leurs dérivés hétérocycliques constituent la plus ancienne classe de colorants synthétiques.-Bien moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques.

	-la totalité de la gamme de nuances.
Nitrés et nitrosés	-la présence d'un groupe nitro (NO ₂) en position ortho d'un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupes aminés). -Très limitée en nombre et relativement ancienne. -La simplicité de leur structure moléculaire
Indigoïdes	-Utilisés comme colorant en textile. -Faible solidité à la lumière.
Phtalocyanines	-Structure complexe possédant un atome métallique central . -Obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt).
Thiazines	-Présence d'un anneau de quatre carbones, un azote et un atome de soufre.

Tableau 2: Classification tinctoriale des colorants [12]

Colorants	Caractéristique et propriétés générales
Acides ou anioniques	- Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates. - Permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide.
Basiques ou cationiques	- Sels d'amines organiques. -Solubles dans l'eau. - Permettent des nuances très vives et résistantes.
Développés ou azoïques Insoluble	- Formés directement sur la fibre. - Le support textile est imprégné d'une solution de naphthol (copulant). - Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser
Colorants de cuve	- Insolubles et doivent être transformés en leuco -dérivés par réduction alcalin. - Réputés pour leur bonne résistance aux agents de

	dégradation. - Utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim.
Réactifs	- Contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinonique et phtalocyanine. -La présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. -Solubles dans l'eau.
Directs	-Capables de former des charges positives ou négatives électro statiquement attirées par les charges des fibres. -Prix modéré, facilité d'application et faible solidité au traitement du lavage.
Colorants à mordants	- Contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.
Dispersés	- Très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. - en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer.

2.3 Utilisation des colorants

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

- pigment (industrie des matières plastiques)
- encre, papier (imprimerie).
- colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire).
- pigments des peintures, matériaux de construction, céramique (industrie de bâtiment).
- colorants capillaires (industrie des cosmétiques).

- colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique).
- carburants et huiles (industrie automobile etc...).
- colorants textiles à usage vestimentaire de décoration du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical ...etc [13]

2.4 Toxicité des colorants

2.4.1 Toxicité sur l'environnement

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux. . Par ailleurs, Leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible et dans la faune [11].

2.4.2 Toxicité sur la santé humaine

Les colorants sont dangereux pour la santé humaine, ils peuvent être

- mutagènes
- gènotoxiques.
- entraîner des cancers de la thyroïde.
- entraîner des tumeurs des glandes surrénales.
- contenir des substances cancérigènes.
- avoir des actions sur le système nerveux central.
- inhibition ou déficit de certaines enzymes.
- augmentation de la perméabilité intestinale [14].

2.5 Aperçu sur le cristal violet (CV)

Le CV est un colorant cationique synthétique. On l'appelle également Basic Violet 3, gentiane violet et violet de méthyle 10B. Il appartient au groupe des triarylméthanes. Ce colorant est employé dans différents domaines par exemple comme agent dermatologique, en médecine vétérinaire, un additif à l'alimentation de volaille pour empêcher la propagation des parasites intestinaux et du mycète.il est également intensivement utilisé pour la coloration du textile et pour l'impression du papier [15]

Le CV est toxique et peut absorber à travers la peau provoquant une irritation. Il est nocif par inhalation et ingestion. Dans les cas extrêmes, peut conduire à une insuffisance Rénale, irritation sévère des yeux conduisant à la cécité permanente au cancer Donc, l'élimination de ce colorant de l'eau et des eaux usées est d'une grande importance [16]

2.6 Procédé d'élimination des colorants

2.6.1 Procédés chimiques

2.6.1.1 Les procédés d'oxydation classique

Les méthodes traditionnelles d'oxydation, telles que l'utilisation de l'hypochlorite de sodium, du peroxyde d'hydrogène ou du peroxyde, sont couramment employées pour traiter les effluents contenant des polluants organiques, notamment des colorants. Elles offrent généralement une mise en œuvre relativement aisée. Dans le cas de colorants toxiques difficilement dégradables, ces composés peuvent être transformés en produits dégradables par les micro-organismes. Elles peuvent être utilisées en complément ou en concurrence avec d'autres méthodes telles que l'adsorption sur charbons actifs ou la nanofiltration. L'oxydation par l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène est également couramment mise en œuvre [10].

2.6.1.2 Les procédés d'oxydation avancée (POA)

Les Procédés d'Oxydation Avancée (POA) intègrent des techniques chimiques, photochimiques ou électrochimiques. Leur développement est en progression constante depuis près de trois décennies. Ces méthodes de traitement visent à décomposer les molécules de colorants en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O) à l'aide du rayonnement ultraviolet (UV) en présence de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) [18].

2.6.2 Procédés physicochimiques

2.6.2.1 La coagulation-précipitation

Cette méthode permet de retirer le colorant en utilisant la coagulation la floculation et la décantation en ajoutant des cations trivalents, tels Fe^{3+} ou Al_3 . Cette méthode consiste en une annulation du potentiel zêta (coagulation) par l'ajout d'un réactif chimique, ce qui entraîne la déstabilisation des particules colloïdales, suivie de leur agglomération (floculation) en micro floes, puis en flocons volumineux et décantables. La neutralisation de

la charge superficielle (potentiel zêta) est réalisée au moyen de coagulants minéraux à base de cations trivalents, tels que sulfate et chlorure d'alumine, chlorure et sulfate ferrique, ou organiques de synthèse à caractère cationique, tel que l'épichlorhydrinediméthylamine [18].

2.6.2.2 Techniques membranaires

Les procédés membranaires sont des méthodes de séparation basées sur la perméation à travers une membrane, induite par une différence de pression. Cette séparation repose sur divers facteurs tels que la taille moléculaire des composés, leur forme, leur structure, leur polarisabilité, leur solubilité, la présence de co-solutés, le matériau et la configuration de la membrane, les paramètres opératoires, ainsi que les phénomènes de colmatage, entre autres. Ces techniques comprennent la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse. Parmi celles-ci, l'ultrafiltration et la nanofiltration sont particulièrement efficaces pour l'élimination de diverses classes de colorants [19].

2.6.2.3 L'échange d'ions

L'échange d'ions est procédé utilisé sous certaines conditions un matériau spécifique (résines échangeuses d'ions) attire un ion positif ou négatif d'une solution et libère en échange un ion de même charge le procédé de traitement des eaux par échange d'ions s'applique aux effluents contenant des colorants [19]

Chapitre II

Généralités sur l'adsorption

3 Généralité sur le phénomène adsorption

L'adsorption est une technique largement utilisée dans le traitement de l'eau et des effluents industriels. Elle repose sur la capacité des solides à retenir certains polluants, comme les colorants textiles, sur leur surface. L'adsorption, à ne pas confondre avec l'absorption, est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants [20]

3.1 Définition de l'adsorption

L'adsorption est le phénomène physico-chimique où une substance chimique s'accumule à la surface d'un solide. Il revêt une importance majeure pour comprendre le comportement des substances, qu'elles soient d'origine inorganique ou organique, dans les eaux naturelles. Ce processus impacte la distribution des substances dissoutes et en particules, ainsi que les caractéristiques des particules en suspension. De surcroît, l'adsorption joue un rôle crucial dans le comportement des polluants au sein des environnements aquatiques [21].

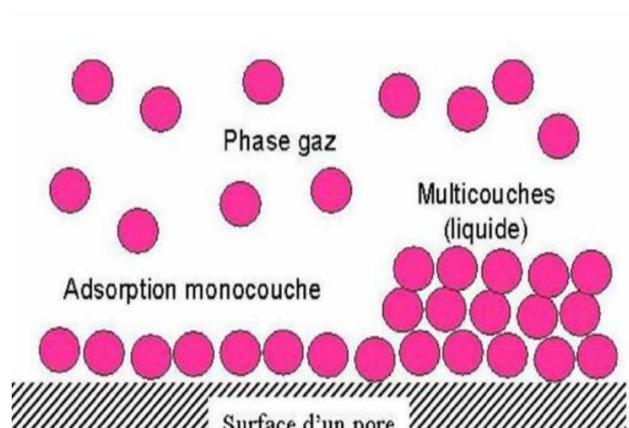


Figure 1 : schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption[22]

3.2 Types d'adsorption

Il est possible de distinguer deux types d'adsorption :

3.2.1 Physisorption (Adsorption physique)

L'adsorption physique implique l'utilisation de forces intermoléculaires faibles, telles que les forces de Van der waals, pour attirer et retenir les molécules dissoutes sur une

surface solide. Ce processus se produit instantanément en raison de la rapidité de l'adsorption. Une baisse de la température favorise ce type d'adsorption en raison de sa réversibilité rapide [23].

3.2.2 Chimisorption (adsorption chimique)

L'adsorption chimique se produit lorsque des liaisons chimiques, souvent de type covalent ou ionique comme dans les échanges d'ions (impliquant des couples de charges opposées), se forment. Dans ce cas, la fixation peut être irréversible et entraîner des modifications chimiques de l'espèce adsorbée [23].

Tableau 3: Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique[23]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Types de liaison	Liaison de Van der Waals	Liaison chimique
Température du processus	Relativement faible comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat
Individualité des molécules	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
Désorption	Facile	Très lente
Cinétique	Rapide, indépendante de la température	Très lente
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 kcal/mole	Supérieur à 10 kcal/mole
Energie mise en jeu	Faible	Élevée
Type de formation	Formation en multicouches	Formation en monocouche

3.3 Principaux facteurs influençant sur l'adsorption

Plusieurs éléments ont un impact sur le processus d'adsorption, parmi les plus importants sont :

3.3.1 La température du milieu

L'adsorption physique se produit à des températures basses (ce qui est un phénomène exothermique), tandis que l'adsorption chimique nécessite des températures plus élevées (un phénomène endothermique). Par conséquent, il est essentiel de définir la température du processus dès le début [24].

3.3.2 Le PH de la solution

Le pH est un facteur important dans toute recherche sur l'adsorption du fait qu'il peut impacter à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbât ainsi que le mécanisme d'adsorption [24].

3.3.3 La masse d'adsorbant

La recherche de la masse minimale nécessaire et suffisante d'un matériau pour adsorber un polluant donné, est une étape primordiale à toute étude sur l'adsorption, Parce qu'elle impacte significativement le mécanisme d'adsorption ainsi que le coût de l'adsorbant [24].

3.3.4 La concentration initiale d'adsorbât

La concentration de polluant initiale est un paramètre qui affecte la capacité d'adsorption [25].

Sa solubilité (moins une substance est soluble, mieux elle est adsorbée) [26]

3.3.5 Le temps d'équilibre

Le temps d'équilibre est l'un des facteurs les plus significatives du point de vue économique pour les systèmes de traitement des eaux usées. [27]

3.3.6 Facteurs caractérisant l'adsorbât

Certaines substances ne sont pas toutes adsorbées de la même manière. La capacité de retenue d'un polluant dépend de:

- l'énergie de liaison de la substance à adsorber,
- sa structure et taille des molécules (un haut poids moléculaire réduit la diffusion et par conséquent la fixation de l'adsorbât) [26].

3.3.7 Facteurs caractérisant l'adsorbant

Un solide adsorbant se caractérise par des propriétés physicochimique, mécanique et géométrique, les plus importantes sont les propriétés géométriques.

- **La surface spécifique**

Une plus grande surface entraîne une adsorption plus efficace [26].

- **La structure de l'adsorbant**

L'efficacité de l'adsorption d'une substance augmente avec la diminution de la taille des particules et des dimensions des pores de l'adsorbant. Cependant, si le diamètre des pores est plus petit que celui des molécules, l'adsorption de cette substance sera inefficace, même si l'adsorbant a une forte affinité pour elle. La répartition des tailles des pores est un élément clé de la cinétique globale du processus d'adsorption [26].

- **La polarité**

Les solides polaires adsorbent préférentiellement les corps polaires, tandis que les solides apolaires ont une affinité pour les substances apolaire [26]

3.4 Isothermes adsorption

Pas tous les systèmes adsorbants ou adsorbats ne réagissent de la même manière. Les phénomènes adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme. Les courbes isothermes décrivent la relation existante à équilibre adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante.

L'allure de la courbe isotherme varie selon le couple adsorbât-adsorbant étudié. Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées: S (Sigmoide), L(Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La figure 2 présente cette classification [28]

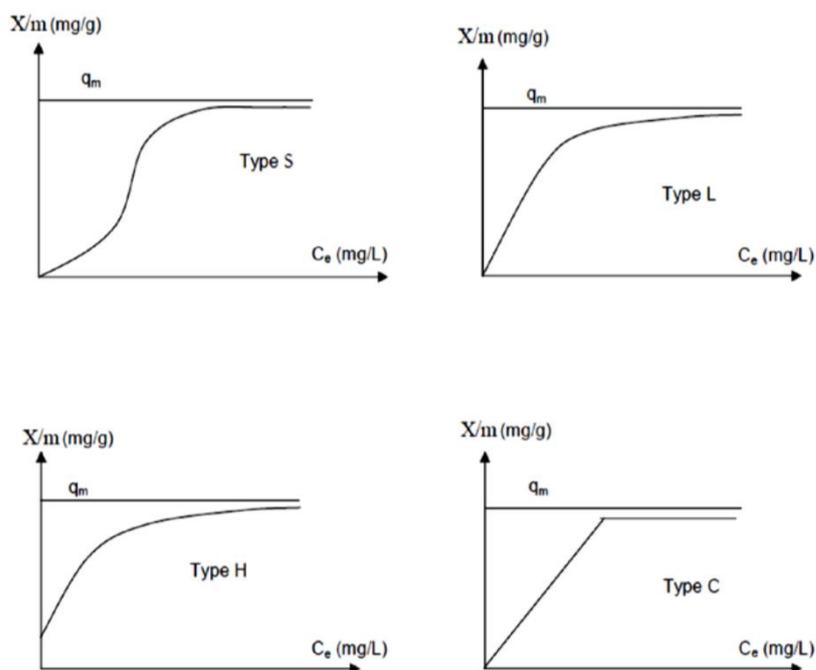


Figure 2 : Les Isothermes d'adsorption en phase liquide [17]

Type H :

Commence à une valeur positive et montre une forte affinité souvent observée pour des solutés adsorbés sous forme de micelles. Cela implique qu'à faibles concentrations, l'adsorption est complète

Type C :

Ligne droite, ce qui indique une compétition constante entre le solvant et le soluté pour occuper les sites, avec un partage uniforme.

Type S :

Indique une adsorption verticale de molécules monofonctionnelles polaires sur un adsorbant polaire, où le solvant et le soluté rivalisent pour occuper les sites de l'adsorbant.

Type L :

Le modèle de Langmuir classique indique une adsorption plane de molécules bifonctionnelles. Dans ce cas, l'adsorption du solvant est faible et celle du soluté sur le solide se fait en monocouche.

3.4.1 Modélisation des isothermes d'adsorption

Plusieurs lois ont été avancées pour étudier l'adsorption, elles décrivent la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température [29] dans ce mémoire on a utilisé les isothermes de Langmuir, Freundlich.

3.4.2 Isotherme de Langmuir

Modèle le plus largement utilisé est celui de Langmuir, avec les hypothèses suivantes :

- ▶ le solide adsorbant présente une capacité d'adsorption limitée (q_m),
- ▶ tous les sites actifs sont identiques,
- ▶ les sites actifs ne peuvent complexer qu'une seule molécule de soluté (adsorption-monocouche),
- ▶ il y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées [30].

On peut modéliser l'isotherme par l'équation suivante :

$$Q_e = \frac{(Q_m \cdot K_L \cdot C_e)}{(1 + K_L \cdot C_e)} \quad (\text{II-1})$$

tel que : K_L : constante d'équilibre de Langmuir (L/mg),

q_e : la capacité maximale d'adsorption (mg/g)

C_e : concentration à l'équilibre (mg/L)

L'équation de Langmuir peut être écrite aussi sous cette forme :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L \cdot q_m \cdot C_e} \quad (\text{II-2})$$

Le tracé de $(\frac{1}{q_e})$ en fonction de $(\frac{1}{C_e})$ permet de déterminer les paramètres de Langmuir q_m et K_L

3.4.3 Isotherme de Freundlich

Le modèle de Freundlich permet de déterminer l'hétérogénéité de la surface de l'adsorbant et est généralement appliqué à l'adsorption multicouche. Ce type d'isotherme est observé

dans le cas d'adsorbants possédant un volume macroporeux ou méso poreux important. Il repose sur l'équation et empirique suivante : [33]

$$q_e = k_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{II-3})$$

avec :

C_e : concentration a l'équilibre, exprimé en (mg/L)

q_e : quantité du produit adsorbé a l'équilibre par unité de masse d'adsorbant exprimé en (mg/l)

k_f et n : paramètres de Freundlich, caractéristique de la solution et de l'adsorbant ,déterminés expérimentalement..

L'isotherme de Freundlich est linéaire sous la forme suivante :

$$\ln q_e = \ln k_f \cdot \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{II-4})$$

Graphiquement la relation $\ln q_e = f(\ln C_e)$ nous permet de déduire les constantes de Freundlich k_f et n

3.5 Cinétique d'adsorption

La connaissance des paramètres d'équilibre d'adsorption permet de déterminer les capacités d'adsorption d'un support. . La détermination des paramètres cinétique doit en plus être réalisée pour la prévision de l'allure des courbes. Le transfert d'un adsorbat de la phase liquide vers un site d'adsorption représenté par la figure 3 , fait intervenir les étapes suivantes [34] :

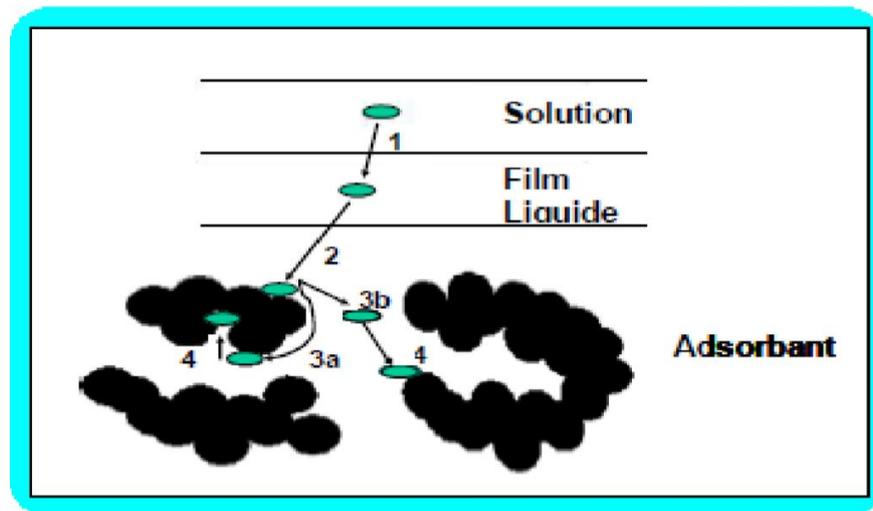


Figure 3 : Les étapes de la cinétique d'adsorption [28]

- **1ère étape** : Le transfert de l'adsorbant de la phase liquide vers la couche limite du film liquide adjacent à la particule solide (par convection ou diffusion) est une étape très rapide.
- **2ème étape** : Le transfert de l'adsorbant à travers le film liquide jusqu'à la surface externe de l'adsorbant est une étape rapide.
- **3ème étape** : La diffusion à l'intérieur de la particule d'adsorbant se fait par deux voies sous l'influence du gradient de concentration. C'est une étape lente.
 - 3a**: Sous l'état adsorbé, par diffusion de surface.
 - 3b**: A l'état libre, par diffusion de pore.
- **4ème étape**: la cinétique d'adsorption : Les molécules s'adsorbent à la surface avec une vitesse finie et sont considérées comme immobiles. Cette étape est très rapide dans le cas d'une physisorption et par conséquent la cinétique d'adsorption globale est uniquement limitée par les processus de transport. [36]

3.6 Modélisation des cinétiques d'adsorption

Dans la littérature, divers modèles cinétiques ont été utilisés pour évaluer le processus d'adsorption. Parmi eux, les modèles de pseudo-premier ordre et de pseudo-deuxième ordre sont les plus étudiés pour modéliser la cinétique de l'adsorption et déterminer certains paramètres cinétiques, tels que la constante de vitesse et la quantité adsorbée à l'équilibre [37].

3.6.1 Modèle pseudo-premier ordre (modèle Lagergren)

Lagergren a proposé un modèle cinétique de pseudo-premier ordre exprimé par la relation suivante [38] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (\text{II-5})$$

Avec:

k_1 : la constante de vitesse pour une cinétique du pseudo-premier ordre (min⁻¹);

q_t : la capacité d'adsorption à l'instant «t» (mg/g).

q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g).

L'intégration de l'équation pour les conditions aux limites $q_t=0$ à $t = 0$ et $q_t=q_t$ à $t=t$, devient [38] :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 \cdot t \quad (\text{II-6})$$

3.6.2 Modèle pseudo-seconde ordre

Une expression fréquemment utilisée est celle du pseudo-deuxième ordre.

Ce modèle suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons par exemple entre molécule d'adsorbat et l'adsorbant solide. Il est obéit à la relation suivante [39]

$$\left(\frac{dq_t}{dt}\right) = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{II-7})$$

Avec:- K: la constante de vitesse pour une cinétique du deuxième ordre (g.mg⁻¹ . Min⁻¹).

En intégrant l'équation pour les conditions aux limites q= 0 à t = 0 et qt=qt,à t=t, on trouve:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_t^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (\text{II-8})$$

3.6.3 Modèle de la diffusion intra- particulaire

Webber et Morris ont démontré expérimentalement que l'adsorption est contrôlée par la diffusion intra-particulaire. la fraction de soluté adsorbée varie proportionnellement avec la racine carré du temps durant l'étape initiale de la cinétique d'adsorption pendant laquelle la quantité adsorbée reste inférieure à 20% de la capacité maximale [30]

L'expression cinétique de diffusion intra-particulaire est souvent présentée par :

$$q_t = k_{int} t^{0.5} + X_i \quad (\text{II-9})$$

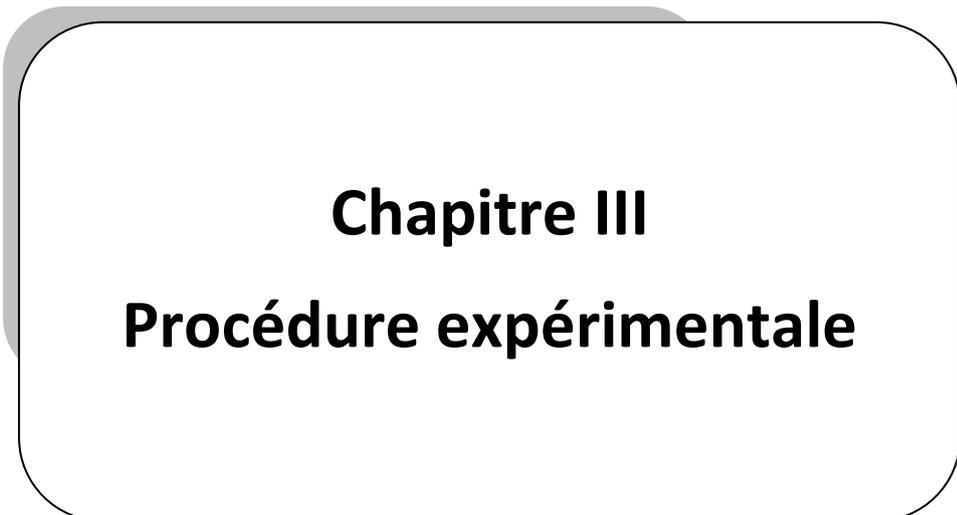
Tel que: K int : la constante de la diffusion intra-particulaire (mg/g min^{1/2}).

- Xi: représente la valeur de l'épaisseur de la couche limite

3.7 Critères de choix d'un adsorbant

Les adsorbants utilisés dans divers traitements doivent posséder les qualités suivantes :

- ▶ Haute capacité d'adsorption.
- ▶ Grande efficacité pour adsorber des substances de faible concentration.
- ▶ Sélectivité élevée.
- ▶ Aptitude à être facilement régénérés et utilisés de nouveau.
- ▶ Prix peu élevé [40]



Chapitre III
Procédure expérimentale

4 Partie expérimentale

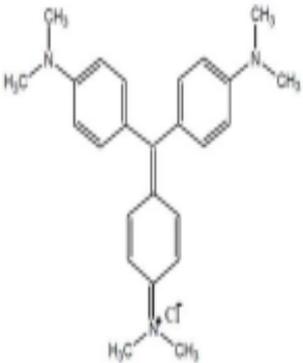
4.1 Introduction

Ce chapitre est élaboré dans le cadre du laboratoire pédagogique de département de génie des procédés de l'environnement à l'université MOHAMMED EL BACHIR EL IBRAHIMI, Nous avons fait une étude expérimentale sur la cinétique et l'isotherme d'adsorption du cristal violet (CV) en solution aqueuse sur les charbons actifs à base naturel.

4.2 Adsorbat (colorant)

L'adsorption du colorant cationique (Cristal Violet) a été étudiée dans plusieurs applications. Sa structure chimique et ses caractéristiques sont représentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Propriétés du Cristal Violet.

Nom usuel	Cristal violet
Nom chimique	chlorure de 4-[4,4'-bis(diméthylamino)benzhydrylidène]cyclohexa-2,5-diène-1-ylidène] diméthylammonium
Formule chimique	$C_{25}H_{30}N_3Cl$ 
Masse molaire [g·mol ⁻¹]	407,97
Taille moléculaire [Å ³]	9.7 ³
λ_{max} [nm]	585
Solubilité dans l'eau	9
pH	6.8

4.3 Les adsorbant (charbons actif)

Dans cette étude on a préparé un charbon actif à travers les restes d'un palmier, afin d'obtenir un produit applicable dans le traitement des eaux et notamment pour la décoloration des effluents utilisés dans l'industrie textile ; Tout d'abord, il s'agit de préparer un charbon actif. En second lieu, d'utiliser ces charbons dans le traitement des eaux.

4.3.1 Préparation des adsorbants

Les préparations des adsorbants s'est faite comme suit

4.3.1.1 Purification et séchage

Les coquilles des arbres sont d'abord nettoyées et lavées plusieurs fois avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée tiède pour éliminer les différentes substances collées telles que la terre , la poussière et les substances hydrosolubles. Ensuite , les adsorbants sont séchés à l'étuve pendant 24 heures pour éliminer l'humidité résiduelle, facilitant ainsi l'étape essentielle suivante le broyage.



Figure 4 : Des adsorbants bruts.

4.3.1.2 Broyage

Les coquilles d'arbres, une fois séchées, sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique pour obtenir la finesse maximale des poudres.

4.3.1.3 Tamisage :

Les poudres obtenues sont tamisées à travers un tamiseur de 200 μ m de diamètre pour garantir une taille uniforme des particules.



Figure 5 : Adsorbant avant activation.

4.3.1.4 Activation thermique

Pendant cette nous avons chauffé les poudres purifier dans un four à moufle en augmentant progressivement de la température ambiante à 700°C sur une période de 3h .Nous avons maintenu cette température pendant 1 heure et demi avant de laisser refroidir à l'air libre. Ces températures ont été choisies en se basant sur des recherches antérieures.

4.3.1.5 Activation chimique

Les charbons obtenus après la carbonisation doivent être activées avec une solution d'acide chlorhydrique HCl (0.1N) sous une agitation pendant 7 heures pour les charbons .Cette étape a but d'augmenter la surface spécifique des particules

4.3.1.6 Lavage

Après l'activation chimique, les charbons actifs menu sont lavés plusieurs fois avec de l'eau distillée pour éliminer les traces d'âge en activant résiduelle .la poudre très humide et ensuite soumise à un séchage dans une étuve à 110° pendant 24 h. Enfin, la dernière étape de préparation du charbon consiste à le stocker dans un récipient approprié

4.4 Application d'adsorption

L'étalonnage se fait en préparant d'abord une solution-mère de concentration donnée (40mg/L).les solution préparée sont par suite, analysées par spectroscopie UV-Visible de type SHIMADZU UV -1900 i. Les résultats obtenus nous permettent ainsi de tracer la courbe d'étalonnage figure

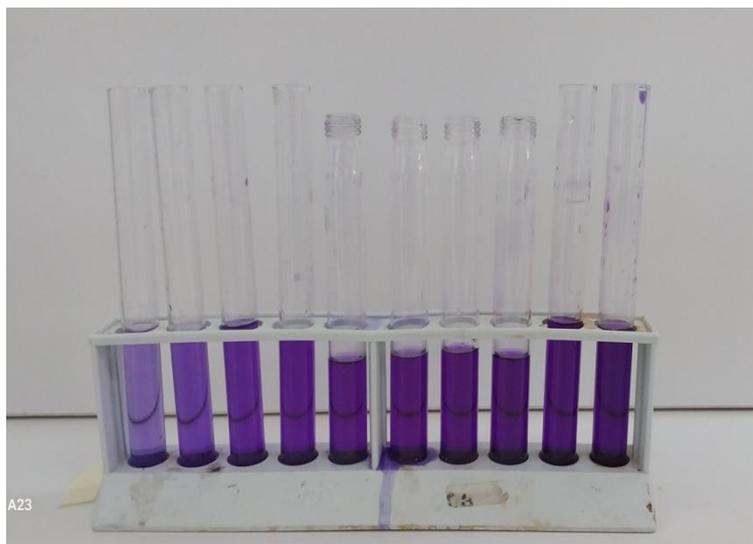


Figure 6 : Des solutions de CV de différentes concertations.

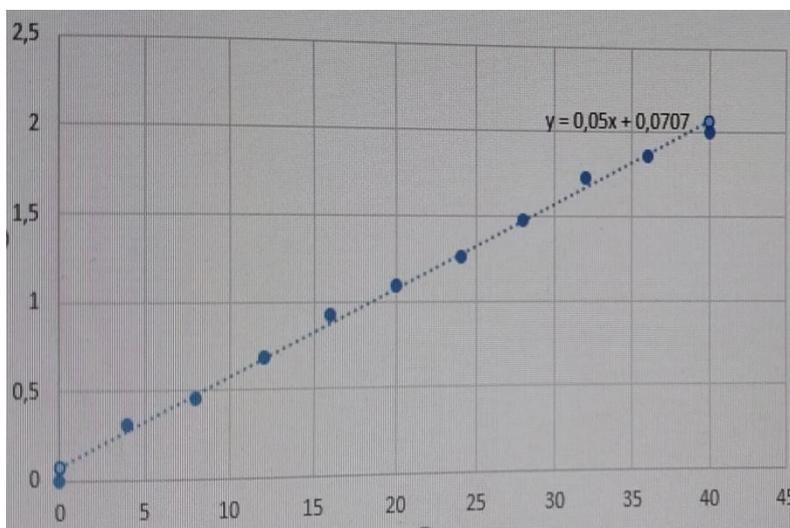


Figure 7 : La courbe d'étalonnage.

4.5 Effets de contact (cinétique d'adsorption)

4.5.1 Temps de contact (cinétique d'adsorption)

Pour définir le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de l'adsorption du CV sur les charbons actifs préparé, le protocole consiste à ajouter une masse de 50mg d'adsorbant à un volume de 100ml de chaque solution colorée de concentration initiale égale à 20 mg./L ,le mélange est introduit dans des erlenmeyers de 100 ml. Ces derniers sont mis dans un bain thermostat à température 30° C et sous une agitation moyenne. A la fin de chaque période d'agitation, que l'on fait varier de 10 minutes à 180 min, les échantillons sont filtrés puis analysés par UV-Visible à une longueur d'onde de 535nm. Le calcul des quantités adsorbées est effectués pour chaque temps de contant considéré.

4.6 Calcul des quantités adsorbées

La quantité du colorant adsorbée exprimée en mg de soluté par gramme de solide adsorbant est donnée par la relation suivante [41] :

$$Q_t = \frac{(c_i - c_e) \cdot V}{m} \quad (\text{III-1})$$

Q_t : La quantité de polluant adsorbé exprimée en mg/g ;

c_e : La concentration de polluant à l'équilibre exprimée en mg/L ;

c_i : La concentration initiale de polluant exprimée en mg/l ;

V : Le volume de solution exprimé en L et m : La masse d'adsorbant exprimée en g

$$A = \varepsilon lc \quad (\text{III-2})$$

- A : absorbance
- ε : le coefficient d'absorption molaire en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
- l : la largeur de cuve en cm et C : la concentration de la solution en mol/L

Les taux d'éliminations sont calculés par :

$$\mathbf{R(\%)} = \frac{(c_i - c_e)}{c_i} * 100 \quad (\text{III-3})$$

Chapitre IV

Résultats et discussion

5 Plan de Box-Behnken

Dans notre étude, nous avons utilisé le plan d'expérience de Behnken à trois facteurs, il conduit à de bons résultats avec un minimum d'expérience. La méthode dite, surface de réponse utilise un modèle mathématique du second degré (Eq.IV-1) [42].

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2 \tag{IV- 1}$$

Où

y : Réponse

x_i, x_j : Variables

a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} : Coefficients du polynôme

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

Le plan de Box-Behnken pour trois facteurs est illustré par la figure 8.

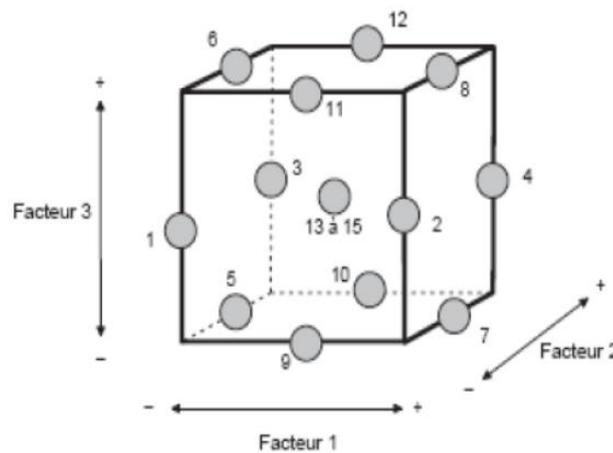


Figure 8 : Illustration du plan de Box-Behnken pour trois facteurs.

La distribution des points sur le cube, peuvent être représenté sur un tableau qui remplace chaque point de l'expérience par les niveaux des trois facteurs choisis. Dans le tableau qui suit, on exprime les 15 expériences représentatives du plan de Behnken.

Tableau 5: Matrice d'expérience de Box-Behnken pour 3 facteurs.

Essai N°	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

5.1 Modèle mathématique postulé

Le modèle mathématique postulé que l'on utilise, en général, avec le plan de Box-Behnken pour 3 facteurs est un modèle du second degré avec des interactions d'ordre deux qui est défini dans l'équation (IV- 1) précédente. Le développement de ce modèle nous permet d'écrire :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 \quad \text{(IV- 2)}$$

Avec :

- y : La réponse.
- x_1, x_2 et x_3 , représentent les niveaux (+1, 0 ou -1) des essais pour les facteurs 1, 2 et 3 respectivement.
- a_1, a_2 et a_3 : représentent les effets des facteurs 1, 2 et 3 respectivement.
- a_{12}, a_{13} et a_{23} : représentent l'interaction entre les facteurs 1 et 2, 1 et 3, et 2 et 3 respectivement.

- a_{11}, a_{22} et a_{33} : sont des coefficients quadratiques.

5.2 Résultats et discussions

5.2.1 Application du plan d'expériences

Nous avons pris comme facteurs d'entrée les facteurs suivants qui sont groupés dans le tableau suivant :

	Facteurs	Min	Max
X_1	Le PH	4	10
X_2	La masse	50	150
X_3	La température	20	40

Tous les autres paramètres sont maintenus constants lors des expériences.

Soit :

Le volume $V=100\text{ml}$

La vitesse d'agitation du bain marié

Le temps d'agitation 2h

La concentration de la solution $C V$

La réponse choisie dans cette étude sont la quantité de la matière et le rendement

5.2.2 Modélisation.

Notre objectif consiste à optimiser les paramètres considérés par la maximisation de la quantité de matière Q_t et le rendement R .

La matrice d'expériences de Box-Behnken et les résultats expérimentaux (réponses), obtenus lors de la réalisation des 15 essais, sont présentés dans le tableau 6.

Nous avons utilisé deux logiciels de calcul, Excel et Minitab pour déterminer les coefficients du modèle ainsi que les autres paramètres statistiques :

Tableau 6: Les essais et les réponses du plan box-Behnken.

Essai N°	PH	m	T	Q_t	R
----------	----	---	---	-------	---

1	-1	-1	0	56.24	70.3
2	1	-1	0	69.6	87
3	-1	1	0	14.2	53.5
4	1	1	0	13.44	50.4
5	-1	0	-1	36.86	92.05
6	1	0	-1	38.14	95.35
7	-1	0	1	38.96	97.4
8	1	0	1	37.62	94.05
9	0	-1	-1	73.08	91.35
10	0	1	-1	25	93.85
11	0	-1	1	58.48	73.1
12	0	1	1	22.48	84.3
13	0	0	0	28.8	72
14	0	0	0	30.2	75.5
15	0	0	0	29.6	74

5.2.2.1 Etude de la quantité de matière Q_t

i. Modèle mathématique

En remplaçant les différents coefficients dans l'équation du modèle appliqué (équation IV-1), nous avons obtenu l'équation mathématique suivante (IV-3) :

$$Q_t = 29,53 + 1,57 PH - 22,79 m - 1,94 T + 0,99 PH^2 + 7,85 m^2 + 7,38 T^2 - 3,53 PH * m - 0,66 PH * T + 3,02 m * T \quad (IV- 3)$$

La représentation des coefficients et leurs interactions obtenues, sont rapportées sur la figure 9.

Chapitre 4 : Résultats et discussion

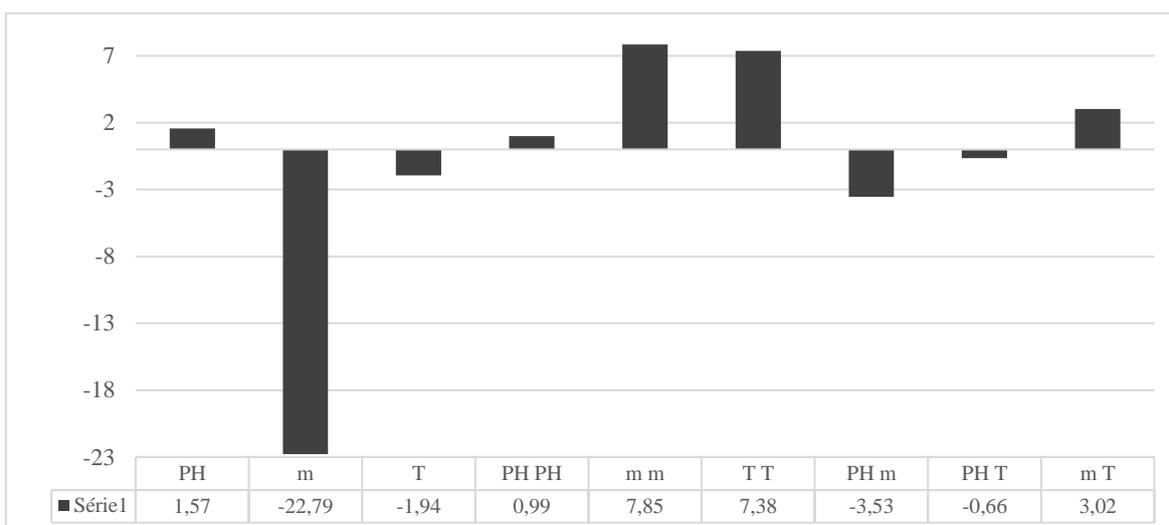


Figure 9 : Effet des facteurs principaux et leurs interactions

La figure 9 nous permet d'observer l'effet des facteurs étudiés sur les réponses. Les résultats obtenus montrent que la masse, la température et l'interaction masse/ PH influent négativement sur la réponse. La masse a la grande influence avec un coefficient de -22.8 suivi par l'interaction m/PH d'un coefficient de -3.5. Les autres coefficients influent positivement sur la quantité de matière. Les effets quadratiques de la masse et de la température prennent la première place avec des coefficients 7.8 et 7.4 respectivement, puis l'interaction m/T avec un coefficient de 3.

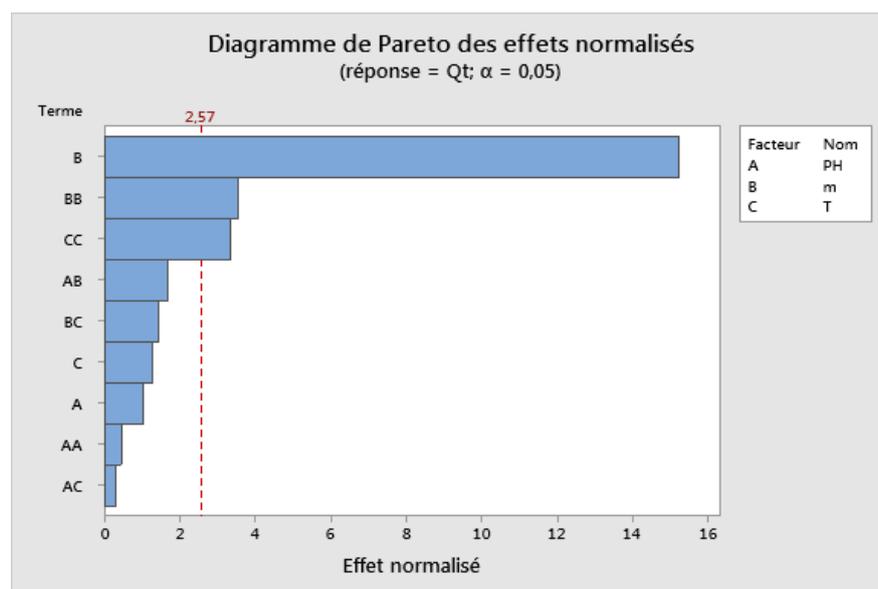


Figure 10 : Diagramme de Pareto des effets normalisés (réponse = Qt; $\alpha = 0,05$)

Cela est confirmé par la figure 10 qui représente le diagramme de Pareto des effets normalisés, on remarque clairement l'influence de la masse et les effets quadratiques de la masse et la température, les autres facteurs ont de très faibles influence ou ils sont négligeables

ii. Evaluation de l'adéquation du modèle statistique.

Pour faire une comparaison entre le modèle généré et les valeurs de l'expérience, nous avons tracé les résultats obtenus par le modèle en abscisse et les résultats de l'expérimentation sur l'ordonnée, le graphique de la figure 11 montre cette dépendance où on voit une distribution des points un allongée sur une droite. Un coefficient de détermination $R^2 = 0.98$ explique qu'il y a une relation linéaire entre les valeurs mesurées et les valeurs du modèle mathématique. Ce coefficient confirme la validité du modèle puisqu'il est très proche de 1.

Les valeurs du coefficient de détermination R^2 , et $R^2_{ajus} = 0.94$ sont proches de l'unité (1) ce qui veut dire que le modèle linéaire est justifié.

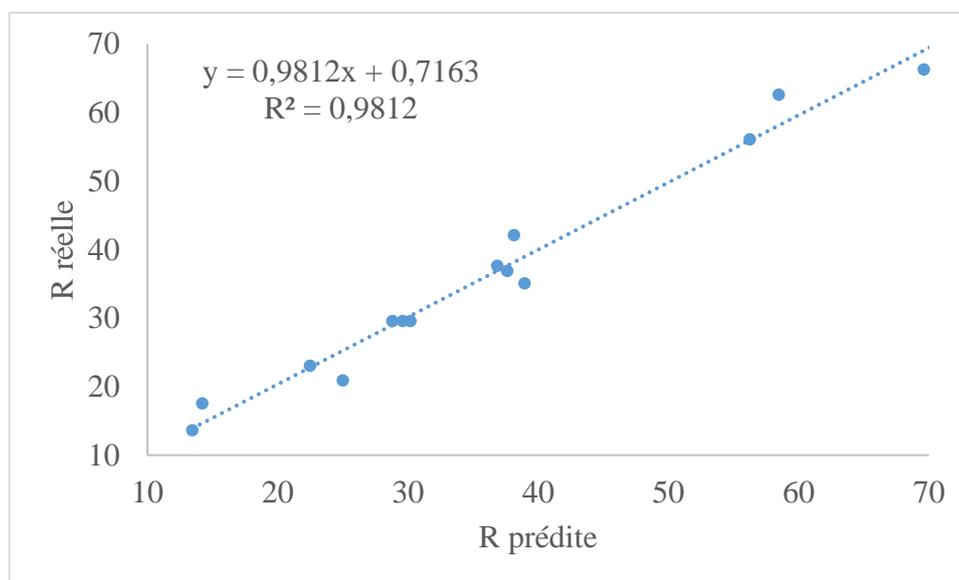


Figure 11 : Réponse mesurée en fonction de la repense prédite

Le diagramme de dispersion des résidus (figure 12), montre que le modèle est bien validé ; cette validité du modèle revient à la distribution des points sur le domaine. La totalité des

Chapitre 4 : Résultats et discussion

points sont proche de la ligne zéros, seulement quelques points expérimentaux tels que les expériences 10 et 11 ont une différence remarquable, cela peut être due aux erreurs de l'expérimentation.

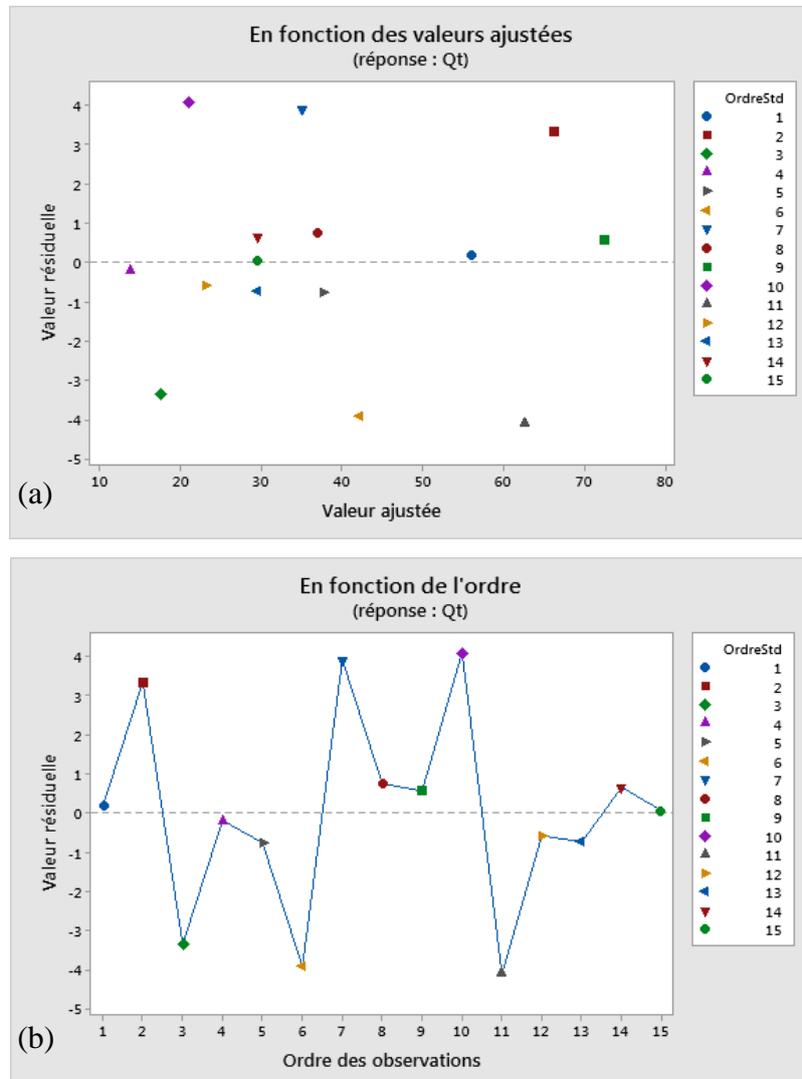


Figure 12 : Diagramme de dispersion des résidus

iii. Test d'ANOVA pour la justification du modèle

Hypothèse nulle H_0 : le modèle n'est pas adéquat

Hypothèse alternative H_1 : le modèle est accepté

Accepter H_0 implique que l'on conclut qu'il n'y a pas de relation globale entre les paramètres d'entrée et la sortie

Chapitre 4 : Résultats et discussion

Au contraire, rejeté H_0 implique que nous concluons que la variation des entrées (x_i) influence la variation de sortie y

Autrement dit :

- ✓ Si $F_{cal} > F_{crit}$ le modèle est considéré comme valide
- ✓ Sinon, le modèle est considéré comme non valide

Voici les données de l'ANOVA pour notre modèle

source de variation	SC	ddl	CM	F_0	$F_{0.05}$
modèle	4689,083	9	521,0093	29,05661	4,772466
résiduel	89,65417	5	17,93083		
total	4778,738	14			

Avec un seuil de signification de 5%, le modèle linéaire est justifié puisque nous avons trouvé

$$F_0 = 29,05661 > 4,7725$$

iv. Diagrammes des effets principaux

Le diagramme des effets principaux nous renseigne sur l'influence simultanée de tous les facteurs sur la quantité de matière adsorbé

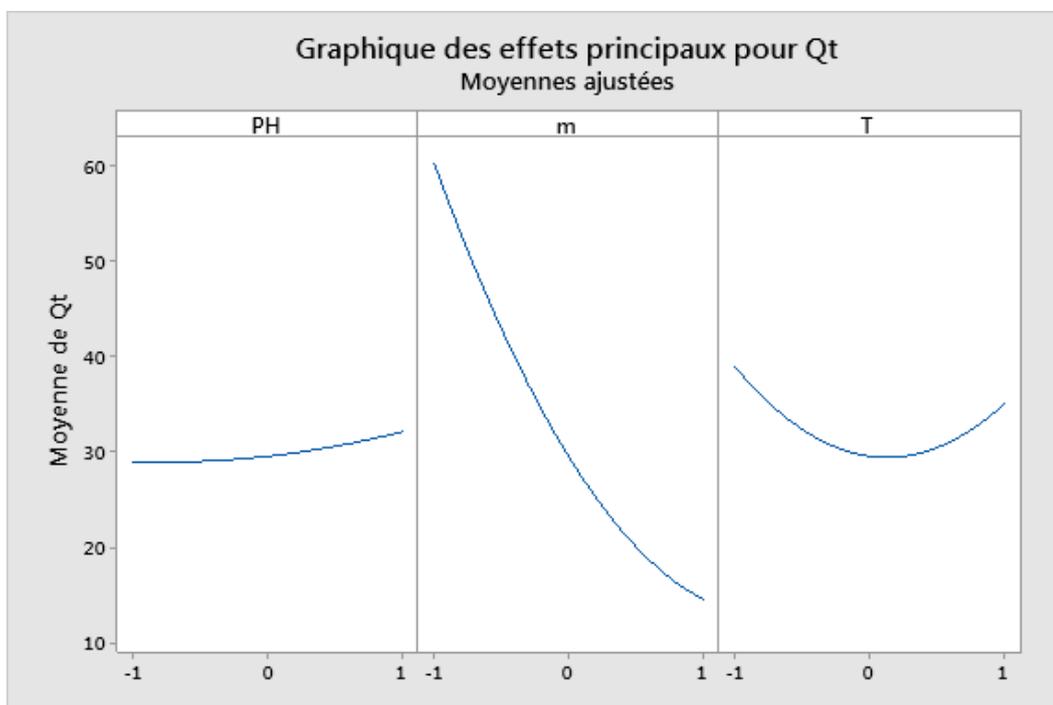


Figure 13 : Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière

D'après la figure 13 on remarque :

- l'augmentation du PH conduit à une augmentation de la quantité de matière, cette augmentation est très faible
- La masse a une grande influence sur Qt. La quantité de la matière est maximale pour une faible masse (niveau -1), puis elle diminue d'une façon rapide avec l'augmentation de la masse pour atteindre une valeur minimale pour la valeur maximale de la masse.
- L'augmentation de la température de 20 à 30°C, conduit à la diminution de Qt d'environ 40 à 30, puis la quantité de la matière augmente avec l'évolution de la température pour atteindre une valeur d'environ 35 pour la température maximale de 40°C.

v. Diagrammes des effets d'interactions des facteurs sur Qt

Les diagrammes des interactions (figure 14) sont généralement utilisés pour visualiser les interactions pendant une opération ANOVA, dans laquelle l'effet d'un facteur dépend du niveau d'un autre facteur.

Remarque Les diagrammes montrent que plus la différence de pente est grande entre les lignes, plus le degré d'interaction est élevé. Si les courbes sont parallèles indiquent l'absence d'interactions.

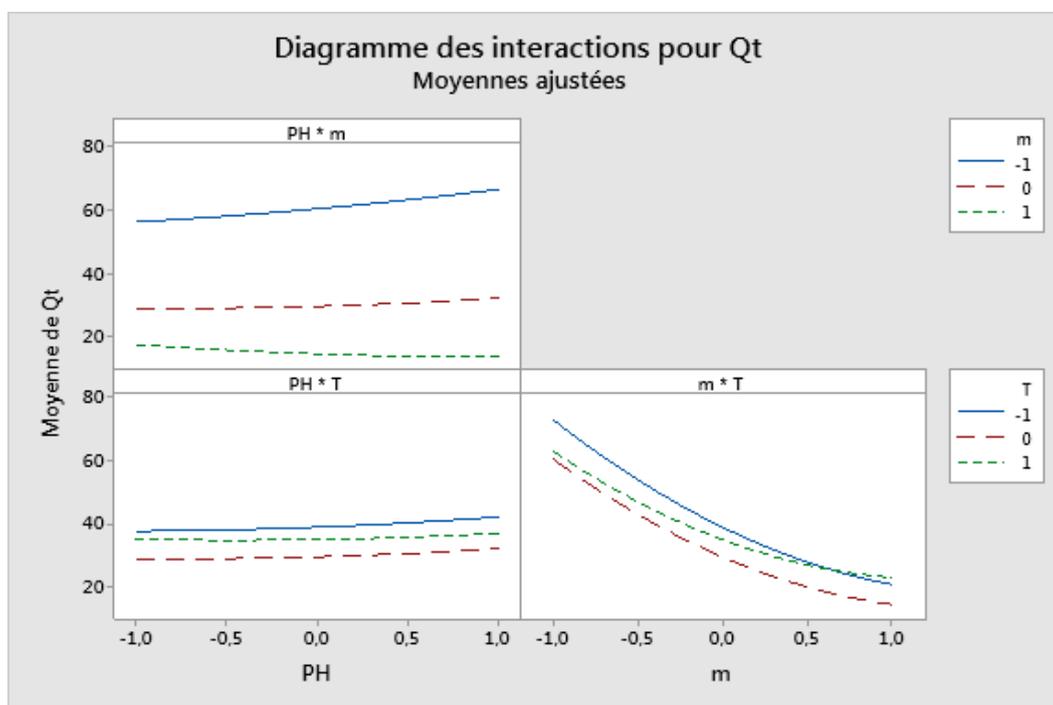
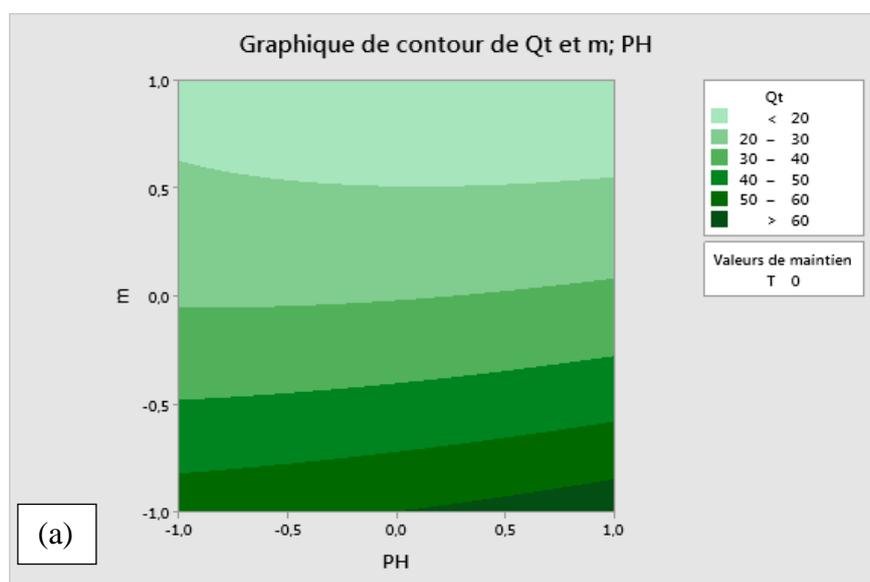


Figure 14 : Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière.

D'après cette figure, on remarque premièrement qu'il n'y a pas d'interaction entre les facteurs. On remarque aussi, que la masse a une grande influence (figure en haut), l'augmentation de la masse (du niveau -1 au niveau +1) est suivie par une diminution rapide de la quantité de matière de 60 à une valeur inférieure à 20. La variation du Ph a une très faible influence, mais l'augmentation de la masse avec l'évolution de la température conduit à une décroissance progressive de la quantité de matière.

vi. Les graphiques de contours et de surfaces

A partir du modèle mathématique validé et à l'aide du logiciel, on réalise graphiquement les contours 2D. Ces graphiques permettent de rechercher des solutions optimales plus désirables avec une meilleure précision possible. Cela nous permet d'examiner les résultats plus nettement. Les courbes de contour sont générées à l'aide du logiciel MINITAB 19 par la combinaison des trois facteurs induits. Nous avons choisi à chaque fois deux facteurs représentés sur les axes X et Y. La valeur de la réponse est représentée par une région ombragée dans la courbe de contour 2D.



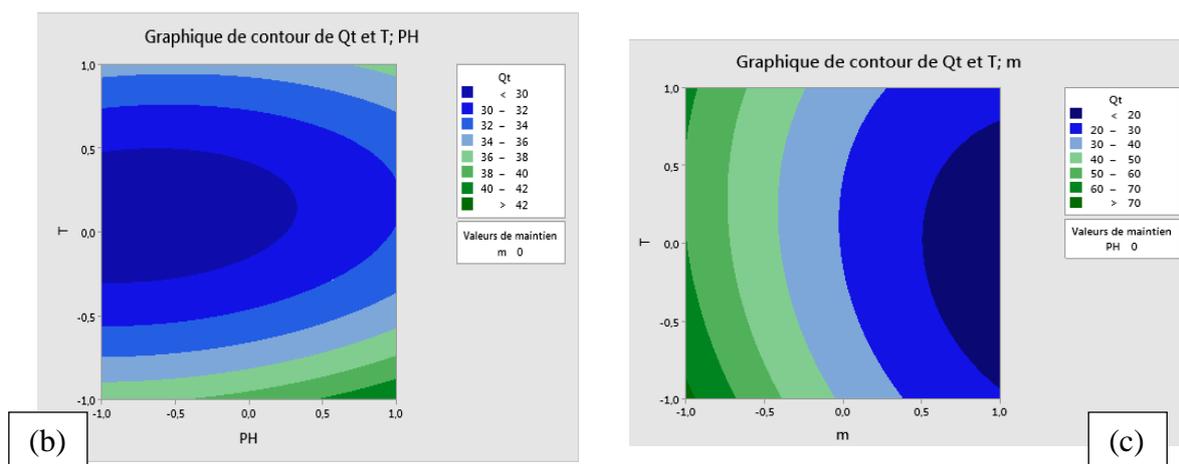


Figure 15 :Diagrammes de contours pour Q_t .

La figure 15 montre les graphiques de contours de la quantité de matière Q_t . La figure 15(a) présente l'influence de l'interaction pH/m sur la réponse, on remarque que la réponse est maximale au point d'indice (1, -1) c'est-à-dire pour la valeur maximale du PH et la valeur minimale de la masse, elle est supérieur à 60. L'augmentation de la masse conduit à une diminution rapide de Q_t ce qui est clair sur la figure (les zones de contours changent de couleurs et valeurs). Pour une masse moyenne Q_t est environ 40 puis elle diminue vers une valeur inférieur à 20 pour une masse maximale de 15 0mg.

Les figure b et c nous renseignent sur l'influence de l'interaction pH/T et m/T respectivement. Q_t est maximale pour le point (-1, -1) - figure (c)-, elle a une valeur supérieur à 70, puis elle diminue avec l'augmentation de m, la température n'a pas d'effet significatif, mais avec l'interaction du pH son influence est bien marquée.

Pour voir un peu plus de détaille on va explorer les diagrammes de surface dans le paragraphe suivant :

Pour avoir une idée très claire sur la distribution de la réponse R, une représentation de cette dernière en 3D est très intéressante. La figure 16 montre cette variation pour les différents facteurs, il est claire que la réponse est maximale aux points (-1) pour la masse et le long de la variation du PH dans la première figure, inversement, elle est minimale pour une valeur maximale de m.

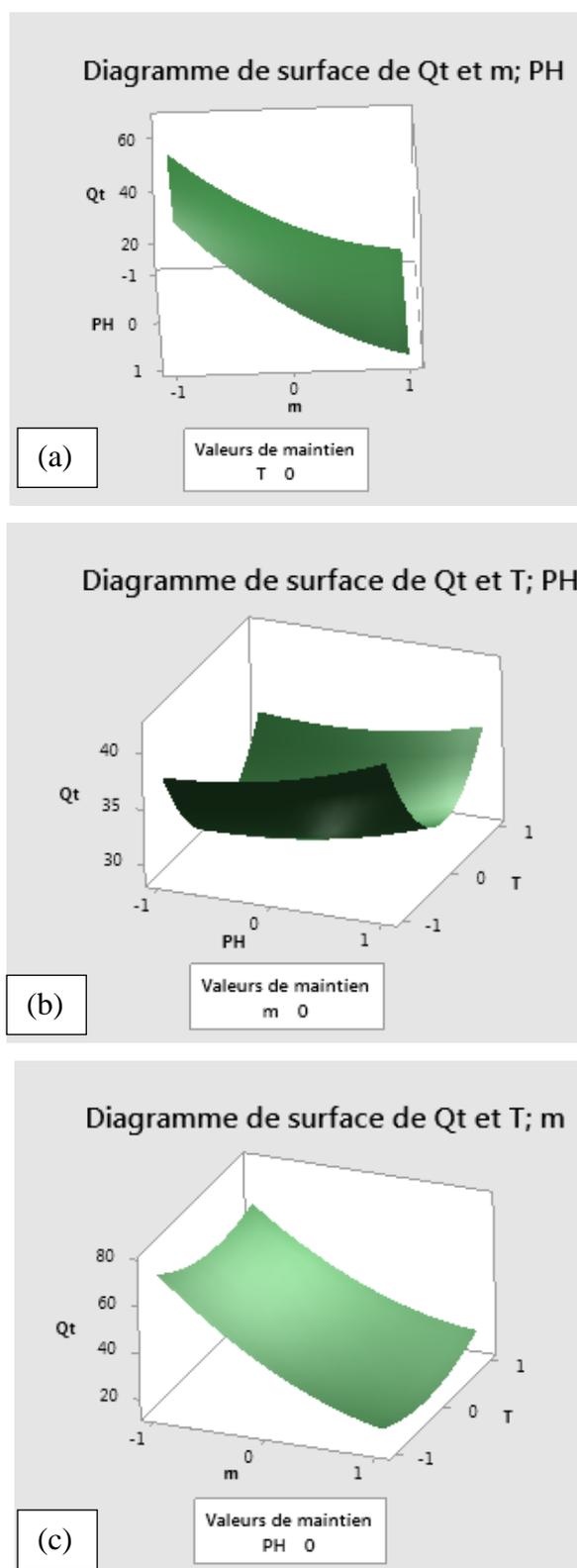


Figure 16 : Diagrammes de surface pour l'adsorption.

La forme courbée de la deuxième figure (b) nous montre qu'il y a une influence symétrique par rapport à la variation de la température, la quantité de matière diminue pour atteindre sa valeur minimale à T(0) puis elle augmente une autre fois. La figure (c) est similaire à la figure (a).

vii. Optimisation des paramètres qui minimise la réponse

Pour avoir les valeurs des trois facteurs utilisés dans le plan d'expérience qui maximise la réponse, nous avons utilisé le Minitab qui nous a donné le résultat suivant, ces données sont regroupées par la suite dans le tableau 7

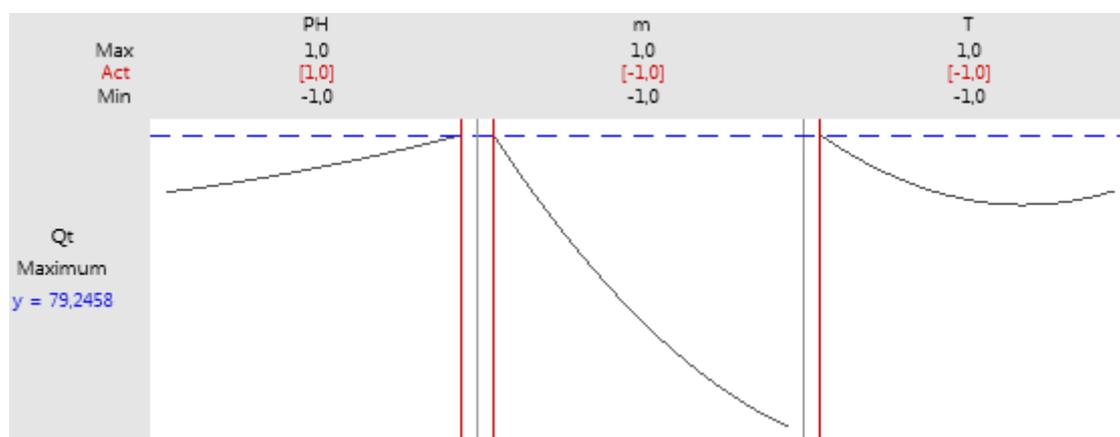


Figure 17: optimisation des facteurs.

Tableau 7: paramètre d'optimisation.

Essai N°	F1 (PH)	F2 (m)	F3 (T)
Indice	1	-1	-1
Valeur réelle	10	50	20

On attend par l'application de ces valeurs de facteurs une réponse d'environ 79. Après l'utilisation de ces trois facteurs dans une expérience supplémentaire nous avons trouvé une quantité de matière égale à 72, elle est très proche de celle estimée par le modèle. Et par conséquent on peut valider ce modèle mathématique.

5.2.3 Etude du rendement R

viii. Modèle mathématique

Chapitre 4 : Résultats et discussion

De la même manière, le rendement est caractérisé par l'équation quadratique suivante :

$$Q_t = 73,83 + 1,69 PH - 4,96 m - 2,97 T + 0,26 PH^2 - 8,80 m^2 + 20,61 T^2 - 4,95 PH * m - 1,66 PH * T + 2,18 m * T \quad (IV- 4)$$

La représentation des coefficients et leurs interactions obtenues, sont rapportées sur la figure 18

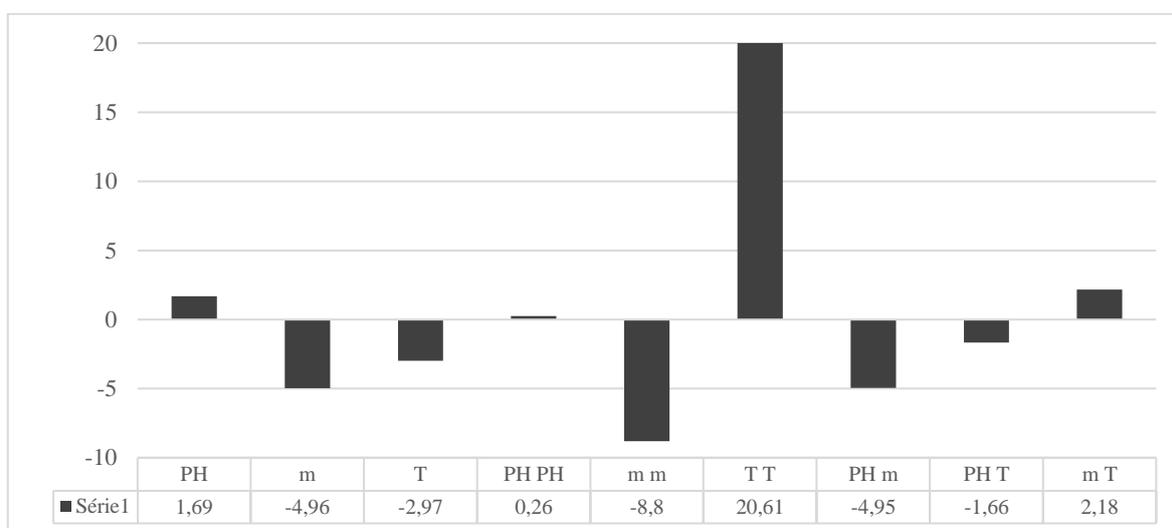


Figure 18 : Effet des facteurs principaux et leurs interactions

Cette figure nous permet d'observer l'effet des facteurs étudiés sur le rendement. Les résultats obtenus montrent que la majorité des coefficients influe négativement sur le rendement. En première position l'effet quadratique masse, avec un facteur (-8.8) suivie par la masse et l'interaction pH/m d'indice (-4.9), à la fin on trouve la température et l'interaction pH/T. l'effet quadratique de la température influe très positivement sur la réponse, avec un facteur très élevé (20), le pH et l'interaction m/T sont moins influents.

Cette constatation est vérifiée par le diagramme de Pareto des effets normalisés, seule l'effet quadratique de la température est significatif, les autres termes ne le sont pas.

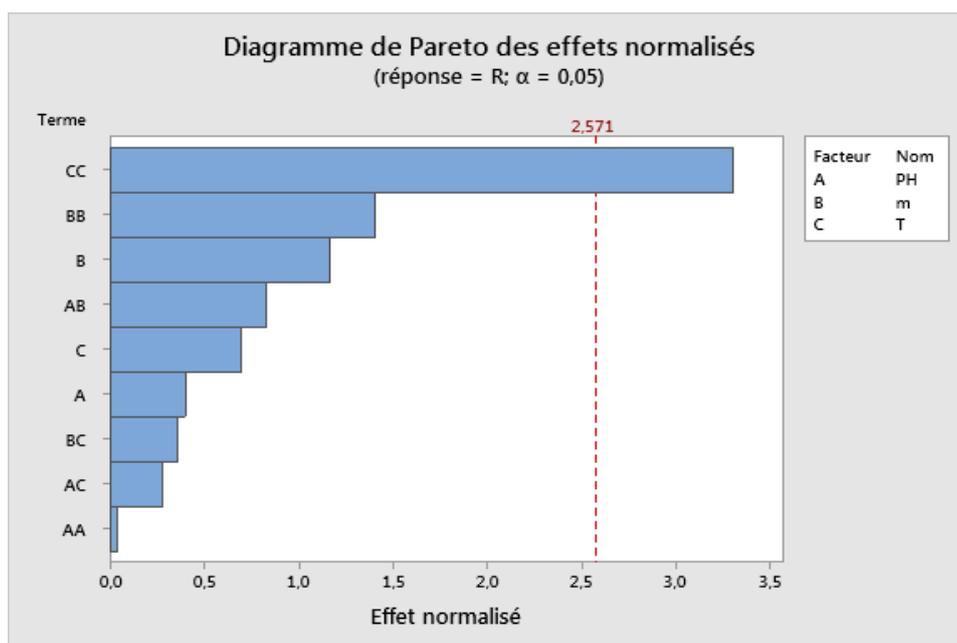


Figure 19 : Diagramme de Pareto des effets normalisés (réponse =R; $\alpha = 0,05$).

ix. Evaluation de l'adéquation du modèle statistique

Une méthode très simple pour avoir s'il y a dépendance entre le modèle mathématique et les données expérimentales, c'est la représentation graphique de l'un par rapport à l'autre. Le graphique de la figure 20 montre cette dépendance où on voit une distribution des points allongée sur une droite avec une certaine dispersion. Cette dispersion est justifiée par la valeur du coefficient de détermination $R^2 = 0.77$ explique qu'il y a une relation linéaire acceptable entre les valeurs mesurées et les valeurs du modèle mathématique.

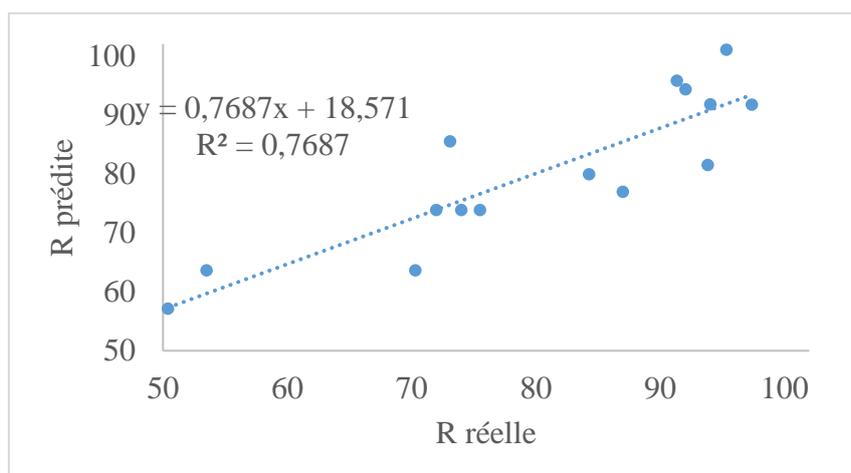


Figure 20 : Réponse prédite en fonction de la repense mesurée

Le diagramme de dispersion des résidus (figure 21), montre que le modèle est bien validé ; cette validité du modèle revient à la distribution des points sur le domaine. La totalité des points sont proche de la ligne zéros, seulement quelques points expérimentaux 2, 3, 10 et 11 ont une différence remarquable, cela peut être due aux erreurs de l'expérimentation.

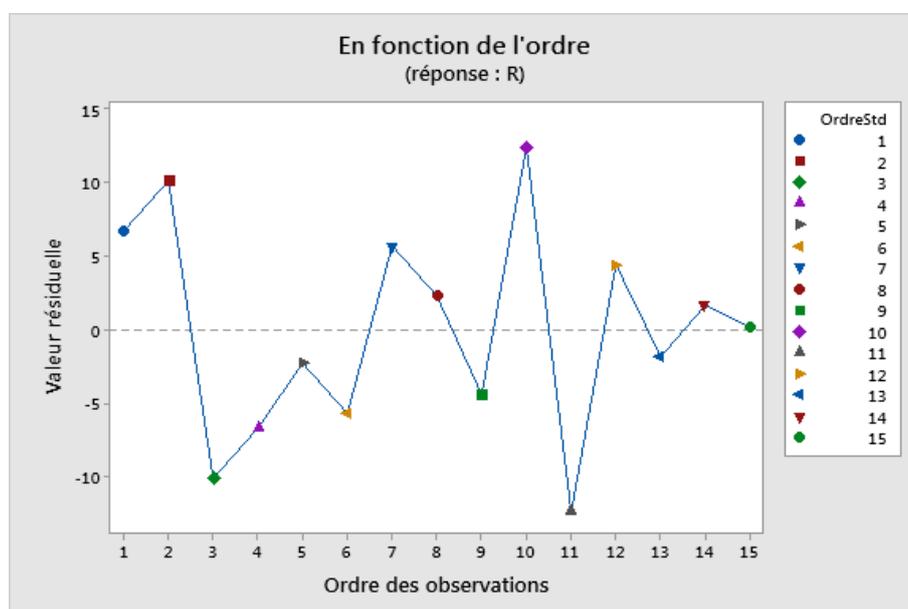


Figure 21; Diagramme de dispersion des résidus

x. Diagrammes des effets principaux

Le diagramme des effets principaux nous renseigne sur l'influence simultanée de tous les facteurs sur le rendement

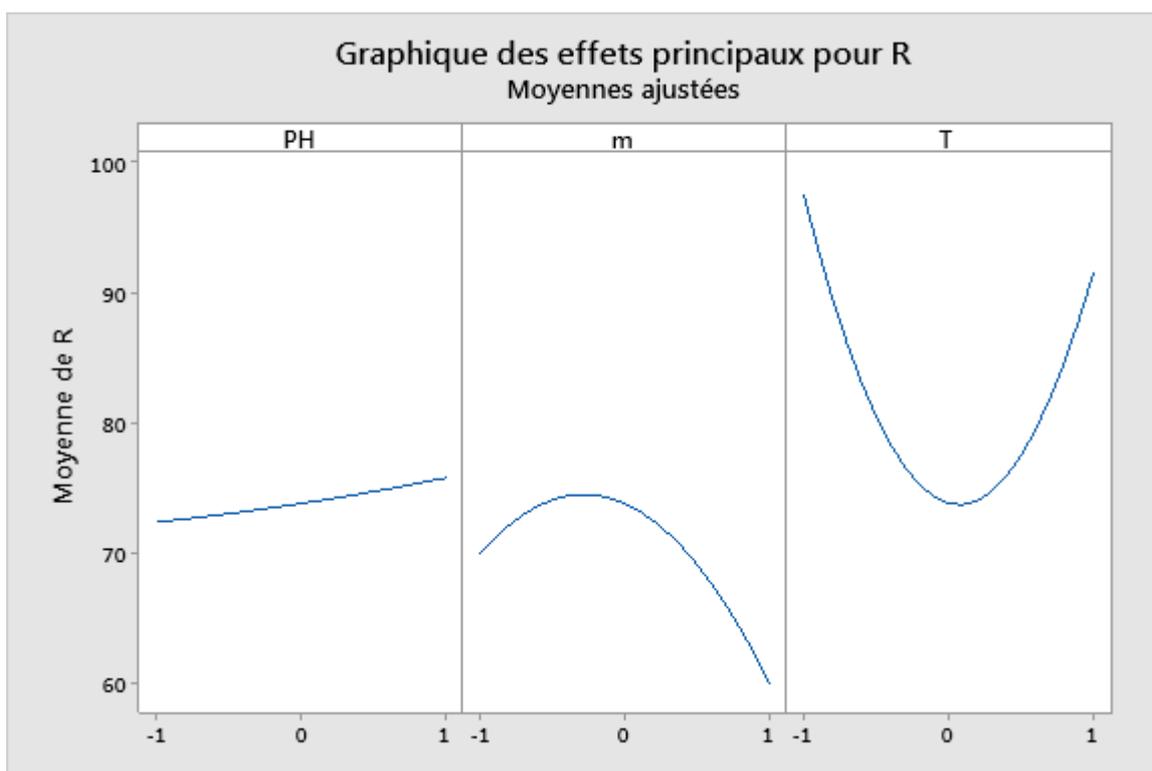


Figure 22 : Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière

D'après la figure 22 on remarque :

- l'augmentation du PH conduit à une augmentation du rendement, cette augmentation est très faible
- L'augmentation de la masse implique une augmentation de la réponse jusqu'à une valeur maximale d'environ 73 pour une masse au alentour de la moyenne, puis R diminue avec l'augmentation de m.
- La température a la plus grande influence, mais l'augmentation de la température conduit à la diminution du rendement 97 à 73 pour une température allant de 20 à 30°C. le rendement augmente par la suite avec l'augmentation de température

xi. Diagrammes des effets d'interactions des facteurs sur R

Les diagrammes des interactions sont regroupés dans la figure 23. Les courbes de la figure (bas-droite) sont parallèle donc pas d'interaction entre la température et la masse, le rendement est maximale pour Tmin et minimale pour T(0).

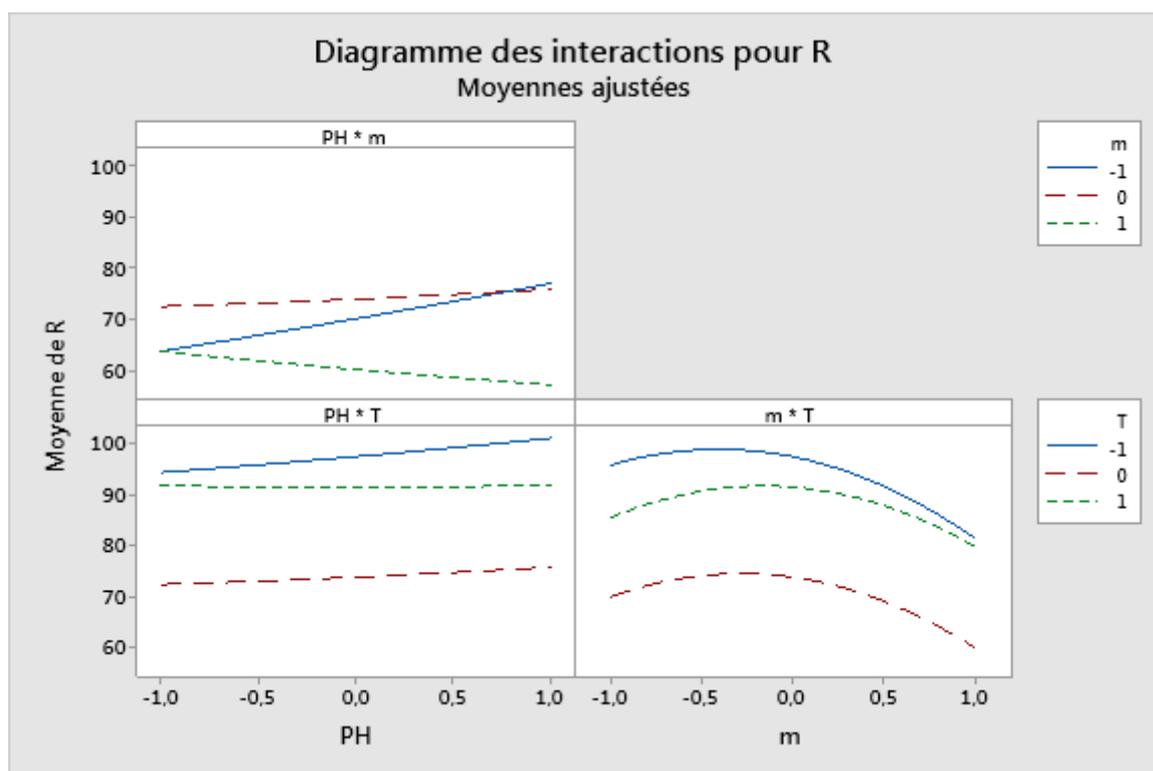


Figure 23 : Diagramme des effets principaux pour la quantité de matière

La même chose est remarquée pour l'interaction T/pH. L'interaction marquée pour m et pH est aux points limites du pH pour la valeur minimale de la masse (m).

xiii. Les graphiques de contours et de surfaces

A partir du modèle mathématique validé et à l'aide du logiciel Minitab, on a réalisé graphiquement les contours 2D et les diagrammes de surfaces. Ces graphiques visualisent la variation de la réponse en fonction des différents facteurs, elles prennent en considération les effets d'interactions. La figure 24 (a et b) représente le diagramme de contours par contre les figures figure 24 (c et d) présentent les graphiques de surfaces. La figure (a) est la projection de la figure (c) sur le plan (PH, m), le point maximale de la réponse correspond aux niveau (-1) pour m et (+1) pour pH, c'est-à-dire la plus faible valeur de la masse et la plus grande valeur du pH, on a un rendement supérieur à 76. Pour une valeur pH=4, le rendement augmente de sa faible valeur inférieur à 60 jusqu'à une valeur entre 72 et 76, cela est noté pour la valeur moyenne de la masse (100mg), puis le rendement diminue avec l'augmentation de la masse comme il est bien marqué sur la figure (c).

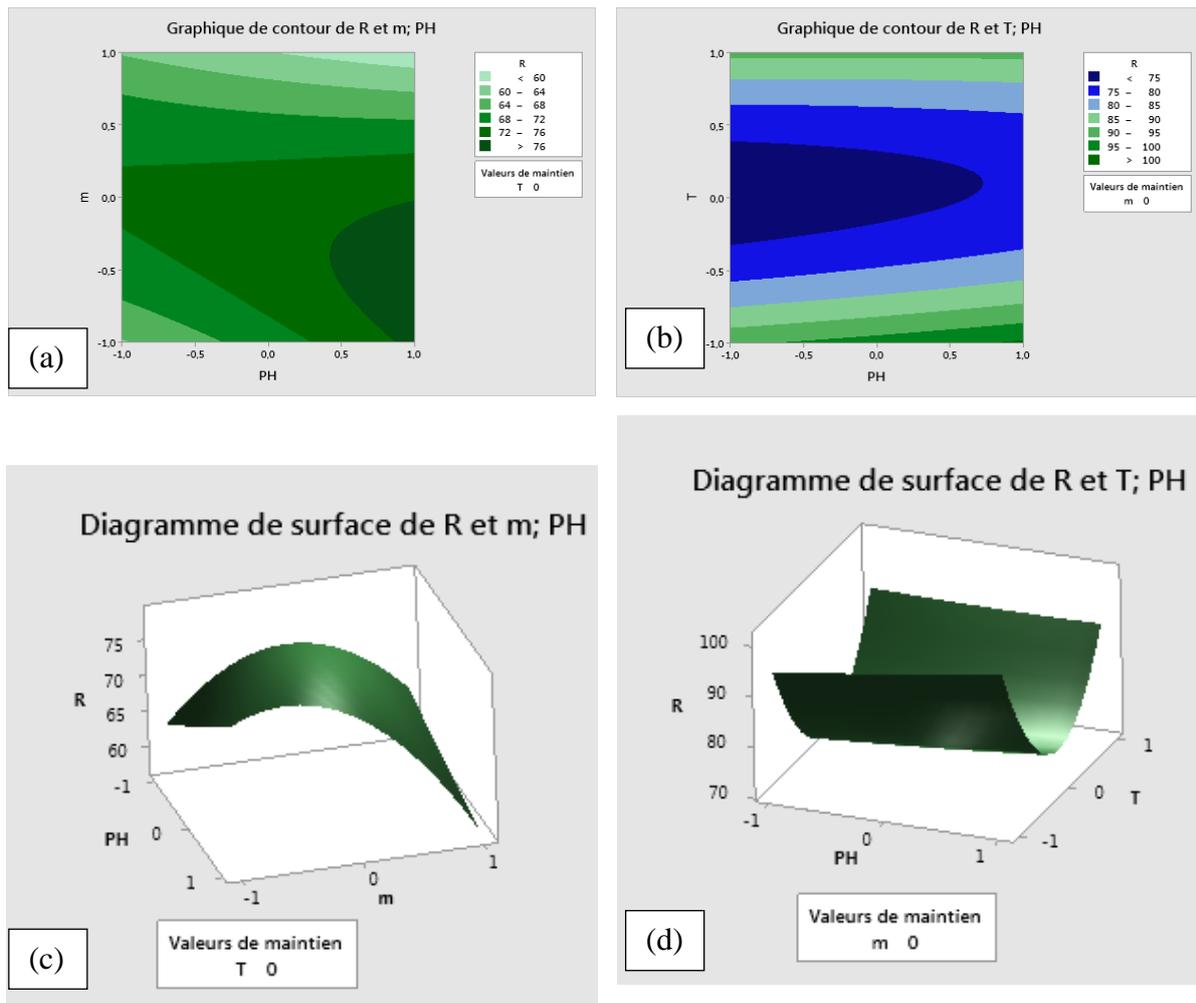


Figure 24; Diagrammes de contours et de surfaces pour R.

Le comportement inverse est remarqué pour l'interaction PH/T. le rendement diminue de sa valeur maximale pour T_{min}, il atteint une valeur minimale inférieure à 75 pour T(0) puis il augmente une autre fois et atteint une valeur supérieure à 95.

xiii. Optimisation des paramètres qui maximise la réponse

Pour avoir les valeurs des trois facteurs utilisés dans le plan d'expérience qui maximise la réponse, nous avons utilisé le Mini tab qui nous a donné le résultat suivant, ces données sont regroupées par la suite dans le tableau 8

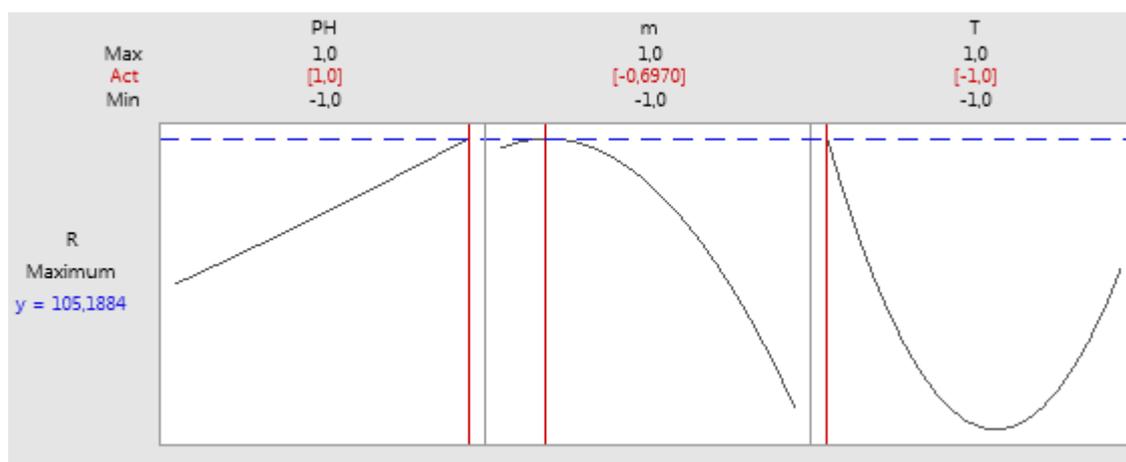


Figure 25 : Optimisation des facteurs

Tableau 8: paramètre d'optimisation.

Essai N°	F1 (PH)	F2 (m)	F3 (T)
Indice	1	-0.697	-1
Valeur réelle	10	-135	20

5.2.4 Effet de temps de contact

La cinétique d'adsorption de CV sur la surface de biochar (B700) s'effectuée à une température de 20°C l'expérience est réalisée dans le bain marie.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 26. D'après la courbe on remarque que le temps d'équilibre est atteint au bout de 10min. On remarque aussi que la quantité adsorbée est d'environ 68.02 (mg/g).

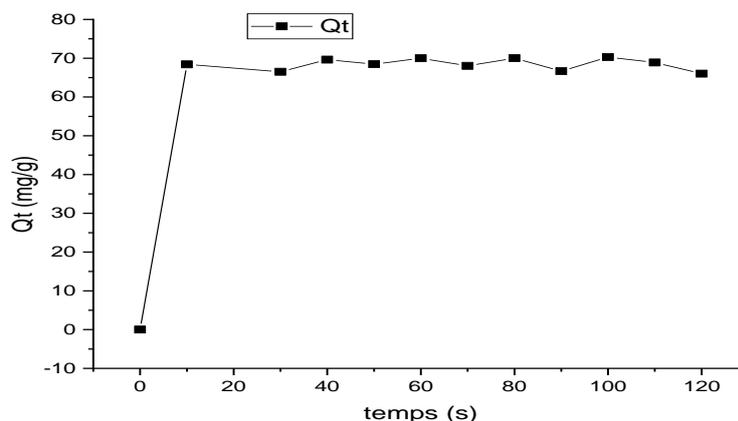


Figure 26 : Effet du temps de contact

5.2.5 Modélisation de la cinétique d’adsorption

Pour identifier le mécanisme qui contrôle la cinétique d’adsorption de CV sur le biochar, on utilise deux modèles qui sont les modèles de pseudo premier ordre et pseudo second ordre. D’après les résultats de la modélisation nous remarquons que le modèles de pseudo premier et second ordre présentent un facteur de corrélation élevé.

Les valeurs de la quantité adsorbée à l’équilibre trouvées dans ces deux modèles sont très proches à celles des quantités adsorbées expérimentalement avec un grand coefficient de corrélation R^2 tableau 9 donc on peut conclure que les deux peuvent le processus d’adsorption du CV par le B700

	paramètres	Unité	Valeur (non inear)	
			30°C	
	qe experimental		68.9	Standard error
Pseudo –premier -order model	qe	mg/g	68.76785	0.53024
	K1	l/min	0.53185	0.5521
			0.99227	
	R ²		0.99157	
Pseudo –second-order model	qe	mg/g	68.73962	0.60726
	K2	g/mg.min	2.03798E12	4.76999E23
			0.99225	
	R ²		0.99154	

Tableau 9 : Paramètres pertinents de la cinétique d’adsorption du colorant cristal violet sur biochar B-700

5.2.6 L'isotherme d'adsorption et modélisation des résultats

L'isotherme d'adsorption est utile pour décrire comment les solutés interagissent avec les adsorbants et très important d'évaluer la faisabilité du système adsorbat-adsorbant.

Les données isothermes expliquées par des équations théoriques ou empiriques fournissent des informations préliminaires de prédiction dans les étapes de modélisation souhaitées pour l'exploitation pratique.

Les isothermes d'adsorption de CV sur biochar (B700) sont présentées dans la figure 27

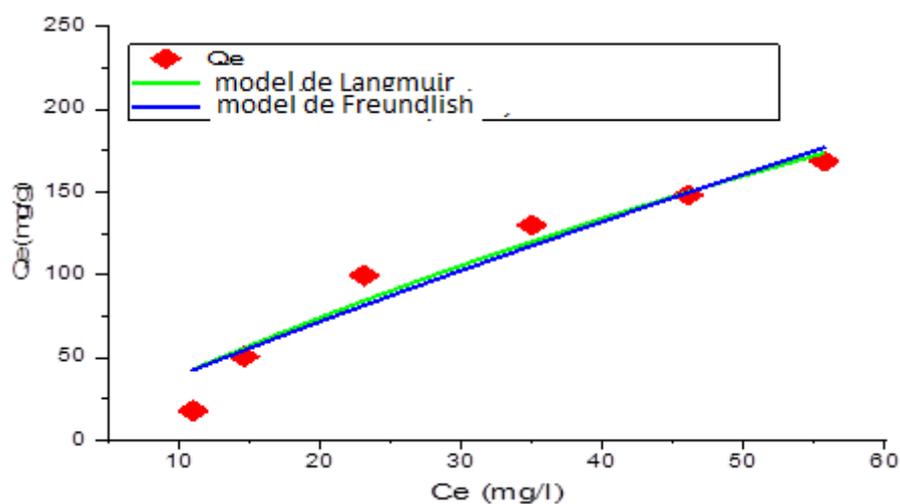


Figure 277 : Isotherme d'adsorption de CV par le Biochar (B-700), les modèles de Langmuir et de Freundlich

Les résultats obtenus est consigné dans le tableau 10 et la figure (27) représente le isotherme d'adsorption de CV sur le biochar (B700), que selon la classification de isotherme d'adsorption de Giles [42], le isotherme est de type L montrant une grande affinité entre le colorant examiné et le charbon actif à une capacité maximale d'adsorption de 268.85mg/g.

Chapitre 4 : Résultats et discussion

Equation model	paramètres	unit	Valeurs	
			30°C	Standard Error
Langmuir	Q_{max}	mg/g	268.85042	137.91886
	K_L	L/mg	0.02099	0.01939
	R^2		0.79419	
			0.74274	
Freundlich	K_F	$mg^{1-n} \cdot L^{1/n} \cdot g^{-1}$	5,12	3,00
	n		1.13	0.20
	R^2		0.93	

Tableau 10 : représente le isotherme d'adsorption de CV sur le B700,

Les isothermes de **type L** peuvent être expliquées par deux modèles théoriques fréquemment utilisés sont essayés à savoir les modèles de Langmuir et Freundlich ont été testés sur les résultats expérimentaux obtenus.

À partir des résultats obtenus, après la modélisation des isothermes d'adsorption (Langmuir, Freundlich), on observe que le modèle Freundlich est le modèle le plus favorable pour décrire l'isotherme d'adsorption du biochar (B700).

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude, un adsorbant B-700 efficace, respectueux de l'environnement et peu coûteux a été préparé à partir de coquilles de déchets agricoles pour traiter les eaux usées provenant de matières organiques dangereuses telles que le colorant Cristal Violet

Ce travail décrit la préparation d'un à partir s'une biomasse par pyrolyse à 700°C. Le rendement obtenu pour cette température est de 45%.

Le but essentiel de ce mémoire était de faire une étude sur l'influence de différents paramètres expérimentaux (le pH; la température et la masse du biochar) sur l'adsorption du cristal violet biocharbon B-700.

Nous avons utilisé le modèle dite box de Behnken à trois facteurs, c'est un modèle qui peut être représenter avec un polynôme du deuxième degré à partir de 15 expérience, on peut avoir des données qui seront analysées et traitées pour tirer des conclusions de la variation de la réponse avec l'évolution des facteurs et I interaction entre ces différentes paramètres Premièrement; notre modèle est peut être accepté avec certaine erreur du probablement à l'expérience $R=0$.

L'étude cinétique a montré que l'adsorption est rapide au début de processus d'adsorption qui est 68.9% B-700 à 10 minutes après 1 heure devient plus lent à cause de la saturation de la surface de l'adsorbant, qui est 76.15%, on a conclu que B-700 préfère les modèles pseudo second ordre et pseudo premier ordre à cause de la valeur de la quantité de la matière à l'équilibre Q_e et presque égale aux valeurs de la modélisation en plus le facteur de corrélation est toujours proche de 1.

Les données d'équilibre ont été analysées à l'aide de l'isotherme de Langmuir et de Freundlich. Les données expérimentales sur l'adsorption des colorants cristal violet sur B-700 ont suivi le modèle isotherme de Langmuir avec des capacités d'adsorption maximales de 268 mg/g à T-30°C, l'exposant n du modèle de Freundlich était compris entre Diet 1, ce qui favorise l'adsorption.

Enfin, ces travaux suggèrent que les déchets d'origine naturelle sont des adsorbants prometteurs et ont une plus grande efficacité pour éliminer les polluants des colorants cationiques et des eaux usées.

Conclusion générale

Perspectives de l'étude En perspectives de ce travail, nous proposons

-D'élargir l'étude à d'autres concentrations du polluant afin de déterminer les limites de ces types de biocharbon.

-D'envisager l'application de biocharbon pour éliminer d'autres polluants Inorganiques et organiques.

-De modifier les conditions d'activation des biocharbons préparés tel que la concentration d'agent activant et la température d'activation thermique.

Références bibliographiques

- [1] Hammami S. Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels. Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Est et Tunis El Manar, 12 Décembre (2008).
- [2] Didier Gaujous, 1999. La pollution des milieux aquatiques aide-mémoire (2ème éd.) revue et augmentée Relic. Paris.
- [3] 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 De Constantine Faculte Des Sciences De L'ingénieur Département De Chimie Industrielle, (2012),
- [4] Bechki, M. Kh. Préparation et caractérisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah- Ouargla, (2018).
- [5] N"guessan, J. K. Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD OX d'élimination de polluants organiques. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, (2010).
- [6] Dae Jung, K. Namgoo, K. Wang, G. Seoung, K. Isothermal adsorption equilibrium and dynamics of binary mixture gasoline constituent on honeycomb monoliths. Chemical Eng. Journal 137. (2008), 244-250p.
- [7] Chitour C. Physico-chimie des surfaces << l'adsorption gaz-solide et liquide solide >>, Tomes 2, office des publications Universitaires, Edition n°4556,09/2013
- [8] V. Lakshmikantha, A. Hiriyannagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, Et A. A. Anthony, « Iot Based Smart Water Quality Monitoring System », Glob. Transit. Proc., Vol. 2, N o 2, P. 181-186, Août 2021, Doi: 10.1016/J.Gltp.2021.08.62
- [9] Gaujous D., (1995). La pollution des milieux aquatiques ,aide –mémoire .2^e édition .11, rue Lavoisier. 200p
- [10]: BENCHABANE R., MERZOUG N ., (2015) CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE ET PHYTOPLANCTONIQUE DE L'EAU DU MARAIS DE BOUSSEDRA EL BOUNI) Mémoire de Master. Université 8 MAI 1945 GUELMA
- [11] Mohemmed Yahiaoui. A. Traiki. C ., (2021) (Elimination d'un colorant par adsorption sur l'amido) Mémoire de Master. Université é Mohamed El Bachir El Ibrahimy de Bordj Bou Arréridj.
- [12] I. BOUNOUR, << Modélisation des isothermes d'adsorption dans le cas de : phénol et de bleu de méthyle sur le charbon actif en grain >>, Mémoire d'ingénieur d'état, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, 2009.
- [13] Dali- Youcef Z, Bouabdasselem H, Bettahar N, << Elimination des composés organique par des argiles locales >>, C .R. Chimie .9, 2006 ,57-71

- [14]ARAR .S ,adsorption du colorant jaune d'alizarine sur différents biomatériaux, mémoire de master, université larbi ben M'hidioum el bouaghi , 2015/2016.
- [15]M. Y. A. T. Chaima, « Elimination d'un colorant par adsorption sur l'amidon », Thesis, Faculté des Sciences et Technologies, 2021. Consulté le: 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/1190>
- [17]].N. Bouaniba, Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants: Impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de TiO₂, thèse de doctorat, université costantine 1, 2014.
- [18].A. Adak, M. Bandyopadhyay, Pal, A., 2005. Removal of crystal violet dye from waste water by surfactant-modified alumina. Sep. Purif. Technol.
- [19]Y.M.Slokar et A. Majcen le Marechal,(Methods of decoloration of textile wastewaters),Dyes Pigments,vol.37,n4 ,p.335-356,mai1998,doi :10.1016/S0143-7208(97)00075-2.
- [20]O. Joseph. Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitementparbiosorption d'effluents pollués, Thèse doctorat, chimie de Lyon (2009).
- [21]F.Benamraoui,(élimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture) ,Thesis ,2018 consulté le :24 mai 2022. (En ligne). Disponibles sur :http :lldspace.univ-setif .dz :8888/jspui/handle/123456789/1871
- [22]BLAZYP J (1994). Métallurgie du plomb Procédés modernes et sources secondaires, Techniques de l'ingénieur V.J2. J.2730. 5.
- [23]Ramade F (2000). Dictionnaire encyclopédique des pollutions", Editions Ediscience International, Paris,pp110
- [24]Boulkrah H. Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants, Mémoire de Magister, l'université du 20 août 1955-Skikda, 2008.
- [25]OUSLIMANI N (2012). Adsorption des colorants acides des effluents manufacturiers par des montmorillonites. Thèse de doctorat en sciences et génie des matériaux, option chimie de la matière et de l'environnement, université de BOUMERDES, pp: 24-25
- [26]DJEMAH.A OUADIMERABET.L(2016) (valorisation des déchets des épluchures de pomme de terre pour l'élimination de bleu de méthylène) Mémoire Master. Université A.M. OULHADJ. Faculté des Sciences et des science appliquées
- [27]AARFANE A, SALHI A. EL KRATI M, TAHIRI S. MONKADEM, LHADI EK,BENSITELM (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.J. Mater. Environ. Sci. 5 (6):1927-1939
- [28] BOULKRAH H (2008). Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants. Mémoire de magister en chimie, option pollution chimique et environnement, université de SKIKDA. pp: 51-53.

[29]FAYOUD N, ALAMI YOUNSSI S, TAHIRI S ALBIZANE A (2015). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (11): 3295-3306.

[30]SEDIRA N (2013). Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes. Mémoire de magister en chimie physique et analytique, option environnement et traitement des eaux, université de SOUK- AHRAS, pp: 37-39..

[31]N. J. Krou, << Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques », phd, 2010. Consulté le: 24 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001145/>

[32]AKSAS H (2013). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels. Thèse de doctorat en génie des procédés, option génie de l'environnement, université de BOUMERDES, pp 23, 24, 93,120.

[33]N. Nordine et Z. Encadreur: BENGHAREZ, << Etude expérimentale du potentiel d'adsorption de polluants métalliques sur la sciure de bois brute et modifiée. Analyse cinétique et thermodynamique. », Thesis, 2018. Consulté le: 20 avril 2022. [En ligne]. Disponible sur :<http://rdoc.univ-sba.dz:8080/jspui/handle/123456789/2177>

[34]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.

[35]SchrotterJ-C.Daines C. Bozkaya B. Elimination de la matière organique dans les concentras membranaires, Anjou Recherche Chemin de la Digue-BP76,2008.

[36]Djelloul A. Etudier de modéliser la sorption d'un colorant basique, le bleu de méthylène (BM). Thèse de Magister.

[37]L. Jinyan, << ETUDE COMPARATIVE SUR LES CHARBONS ACTIFS », p. 4-5-6, 2005.

[38]N. J. Krou, << Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques », phd, 2010. Consulté le: 24 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001145/>

[39]Ho YS, McKay G (1998). Kinetic model for lead (II) sorption onto peat. *Ads Sci Technol*; 16:943-55.

[40]Benarima A., Kouadri M R. (2017), Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de coquilles d'œufs, Mémoire de master académique en en Génie chimique, Université KasdiMerbah Ouargla, Algérie

[41] Goupy, J., (2006). Les Plans d'expériences. Edition : Revue MODULAD, 12-14

[42] A. Al-Sharify et Z. Athab, « Evaluation of the potential of using Attapulgitic clay as adsorbent for removal of P-chloroaniline (PCA) from aqueous solutions », *Journal of University of Babylon*, vol. 22, n° 1, 2012.

Résumé

L'objectif de notre travail est l'étude de l'adsorption d'un colorant organique (cristal violet) sur le biochar d'origine végétal (les coquilles d'arbres). Les résultats des essais d'adsorption ont montré une grande efficacité des adsorbants préparés pour éliminer jusqu'à 89% de colorant . Les cinétiques d'adsorption du cristal violet sur les biochar (B700) préparé suivent le deux modèle du pseudo premier et second ordre. Le modèle de Freundlich décrit au mieux les isothermes d'adsorption .

Our objective is to study the adsorption of an organic dye (crystal violet) onto plant-origin biochar (tree bark shells). The adsorption experiments demonstrated high efficiency of the prepared adsorbents, capable of removing up to 89% of the dye. The adsorption kinetics of crystal violet onto the biochar (B700) followed both pseudo-first-order and pseudo-second-order models. The Freundlich model best describes the adsorption isotherms.

هدفنا هو دراسة امتزاز صبغة عضوية (الكريستال الارجواني) على البيوكاربون (الفحم الحيوي) المستخلص من النباتات (قشور أشجار). أظهرت تجارب الامتزاز كفاءة عالية للمواد الامتزازية المحضرة، حيث تمتلك القدرة على إزالة تصل إلى 89% من الصبغة. كما أن حركيات الامتزاز للبلو البلوري على البيوكاربون (B700) تتبع كلا من نموذج الأمر الأول الزائف والثاني الزائف. يصف نموذج بشكل أفضل الإيزوثيرمات الامتزازية Freundlich