



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



N° d'ordre : M2...../GPE/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Des Procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

Thème

**Etude de la fixation des colorants issus de l'industrie textile par un
charbon actif préparé**

Présenté par :

1. ZITOUNI Fatima Zohra
2. BENCHAA Zahira

Soutenu le 02/07/ 2019 devant le jury composé de :

Président : MAHREZ Nouria	MCB	Université de Mostaganem
Examineur : DELALI Halima	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur : DOUARA Nadia	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018 / 2019

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été effectué au Laboratoire de Structure, Application et Elaboration des Matériaux Moléculaires (SEA2M) de l'Université de Mostaganem.

Nous tiens à remercier M^{me} N.DOUARA d'avoir consacré une partie de son temps à la direction de ce travail ainsi que pour ces encouragements qu'elle n'a cessé de nous prodiguer, et pour tous les efforts fournis pour la concrétisation de cet ouvrage.

Nous sommes aussi très reconnaissante à M^{me} N.MAHREZ , Maître de conférences à l'Université de Mostaganem pour avoir accepté de présider le jury.

Nous remercions M^{elle} H.DALELI, Maître de assistant à l'Université de Mostaganem pour avoir accepté d'évaluer ce travail en tant qu'examinatrice.

Nous tiens à remercier M^{me} Z.MEKIBES , Mr M. BENZEKRI BENALLOU pour ses orientations, ses conseils judicieux et pour les encouragements qu'il n'a cessé de nous prodiguer .

Dédicace

Ce travail est dédié à :

Mon cher père Mohamed

Décédé trop tôt, qui m'a poussé et motivé dans mes études, j'espère que du monde qui est sien maintenant il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

Ma très chère mère

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

*A ma chère sœur Khaoula Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, A mes chers frères, Pour leur appui et leur encouragement, **Spéciale dédicace à mon mari**, Pour son soutien, ses conseils, sa tolérance, sa patience et sa confiance envers moi. A mes meilleures Amies Fatima ,Nadjat ,Hakima et tout mes Amies, Je te remercie pour ton soutien continu.*

*En fin, je remercie mon binôme **BENCHAA zahira** qui a Contribué à la réalisation de ce modeste travail .*

Fatima zohra

Ce travail est dédié à :

Mon cher père Mohamed

Décédé trop tôt, qui m'a poussé et motivé dans mes études, j'espère que du monde qui est sien maintenant il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

Ma très chère mère

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A chère sœur Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral ,
A mes chers frères, Pour leur appui et leur encouragement, ***Spéciale dédicace à monami mekki*** , Pour son soutien, ses conseils, sa tolérance, sa patience et sa confiance envers moi. A mes meilleures Amies Fatima ,Nadjat , Hakima et tout mes Amies , Je te remercie pour ton soutien continu.

*En fin, je remercie mon binôme **ZITOUNI fatima zohra** qui a Contribué à la réalisation de ce modeste travail .*

BENCHAA ZAHIRA

SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Adsorption	
I.1. Généralité sur l'adsorption.....	03
I.2.Définition	03
I.3.Différents types d'adsorption	03
I.3.1.Adsorption chimique	03
I.3.2.Adsorption physique	03
I.4.Paramètres d'adsorption physique et chimique	04
I.5.Facteurs influençant l'adsorption.....	04
I.5.1.Concentration.....	05
I.5.2.Vitesse d'adsorption.....	05
I.5.3.Nature de l'adsorption.....	05
I.5.4.Température.....	05
I.6. Modèles cinétiques	05
I.6.1 Modèle de pseudo premier ordre	05
I.6.2.Modèle cinétique du second ordre	06
I.7.Etude des paramètres thermodynamiques	06
I.7.1.Coefficient de distribution.....	06
I.8.Modèles d'isothermes d'adsorption	07
I.8.1.Isotherme de Langmuir	08
I.8.2.Isotherme de Freundlich.....	09
Chapitre II : Charbon actif	
II.1. charbon actif	10
II.2. Origine et Préparation	11
II.2.1. Carbonisation	11
II.2.2. Activation physique	11
II.2.3. Activation chimique	12
II.3.Classification	12
II.3.1. Charbon actif en poudre	12
II.3.1.1. Utilisation du charbon actif en poudre	13
II.3.1.2. Avantages du charbon actif en poudre	13

SOMMAIRE

II.3.1.3. Inconvénients du charbon actif en poudre	13
II.3.2. Charbons actifs en grains.....	13
II.3.2.1. Utilisation du charbon actif granulé	14
II.3.2.2. Avantages du charbon actif granulé	14
II.3.2.3 Inconvénients du charbon actif granulé	15
Chapitre III : Partie expérimentale	
III.1.Préparation de l'absorbant	16
III.2.Caractérisation de l'adsorbant	17
III.2.1. Indice d'iode	17
III.2.1.1. Définition	17
III.2.1.2. Méthode iodométrique	17
III.2.1.3. Préparation des solutions	17
III.2.1.4. Détermination de l'indice d'iode	18
III.2.2. Indice Bleu de Méthylène	19
III.4.Choix des molécules étudiées.....	20
III.4.1.Caractéristiques des colorants	20
III.4.1.1.Colorant Rhodamine B	20
III.5.Dosage par spectrophotométrie	21
III.5.1.Loi d'adsorption	21
III.5.2.Loi de BEER LAMBERT.....	21
III.5.3.Détermination de courbe d'étalonnage	22
III.5.3.1.Préparation des solution mère (SM)	22
III.5.3.2. Préparation des solution filles	22
III.5.3.3.Etablissement de la courbe d'étalonnage	23
III.6.Application à l'adsorption du colorant Rhodamine B (RhB)	24
III.6.1. Détermination du temps d'équilibre	24
III.6.2.Etude de l' effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption	26
III.6.3. L'effet du pH de la solution sur l'adsorption du RhB.....	27
III.6.4.Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du RhB.....	29
III.6.5. Isotherme d'adsorption du RhB.....	32
III.6.6. Cinétique d'adsorption de RhB.....	35
III.7. Application à l'adsorption du colorant Rouge Bened (RB).....	38

SOMMAIRE

III.7.1. Détermination de la courbe d'étalonnage.....	39
III.7.1.1. Préparation de la solution mère (SM).....	39
III.7.1.2. Préparation des solutions filles.....	39
III.7.1.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage.....	39
III.7.2. Détermination du temps d'équilibre.....	40
III.7.3. Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption.....	41
III.7.4. Effet du pH sur l'adsorption du Rouge bened.....	42
III.7.5. Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du RB.....	44
III.7.6. Isotherme d'adsorption du Rouge bened.....	46
III.7.7. Cinétique d'adsorption du RB.....	49
Conclusion... ..	53
Références bibliographiques	
Liste des abréviation et symboles	

Introduction Générale

La pollution des eaux et des sols, accidentellement ou volontairement, par certains produits chimiques d'origine industrielle (hydrocarbures, phénols, colorants...) ou agricole (pesticides, engrais,...) constitue une source de dégradation de l'environnement et suscite à l'heure actuelle un intérêt particulier à l'échelle internationale.

L'eau est un élément vital pour l'être humain. Il est important de l'avoir en quantité suffisante et en qualité garantissant une vie saine, durable et sans danger à long terme [1].

Les produits chimiques en général ont une certaine toxicité, sont considérés comme des micropolluants cancérigènes et dangereux même lorsqu'ils existent sous forme de traces.

L'élimination de ces polluants à partir des rejets industriels est très souvent réalisée par des traitements chimiques classiques tels que : la coagulation-floculation, l'électrocoagulation entre autres, ces méthodes de traitement se sont révélées efficaces, mais dans la plupart des cas, très onéreux.

Le traitement par la technique d'adsorption est plus utilisé pour son efficacité dans l'abattement des micropolluants organiques, en mettant en jeu des interactions solide liquide. Les recherches se sont alors orientées vers les procédés de traitement utilisant les matériaux naturels tels que les matières agricoles (sciures de bois, déchets agricoles, charbons actifs...), l'alumine activée, certaines résines macromoléculaires mais surtout les argiles en raison de leur disponibilité et de leurs faibles coûts.

L'application du charbon actif en poudre ou en grains dans le domaine de traitement des eaux a commencé à se développer après la seconde guerre mondiale. Utilisé initialement durant la première moitié du siècle pour assurer la décoloration des eaux, le charbon actif a ensuite été Actuellement, il est mis en ouvre dans de Les recherches se sont alors orientées vers les procédés de traitement utilisant les matériaux naturels tels que les matières agricoles (sciures de bois, déchets agricoles ,charbons actifs...), l'alumine activée, certaines résines macromoléculaires mais surtout les argiles en raison de leur disponibilité et de leurs faibles coûts.

L'objectif de cette étude est de valoriser un déchet végétal existant sur le territoire national en vue de l'élimination des polluants organique tel que le Rouge Bened et le Rhdamine B.

Introduction Générale

Ce mémoire comprend deux parties :

Une recherche bibliographique contenant des rappels sur l'adsorption et les adsorbants.

Une partie expérimentale, dans laquelle on étudie l'effet de paramètres influençant l'adsorption tels que, la température, le pH, la dose et le temps de contact ainsi que la caractérisation du charbon actif préparé et une application concernant l'adsorption des deux colorants étudiés et enfin une étude cinétique de l'adsorption effectuée sur les polluants choisis.

Chapitre I :
Adsorption

I.1. Généralités sur l'adsorption

L'adsorption à interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans des effluents liquides ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbat. Ce phénomène spontané provient de l'existence à la surface du solide de forces non composées, qui sont de nature physique ou chimique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption : la chimisorption et la physisorption [2,3].

I.2. Définition

L'adsorption est un processus exothermique qui se produit donc avec un dégagement de chaleur, ce qui peut conduire à un échauffement du solide et à une réduction des quantités adsorbées. Les variations de température sont souvent importantes dans les procédés industriels d'adsorption et peuvent constituer un des principaux facteurs de la dégradation de performances. L'exothermicité d'un système d'adsorption est caractérisée par les chaleurs d'adsorption qui peuvent être mesurées par des techniques calorimétriques ou estimées à partir des isothermes d'adsorption à différentes températures [4].

I. 3. Différent types d'adsorption

I.3.1. Adsorption chimique (ou chimisorption)

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant.

La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules sont directement liées au solide [5]. La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol[6].

I.3.2. Adsorption physique (ou physisorption)

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol [5].

Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison

hydrogène ou Van der Waals (La liaison physique est plus faible) [7]. La physisorption est rapide et réversible.

I.4 .Paramètres d'adsorption physique et chimique

Tableau I.1. Critères de distinction entre l'adsorption physique et chimique [8].

Paramètres	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption	Quelque kcal/mol	Quelque dizaine de kcal/mol
Nature de liaison	Van der Waals	Covalente
Température	Relativement Basse comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat
Réversibilité	Réversible pour les solides non poreux	Irréversible
Cinétique	Très rapide	Très lente
Nature des couches	Formation de monocouche ou multicouches	Formation de monocouche

I .5. Facteurs influençant l'adsorption

La théorie de l'adsorption des liquides par les solides est nettement moins complète que celle de l'adsorption des gaz ou des vapeurs par les solides. Ce qui est dû sans doute à de nombreux facteurs qui rendent l'étude de tels phénomènes difficile à interpréter. Ces facteurs sont : [9]

- La concentration du soluté.
- La vitesse d'adsorption.
- La nature de l'adsorbant, et de l'adsorbat.
- La température.

I.5.1. Concentration

Pour les faibles concentrations dissoutes, on observe en général que le taux d'adsorption en fonction de la concentration de substances dissoutes suit la loi de Freundlich.

I.5.2. Vitesse d'adsorption

L'adsorption physique en phase liquide est beaucoup moins rapide. La viscosité de la solution doit être un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption et il est vraisemblable qu'en diminuant la viscosité par chauffage, on croit la vitesse. C'est une des raisons pour lesquelles on effectue à température élevée la décoloration de solution par les adsorbants solides [9].

I.5.3. Nature de l'adsorbant

Etant donné que les substances à adsorber doivent se mouvoir dans un solvant plus ou moins visqueux, l'adsorbant travaillant en phase liquide, a en général des caractéristiques différentes de celles des adsorbants utilisés en phase gazeuse [9].

I.5.4. La température

L'adsorption est un processus exothermique et son déroulement doit être favorisé par l'abaissement de la température.

I.6. Modèles cinétiques

La cinétique d'adsorption est définie par l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact adsorbant/adsorbat. La vitesse d'adsorption d'un soluté à partir d'une solution dépend de nombreux facteurs, notamment la nature de l'adsorbant, l'adsorbat, ainsi que de la vitesse d'agitation du milieu [10]. Elles ont montré que l'adsorption des adsorbats est relativement rapide sur un solide non poreux. L'équilibre est atteint en quelques minutes. Cependant, l'adsorption sur un solide poreux est beaucoup plus lente [11].

I.6.1. Modèle de pseudo premier ordre (équation de Lagergren)

C'est le plus ancien des modèles cinétiques, il a été proposé par Lagergren en 1898 [12]. Le modèle cinétique du pseudo premier ordre peut être exprimé par l'équation suivante :

$$\frac{dQ}{dt} = K_1(Q_e - Q_t) \dots \dots \dots (1)$$

Après intégration de l'équation entre les instants 0 et t on obtient :

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - Kt \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

K: Constante de vitesse du pseudo premier ordre (min^{-1}).

t: Temps de contact (min).

Q_e : Quantité de colorant adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre en mg/g

Q_t : Quantité adsorbée (mg/g) du soluté par unité de masse de l'adsorbant au temps t.

Le tracé $\ln(Q_e - Q_t)$ en fonction du temps t donne une droite linéaire de pente K et l'ordonnée à l'origine $\ln Q_e$.

I.6.2. Modèle cinétique du second ordre

Ce modèle peut être exprimé par l'équation de la forme suivante :

$$\frac{dQ_e}{dt} = K(Q_e - Q_t)^2 \dots \dots \dots (3)$$

Après l'intégration suivie de la linéarisation, l'équation devient sous la forme suivante :

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{K \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \cdot t \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

Q_e et Q_t : représentent les quantités adsorbées (mg/g) du soluté par unité de masse de l'adsorbant respectivement à l'équilibre et au temps t.

t: temps de contact (min).

K : constante de vitesse d'adsorption du pseudo deuxième ordre. ($\text{g/mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)

Le tracé de t/Q_t en fonction du temps t donnera une droite de pente égale à $1/Q_e$ et d'ordonnée à l'origine égale à $\frac{1}{K \cdot Q_e^2}$.

I.7. Etude des paramètres thermodynamiques

I.7.1. Coefficient de distribution

Ce coefficient est défini comme étant le rapport des quantités fixées par gramme de solide sur la quantité de soluté restant en solution par volume de solution. Il caractérise l'affinité du soluté pour l'adsorbant [13] et se traduit par l'expression suivante :

$$K_d = \frac{(C_o - C_e)}{C_e} \dots \dots \dots (5)$$

Avec :

K_d : Coefficient de distribution .

C_o : Concentration initiale de l'adsorbant (mg /L).

C_e : Concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg /g).

La forme linéaire est :

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \dots \dots \dots (6)$$

Où :

ΔG : Energie libre (KJ/mole)

ΔH : Enthalpie (KJ/mole)

ΔS : Entropie (KJ/mole)

R : Constante de gaz parfaits (J/mol.K)

T : Température (Kelvin)

Le tracé des droites $\ln K_d = f(1/T)$ permettent de calculer les valeurs des paramètres thermodynamiques ΔS et ΔH à partir de l'ordonnée et de la pente.

I.8. Modèles d'isothermes d'adsorption

Plusieurs modèles mathématiques peuvent être utilisés pour décrire les isothermes d'adsorption en solution aqueuse, mais seuls les modèles de Langmuir et de Freundlich sont fréquemment appliqués.

Une isotherme d'adsorption permet d'évaluer la répartition d'un polluant entre deux phases, à l'équilibre et à la température donnée. La notion d'isotherme a été utilisée pour décrire l'adsorption du gaz sur des solides poreux. Elle a été ensuite étendue rapidement à l'adsorption de soluté en phase aqueuse.

Une courbe isotherme d'adsorption est définie par le tracé de la quantité adsorbée par unité de masse du solide q_e (mg /g) en fonction de la concentration d'adsorbant en équilibre C_e (mg /l) dans la solution et à la température constante [14].

La quantité adsorbée par unité de masse du solide à l'équilibre est déterminée par la relation suivante:

$$Q_e = (C_o - C_e) \cdot \frac{V}{m} \dots \dots \dots (7)$$

Avec :

Q_e : La quantité adsorbée par unité de masse du solide (mg /g)

C_o : Concentration initiale du soluté en (mg /L)

C_e : Concentration résiduelle du soluté à l'équilibre dans la solution (mg /L)

V : Volume de la solution (L).

m : masse du solide (g).

I.8.1. Isotherme de Langmuir

L'isotherme de Langmuir est un modèle d'adsorption monocouche très simple. C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. Il est le plus souvent formulé par la relation suivante :

$$Q_e = \frac{K_L b C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \dots \dots \dots (8)$$

Où :

Q_e : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

K_L : Constante correspondant à l'énergie d'adsorption.

b : Capacité maximale d'adsorption (mg/g).

C_e : Concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/L).

Cette isotherme peut-être généralisée à plusieurs espèces adsorbées ou plusieurs sites d'adsorption.

L'ajustement des points expérimentaux avec une relation de type Langmuir ne signifie forcément pas que les hypothèses qui sous-tendent le modèle sont satisfaites.

Il permet malgré tout de déterminer empiriquement une capacité d'adsorption maximale d'une surface donnée pour une espèce donnée [15]. La linéarisation de l'équation de Langmuir peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K_L \cdot b} + \frac{C_e}{b} \dots \dots \dots (9)$$

Le tracé de la courbe $C_e/(Q_e)=f(C_e)$ permet de déterminer les valeurs de K_L et b .

I.8.2. Isotherme de Freundlich

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles [14]. Elle est souvent utilisée pour ajuster graphiquement les points expérimentaux lorsque le modèle de Langmuir ne permet pas cet ajustement. Elle se présente sous la forme:

$$Q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \dots \dots \dots (10)$$

Q_e : Quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre.

K_f : Constante de Freundlich associée à la capacité d'adsorption.

n : paramètre énergétique de Freundlich

C_ϵ : Concentration de l'adsorbat à l'équilibre dans la phase liquide.

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique [14]:

$$\text{Log}Q_\epsilon = \frac{1}{n} \text{Log}C_\epsilon + \text{Log}K_f \dots \dots \dots (11)$$

En traçant $\text{Log}Q_\epsilon$ en fonction de $\text{Log}C_\epsilon$ on obtient une droite de pente $1/n$ et d'ordonnée à l'origine $\text{Log}K_f$.

Chapitre II :

Charbon actif

II.1. Charbon actif

Le charbon actif est historiquement parlant, le premier adsorbant utilisé. De par ses propriétés médicinales, il était déjà employé en Egypte antique. C'est un composé obtenu par calcination du bois, la noix de coco, le charbon, le lignite, la tourbe, et en général tout composé organique. Il est souvent caractérisé par une surface quasi non polaire, qui lui permet d'adsorber préférentiellement les composés organiques ou non polaires par rapport aux composés polaires tels que l'eau. Il peut ainsi être utilisé pour des opérations de séparation de purification de gaz sans déshumidification préalable contrairement à la plupart des autres adsorbants. L'énergie de liaison adsorbat/adsorbant est généralement plus faible pour le charbon actif que pour les autres adsorbants, ce qui diminue la quantité d'énergie nécessaire pour la phase de régénération [16].

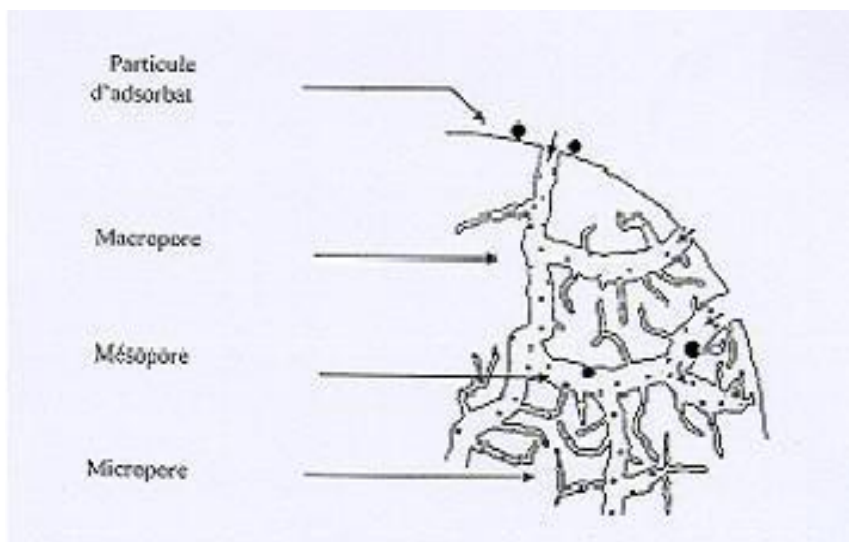


Figure II.1. Structure du charbon actif.

Les charbons actifs commerciaux sont produits à partir de précurseurs hydrogénéocarbonés très variés et disponibles sous différentes formes: 55% de la production totale est sous forme pulvérulente (poudre), 35% sous forme granulaire et 10% sous forme de bâtonnets (ou « pellets »). D'après Bansal et al [17] 80% de la production totale de charbons actifs est utilisée pour des applications en adsorption liquide (décoloration et dépollution des rejets industriels, traitement de l'eau potable et industrielle) et 20% pour des applications en adsorption gazeuse (décoloration, purification de l'air, purification et séparation des gaz, applications militaires pour la protection contre les gaz chimiques).

Les charbons actifs ont la capacité d'adsorber la plupart des molécules organiques. Par exemple, les composés aromatiques et les hydrocarbures substitués sont fortement adsorbés.

Les molécules organiques légères sont faiblement adsorbées, en particulier celles qui contiennent moins de trois atomes de carbones (comme par exemple les alcools simples) [18]. Les carbones activés sont également très employés dans l'adsorption des cations [19], des gaz [20] et des vapeurs organiques [21].

II.2. Origine et préparation

Les charbons actifs peuvent être obtenus à partir d'un très grand nombre de matériaux contenant du carbone d'origine animale, végétale ou minérale. Les principales matières premières utilisées sont le bois, la houille, la tourbe, l'antracine, les charbons gras ou bitumineux, le coke de pétrole et les déchets d'origine végétale, la noix de coco [22], les coquilles d'amandes [23], les noyaux d'olives [24].), les noyaux de pêches [25], les noyaux d'abricots [26].) et la pulpe de pomme [24] et marc de raisin.

La préparation des charbons actifs comprend en général deux étapes: la carbonisation de la matière première brute et l'activation du carbonisât ainsi obtenu. Les propriétés du produit final dépendent de la nature de la matière première, des conditions de carbonisation et d'activation mises en œuvre dans ces procédés. Ainsi, la vitesse de chauffage durant la carbonisation, la température finale et la durée d'activation sont parmi les facteurs principaux qui modifient l'aire spécifique du charbon actif, ainsi que le volume et la taille des pores [27].

II.2.1. Carbonisation

Elle consiste en une décomposition thermique de la matière première à une température allant de 600 à 900 °C, sous atmosphère de gaz inerte (l'azote par exemple) afin d'éviter sa combustion. Ce traitement s'effectuant sans agent chimique entraîne l'élimination, sous forme de gaz volatils, des hétéroatomes (N, H, O, S) contenus dans la matière première.

Les atomes de carbone restant après carbonisation sont organisés sous forme de noyaux aromatiques condensés et forment des feuillets graphitiques disposés de manière irrégulière les uns par rapport aux autres. Ainsi, les feuillets graphitiques laissent entre eux des interstices obstrués partiellement par des dépôts de goudrons dus aux matières volatiles libérées lors du traitement thermique, qui se transforment ensuite en carbone désorganisé. Ces interstices sont à l'origine de la structure poreuse primaire des charbons actifs [28].

II.2.2. Activation physique

L'activation physique consiste en une oxydation à haute température (750-1000 °C) du carbonisat par un agent oxydant gazeux. Les gaz utilisés, seuls ou en mélange, faiblement oxydant, sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. Le niveau de température joue un rôle important dans le processus d'activation. En effet, à basse température, la cinétique d'oxydation est faible et l'activation conduit à une distribution de la taille de pore homogène

dans tout le volume du matériau. Quand la température augmente, la vitesse de réaction croît plus rapidement que la diffusion du gaz oxydant. Le procédé est donc limité par le transport du gaz oxydant au sein du matériau, ce qui conduit à une perte d'homogénéité de la porosité [29].

II.2.3. Activation chimique

L'activation chimique est un procédé alternatif qui met en jeu un agent chimique tel que un acide, une base ou un sel (exemple : H_3PO_4 , KOH ou $ZnCl_2$) favorisant l'oxydation et/ou déshydratation, puis une réorganisation structurale à des températures entre 400 °C et 800 °C à l'abri de l'air. Le précurseur est imprégné avec H_3PO_4 afin d'améliorer le développement d'une structure poreuse à la suite d'un traitement thermique. L'activation par l'acide phosphorique a donné de meilleurs résultats pour l'obtention de grandes surfaces en comparaison avec l'activation physique pour certains précurseurs. Un inconvénient de l'activation chimique est l'incorporation d'impuretés dans le charbon lors de l'imprégnation, ce qui peut affecter les propriétés chimiques. Le réactif chimique peut être récupéré par lavage du charbon actif produit, l'utilisation de l'acide phosphorique produit un charbon de micropores plus larges.

Suite à l'activation, le charbon actif acquiert une structure poreuse poly dispersée : les pores ont différentes formes et dimensions. La répartition poreuse dépend de la nature de la matière première, de la nature de l'activant, des conditions de réaction et de la température pendant cette étape.

II.3. Classification

Les charbons actifs sont des produits complexes, d'où la difficulté de les classer selon leurs comportements, leurs propriétés ou leurs caractéristiques surfaciques. Le seul paramètre qui peut donner une idée de la qualité des charbons actifs est leur capacité d'adsorption qui, à son tour, dépend de la nature et de la taille des pores. Les charbons actifs sont donc classés selon la taille de leurs particules; les plus représentés sont ceux en poudres, en grains et de forme sphérique.

II.3.1. Charbons actifs en poudre

Ils ont une granulométrie très fine (inférieure à 100 μm) avec un diamètre moyen compris entre 15 et 25 μm . Ils présentent une grande surface spécifique et se caractérisent par une très grande vitesse d'adsorption. Ils sont utilisés de préférence pour l'adsorption en phase liquide.



Figure II.2. Charbon actif en poudre.

II.3.1.1. Utilisation du charbon actif en poudre

Le charbon actif en poudre est utilisé en combinaison avec un traitement de clarification.

Le charbon actif en poudre est ajouté continuellement avec l'eau à traiter avec des agents flocculant. Il est recommandé d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau. La dose d'ozone nécessaire dans le cadre d'un inter oxydation est alors réduite. La principale conséquence est que le nombre de sous-produits d'ozonation diminue.

II. 3.1.2 Avantages du charbon actif en poudre

Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon actif en granulé.

Des quantités supplémentaires peuvent être rajoutées en cas de pointes de pollution accidentelles ou temporaires.

L'adsorption est rapide dans la mesure où une grande partie de la surface de contact est directement disponible.

II. 3.1.3 Inconvénients du charbon actif en poudre

Le charbon actif en poudre ne peut pas être régénéré quand il est mélangé avec des boues d'hydroxyde.

Il est difficile d'enlever les dernières traces d'impuretés sans ajouter une quantité très importante de charbon actif en poudre.

La détection des pointes de pollution est problématique et sa concentration applicable est limitée.

II.3.2. Charbons actifs en grains

Ce type de charbon présente une granulométrie plus grande et une surface spécifique un peu moins importante. Ils sont préconisés de préférence pour l'adsorption des gaz et des vapeurs. Les charbons actifs en grains sont généralement préparés par activation physique à partir de différents matériaux comme le bitume et le lignite [30], le pétrole, les huiles et les résidus lourds, les caoutchoucs naturels et synthétiques [31].



Figure II.3. Charbon actif en grain.

II.3.2.1 Utilisation du charbon actif granulé

Le charbon actif granulé est utilisé dans des différents types de traitements des eaux pour la réduction des oxydants chlorés résiduels et une très faible élimination de certains sous-produits de désinfection tels que les bromates et les chlorates, et aussi utilisé pour enlever la turbidité et pour dissoudre des composés organiques, l'odeur, les taches, les colorants. Le traitement au charbon actif granulé est reconnu comme étant le procédé le plus efficace contre les goûts et les odeurs. Ce composé de faible poids moléculaire favorise une durée de vie prolongée.

Il est utilisé pour l'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique sous forme de carbone dissous.

Il est utilisé en filtration pour des traitements de finition, car il permet l'amélioration de nombreux paramètres liés à la matière organique naturelle (MON) : couleur, goût, odeur et demande en désinfectant. En outre, son utilisation en filtration biologique permet d'obtenir des rendements d'élimination du carbone organique biodégradable (CODB) pouvant aller jusqu'à 80 % à 18 °C, mais ne dépassant pas 30 % à 8 °C.

II.3.2.2 Avantages du charbon actif granulé

- ✓ La durée de vie du charbon actif granulé dépend de l'abattement de la matière organique et du lissage des points de pesticide. Le choix du type de charbon actif est également déterminant sur le rendement de l'élimination.
- ✓ Le charbon actif granulé a une capacité d'adsorber une partie de presque toutes les vapeurs.

- ✓ Il a une grande capacité d'adsorption pour les substances organiques en particulier les solvants.
- ✓ Il retient un grand nombre de substances chimiques en même temps.
- ✓ Il fonctionne bien dans un domaine large de température et d'humidité.
- ✓ Il est inerte et on peut l'utiliser en toute sécurité.
- ✓ Il est facilement disponible et de bon marché.

II.3.2.3 Inconvénients du charbon actif granulé

- ✓ Durée de vie limitée.
- ✓ Pré-filtration: Les carburants dissous et les matières en particules peuvent rapidement encrasser le charbon, nécessitant un prétraitement dans la plupart des cas.
- ✓ Coût: Le besoin de remplacer régulièrement le charbon épuisé rend le charbon actif granulé plus cher que le stripping pour des concentrations élevées de contaminants.
- ✓ Déchets dangereux : tout le charbon doit être finalement jeté, puisque il ne peut être régénéré qu'un certain nombre de fois, ou pas du tout dans le cas de l'adsorption des métaux ou de résidus d'explosifs. Selon les caractéristiques du charbon épuisé, il peut être jeté comme déchet dangereux, ce qui augmenterait le coût et responsabilité.

Chapitre III :

Partie

expérimentale

III.1. Préparation de l'absorbant

Dans le cadre de ce travail nous avons choisi de valoriser un déchet végétal.

La préparation du matériau, reçu partiellement :

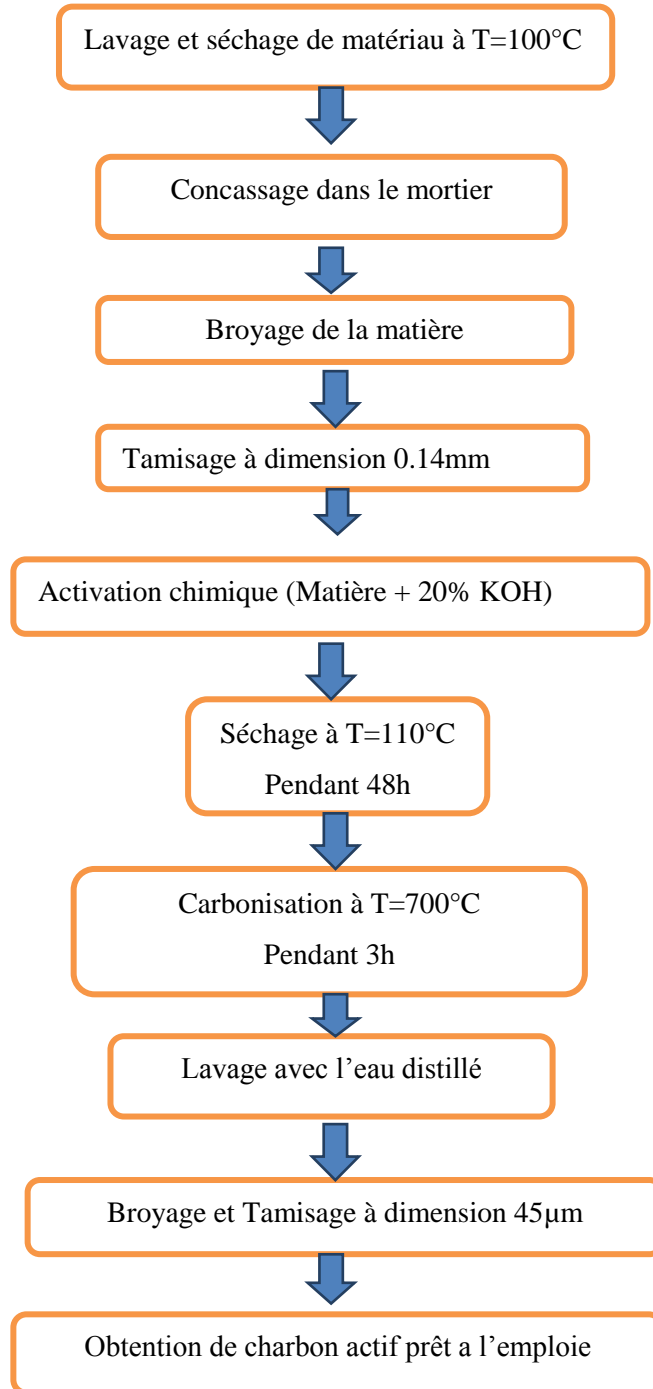


Figure III.1. Etapes de préparation du charbon actif

III.2. Caractérisation de l'adsorbant

III.2.1. Indice d'iode

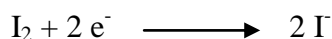
III.2.1.1. Définition

L'indice d'iode fournit une indication sur la microporosité du l'adsorbant. C'est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbat à une concentration résiduelle

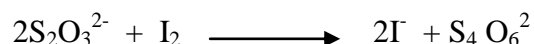
de 0,02 N.

III.2.1.2. Méthode iodométrique

L'iodométrie concerne la réaction avec une solution titrée d'iode. L'iodométrie est reliée au titrage de l'iode libéré dans les réactions chimiques :



L'analyse par iodométrie est basée sur les phénomènes d'oxydoréduction, si l'on ajoute de l'iode libre à une solution de thiosulfate de sodium (réducteur), il se produit la réaction suivante :



III.2.1.3. Préparation des solutions

Pour préparer une solution d'iode de concentration 0,1 N. On pèse 19,1 g d'iodure de potassium cristallisé et on les dissout dans la quantité d'eau, la plus faible possible. Après, on pèse 12,69 g d'iode sublimé et on le rajoute à l'iodure de potassium se trouvant dans la fiole jaugée, ensuite on agite, la fiole étant fermée, jusqu'à ce que l'iode se dissolve, on complète alors avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1 L). Enfin, on laisse la solution à l'abri de la lumière.

Pour préparer une solution de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, de concentration 0,1 N, on introduit 24,817 g de ce sel dans une fiole jaugée à 1 litre. On ajoute un peu d'eau distillée jusqu'à ce que le thiosulfate se dissolve, puis on complète jusqu'au trait de jauge.

III.2.1.4. Détermination de l'indice d'iode

Pour déterminer l'indice d'iode de l'adsorbant, il faut :

- 1- Une solution d'acide chlorhydrique de concentration 5%.
- 2- Une solution d'iode 0,1 N.
- 3- Une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,1 N.

Peser 0.2 g de l'échantillon qui a été séché auparavant à 150 °C dans l'étuve pendant 3 heures, le transposer dans un flacon, ajouter 10 cm³ de HCl et remuer doucement jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement mouillé, porter à ébullition pendant 30 secondes, laisser refroidir à température ambiante, transposer 100 cm³ de la solution d'iode dans le flacon, le boucher immédiatement et agiter pendant 30 secondes rigoureusement, filtrer, ensuite écarter les 20 à 30 cm³ du filtrat et récupérer le reste dans un bécher. Pipeter 50 cm³ du filtrat dans un erlenmeyer propre de 250 cm³, titrer avec Na₂S₂O₃ jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle, ajouter 2 cm³ d'amidon fraîchement préparé et titrer goutte à goutte jusqu'à ce que la solution devienne transparente, noter le volume V' et finalement calculer la molarité du filtrat R à partir de l'équation suivante :

$$I = \frac{(50 - V') \times 12.693}{m} \dots \dots \dots (12)$$

Calculer le facteur de correction (D) qui est donné par la relation suivante :

$$D = \left(\frac{0,01}{R} \right)^{0,165} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{indice d'iode (mg / g)} = \frac{[1269,1 - (V' \times 27,92)] \times D}{m} \dots \dots \dots (14)$$

Où, m : est la masse de l'échantillon (g).

Le tableau III.1. et le graphe de la figure III.2. Ci-dessous résume les valeurs d'indice d'iode pour les différents charbons actif.

Tableau III.1. Résultats de l'indice d'iode de notre charbon actif préparé CAP et charbon actif commerciale CA Merck.

Charbon actif	CA Merck	CAP
Indice d'iode (mg/g)	919,50	1019,85

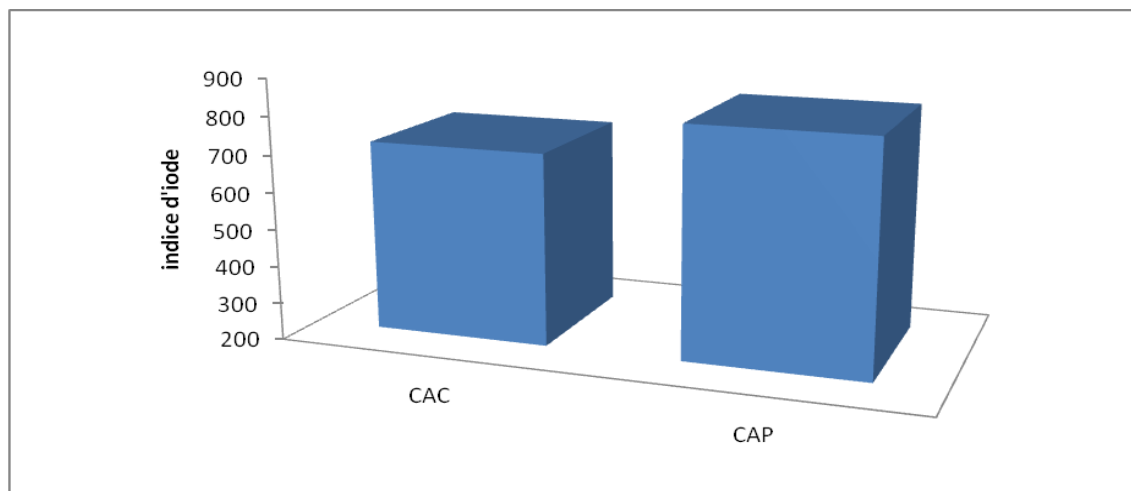


Figure III .2. Valeurs de l'indice d'iode pour différents charbon actif.

Les résultats obtenus indiquent que l'indice d'iode de notre charbon actif préparé est plus élevé que d'autre charbon actif étudié au paravent. D'une façon générale, l'indice d'iode est une grandeur essentielle pour indiquer la performance. Il donne une conception sur la surface complète pour l'adsorption des micropolluants.

III.2.2. Indice Bleu de méthylène

L'indice bleu de méthylène est la quantité du bleu de méthylène (colorant aromatique hétérocyclique) adsorbée par le charbon actif dans des conditions définies. Ce paramètre est une indication de la structure méso poreuse du charbon actif.

$$\frac{x}{m} = \frac{C_0 - C_{eq}}{m \times 1000} * V \quad (15)$$

Tableau III.2. Résultats de l'indice Bleu de méthylène (BM) de notre charbon actif préparé CAP et charbon actif commerciale CA Merck.

Charbon actif	CA Merck	CAP
IBM (mg /g)	122,15	227,20

III.4. Choix des molécules étudiées

Notre choix s'est porté sur deux colorants pour le textile qui sont le Rhodamine B et le Rouge bened pour leurs caractères nocifs pour l'environnement.

Ils répondent aux critères suivants :

- Solubilité élevée dans l'eau .
- Tension de vapeur faible .
- Analyse par spectrophotomètre UV/visible .

III. 4.1. Caractéristiques des colorants

III.4 .1.1. Colorant Rhodamine B

Le colorant choisi est un colorant industriel, il s'agit du Rhodamine B dont la structure chimique est donnée ci-dessous. A l'état solide, il est sous forme de poudre fine et de couleur rose. Il appartient à la famille des colorants basiques solubles dans l'eau.

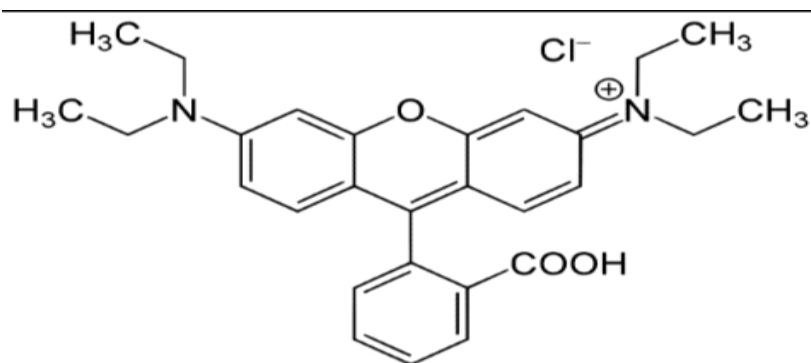


Figure III.3. Structure chimique de la molécule du colorant Rhodamine B (RhB)

Tableau III.3. Propriétés physico-chimique de la Rhodamine B

Propriétés chimiques	Propriétés physiques
Formule brute : $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$	T° fusion : 210–211 °C décomposition
Masse molaire : $479,01 \pm 0,028$ g/mol	Solubilité : $50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 °C dans l'eau
C 70,21 %, H 6,52 %, Cl 7,4 %, N 5,85 %, O 10,02 %	
$\lambda_{\text{max}} \text{ (nm)} = 555$	

III.5. Dosage par spectrophotométrie

L'analyse spectrophotométrique est fondée sur l'étude du changement d'absorption de la lumière par un milieu, en fonction de la variation de la concentration d'un constituant.

En analyse spectrophotométrique, on utilise une lumière sensiblement monochromatique. Cette méthode d'analyse est intéressante car elle permet de travailler sur de faibles quantités de substance et est non destructive vis-à-vis de l'échantillon : elle s'applique à un très grand nombre de dosages.

III.5.1. Loi d'absorption

Les lois générales d'absorption sont valables pour les spectres d'absorption dans les domaines ultraviolets et visibles.

III.5.2. Loi de BEER LAMBERT

Soit un faisceau de lumière monochromatique traversant une épaisseur l de solution d'un corps adsorbant. Soit I_0 la puissance rayonnante à l'entrée de la solution et I la puissance rayonnante à la sortie, C la concentration du corps absorbant et ℓ l'épaisseur de la cuve.

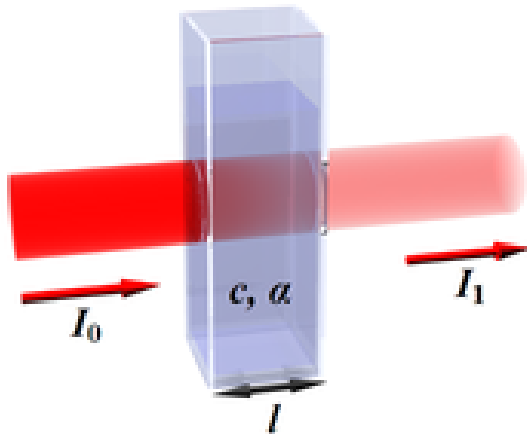


Figure III.4. Principe d'absorption de la lumière monochromatique par un corps absorbant

La loi de Beer Lambert s'exprime sous la forme suivante

$$A = \log(I_0/I) = \log(1/T) = k C \ell \dots\dots\dots(16)$$

Avec :

T : facteur de transmission ou transmittance.

A : absorbance ou densité optique.

C : concentration massique du composé dosé.

I, I_0 : intensité du faisceau émergent et incident.

k : coefficient spécifique d'absorbance

ℓ : épaisseur de la cuve.

III.5.3. Détermination de la courbe d'étalonnage

III.5.3.1. Préparation des solutions mères (SM)

Une solution mère a été préparé en pesant 1 g de colorant Rhodamine B a dissout dans une fiole de 1000 mL, et on a complète avec de l'eau distillée, la concentration correspondante est de 1000 mg/L.

III.5.3.2. Préparation des solutions filles

A partir de la solution SM, des étalons avec des concentrations allant de 1 à 8 mg/L ont été préparés.

III.5.3.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Chaque étalon a été analysé dans le domaine du visible par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 555 nm, déterminée par balayage.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.4. et représentés graphiquement sur la figure III.5.

Tableau III.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage du Rhodamine B

C (mg/l)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
absorbance	0	0,202	0,411	0,595	0,804	0,949	1,171	1,381	1,585

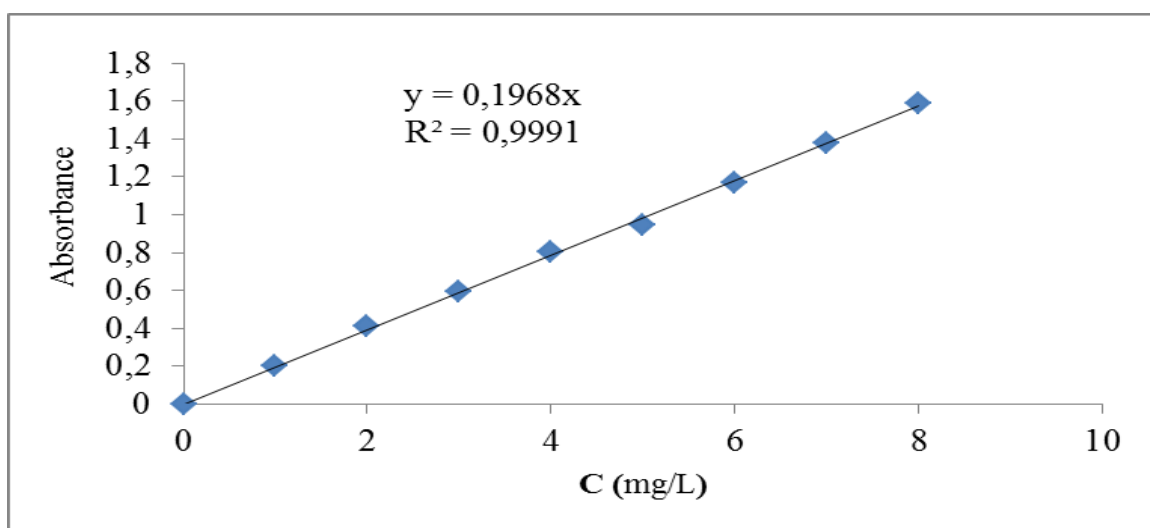


Figure III.5. Courbe d'étalonnage du Rhodamine B

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de corrélation égal à 0,999 représentant un bon ajustement linéaire.

L'équation de la droite donnant l'absorbance A en fonction de la concentration du Rhodamine B $A = 0,196 \times C$. Cette équation est utilisée pour calculer la concentration d'une solution inconnue du RhB.

III.6. Application à l'adsorption du colorant Rhodamine B (RhB)**III.6.1. Détermination du temps d'équilibre**

Afin d'étudier le temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption RhB nous avons préparé deux solutions arbitraires de concentrations 300 mg/L et 400 mg/L et suivi la procédure suivante :

Dans une série de béchers, on a introduit successivement 0,1 g de charbon actif Commercial et 25 mL de la solution du RhB. L'ensemble est agité à des temps d'agitation de 30 ; 60 ; 120 ; 180 ; 240 et 300 minutes, puis centrifuger et analyser par spectrophotométrie.

Nous répétons la même expérience avec 0,1 g de charbon actif préparé CAP.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.5 et III.6 et représenté graphiquement sur la figure III.6 et III.7.

Tableau III.5. Résultats de l'effet du temps de l'adsorption du RhB par CAC

$C_0 = 300\text{mg/L}$						
t (min)	30	60	120	180	240	300
% élimination	99,757	99,774	99,810	99,825	99,833	99,881
$C_0 = 400\text{ mg/L}$						
t (min)	30	60	120	180	240	300
% élimination	94,994	98,353	99,394	99,703	99,707	99,714

Tableau III.6. Résultats de l'effet du temps de l'adsorption du RhB par CAP

$C_0 = 300\text{mg/L}$					
t (min)	30	60	120	180	240
% élimination	98,656	99,175	99,180	99,423	99,446
$C_0 = 400\text{ mg/L}$					
t (min)	30	60	120	180	240
% élimination	98,533	99,364	99,378	99,492	99,450

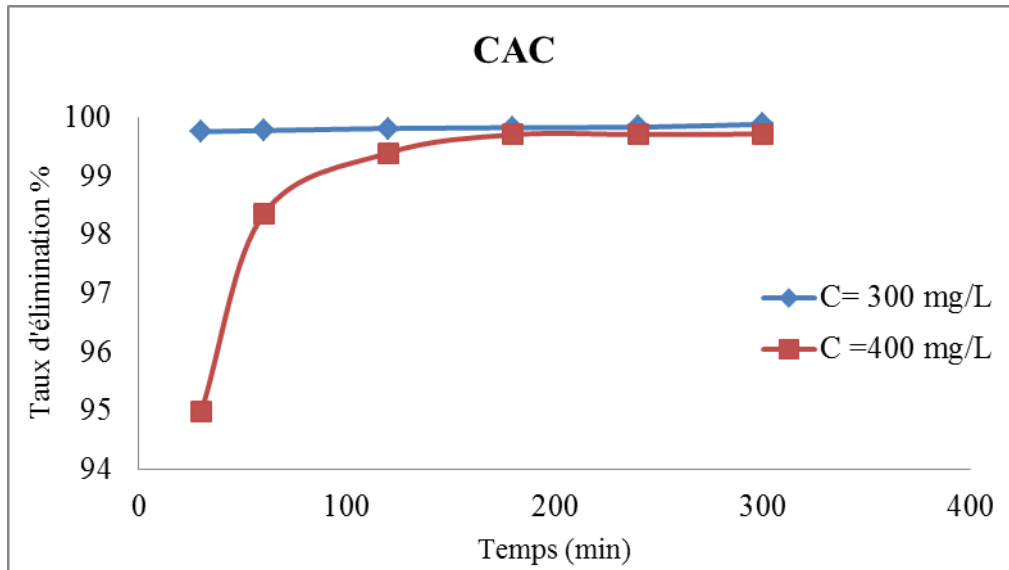


Figure III.6. Taux d'élimination du RhB en fonction du temps par CAC

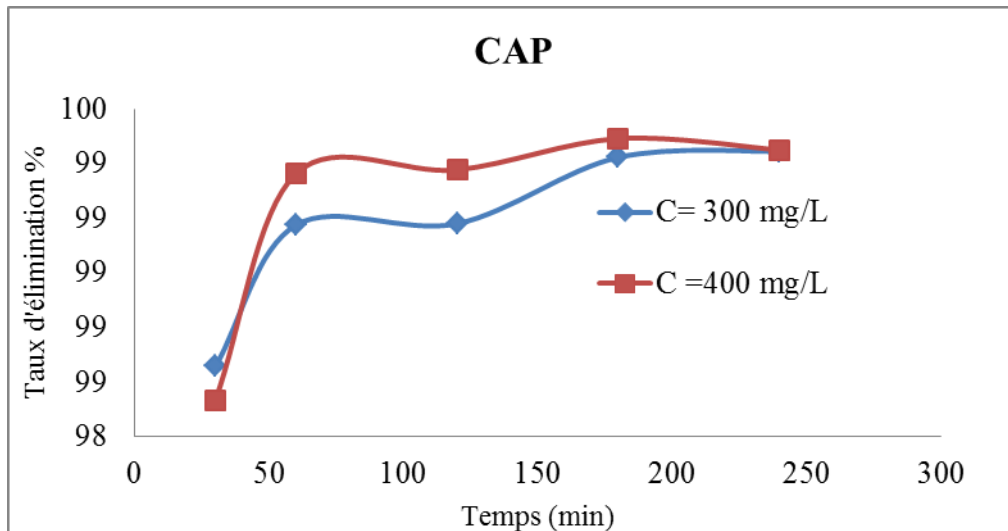


Figure III.7. Taux d'élimination du RhB en fonction du temps par CAP

Les tracés des quantités éliminées du colorant RhB sur les deux matériaux en fonction du temps de contact montrent que le taux d'élimination augmente avec l'augmentation du temps pour les deux matériaux (figure III.6 et III.7), l'équilibre est atteint au bout de 120 min sur CAC et de 60 min sur CAP.

III.6.2. Etude de l'effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de ; 0,05 ; 0,1 et 0,15 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,3 et 0,4 gramme des notre adsorbants (CAC et CAP) ,25 mL de la solution de RhB .L'ensemble est agité pendant une heure puis centrifuger et analyser.

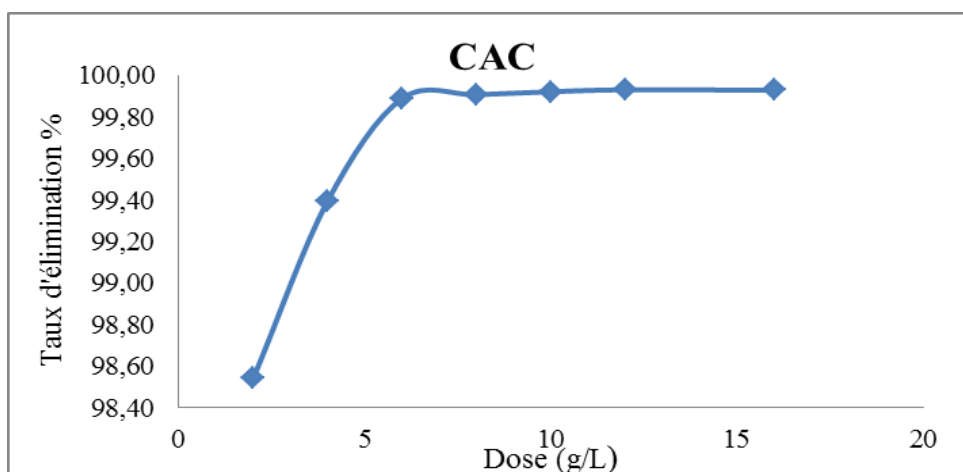
Les résultats de ces mesures sont regroupés dans le tableau III.7 et le tableau III .8 , et représentés graphiquement sur la figure III.8 et III.9.

Tableau III.7. Effet de la dose sur l'adsorption du RhB par CAC

$C_0 = 400 \text{ mg/L}$							
m (g)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
dose (g/L)	2	4	6	8	10	12	16
% élimination	98,541	99,394	99,888	99,907	99,921	99,930	99,929

Tableau III.8. Effet de la dose sur l'adsorption du RhB par CAP

$C_0 = 500 \text{ mg/L}$						
m (g)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
dose (g/L)	2	4	6	8	10	12
% élimination	98,429	99,378	99,783	99,681	99,581	99,711

**Figure III.8.** Taux d'élimination en fonction de la dose (CAC)

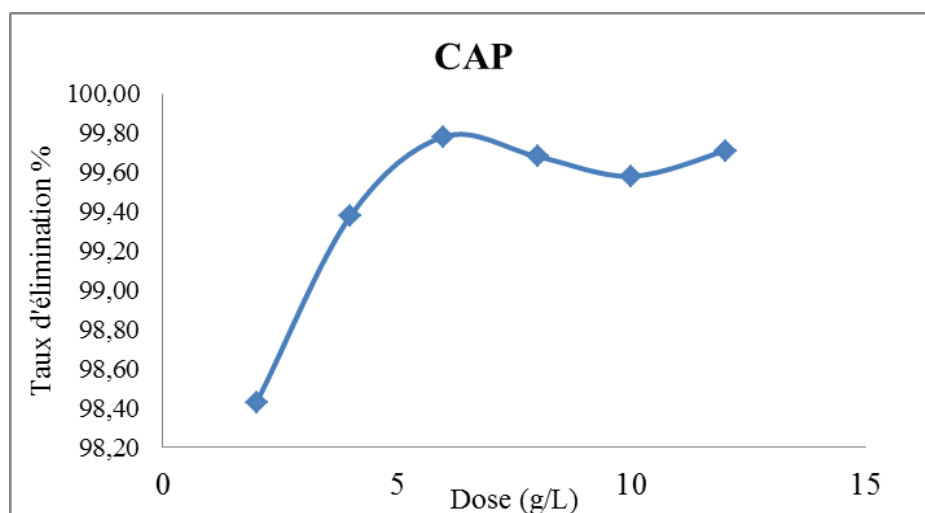


Figure III.9. Taux d'élimination en fonction de la dose (CAP)

La figure III.9 montre que le pourcentage d'élimination augmente avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant jusqu'à un palier de saturation, le pourcentage d'élimination le plus élevé est de 6 g/L pour CAC et de 4 g/L pour CAP.

III.6.3. Effet du pH de la solution sur l'adsorption du RhB

pH signifie le potentiel d'hydrogène. C'est la mesure qui nous permet de déterminer si une solution est acide ou alcaline. Le pH influe sur l'adsorption du fait de la nature de l'adsorbant dont les sites comportent des groupements fonctionnels organiques qui peuvent être chargés et se dissocier suivant la valeur du pH.

Dans une série de béchers, on a introduit successivement 25 mL de la solution de RhB de concentration 400 mg/L au quelle on a ajouté une masse de 0,15 g de CAC, on a ajusté le pH à différentes valeurs.

Et prendre une notre série de béchers, on a introduit successivement 25 mL de la solution de RhB de concentration 500 mg/L au qu'elle on a ajouté une masse de 0,1 g de CAP, on a ajusté le pH à différentes valeurs.

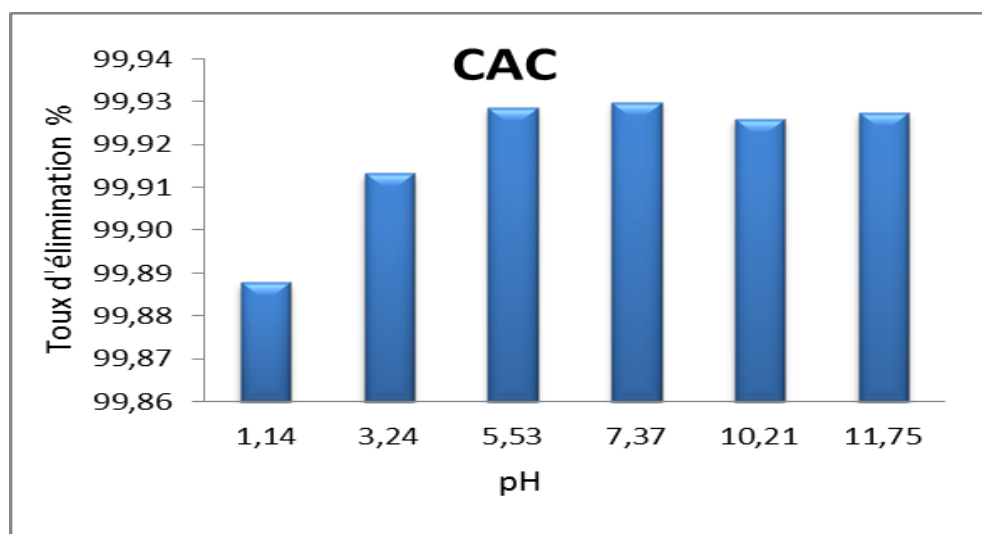
Le mélange est agité magnétiquement pendant une heure, puis la suspension est séparée par centrifugation. La concentration résiduelle en RhB est déterminée par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 555 nm.

Tableau III.9. Effet du pH sur l'adsorption du RhB par CAC

$C_0 = 400 \text{ mg/L}$						
pH	1,14	3,24	5,53	7,37	10,21	11,75
Ceq (mg/L)	0,449	0,347	0,286	0,281	0,296	0,291
% élimination	99,888	99,913	99,929	99,930	99,926	99,927

Tableau III.10. Effet du pH sur l'adsorption du RhB par CAP

$C_0 = 500 \text{ mg/L}$							
pH	1,74	2,57	3,43	5,74	7,63	9,5	11,61
Ceq (mg/L)	0,051	0,286	3,112	3,827	4,071	4,189	5,648
% élimination	99,990	99,929	99,222	99,043	98,982	98,953	98,588

**Figure III.10.** Taux d'élimination en fonction de pH (CAC)

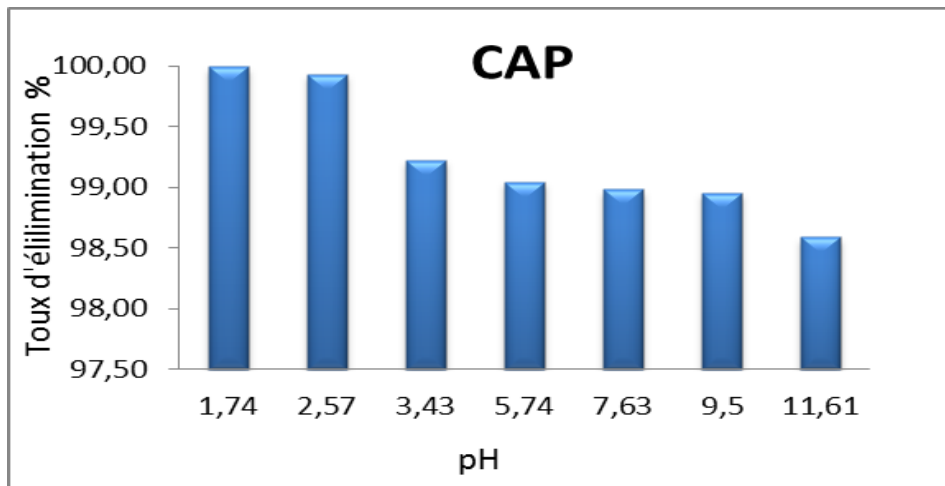


Figure III.11. Taux d'élimination en fonction de pH(CAP)

D'après les graphes, nous avons vu que la capacité d'adsorption du RhB la plus élevée pour un pH de la solution initiale de pH =5,53 pour le CAC et pH=1,74 pour le CAP ; c'est à ce pH que va être établie l'isotherme d'adsorption.

III.6.4. Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du RhB

Dans la nature, les phénomènes d'adsorption sont généralement exothermiques alors que la désorption est endothermique. De ce fait, on peut admettre qu'une augmentation de la température affecte beaucoup plus l'adsorption physique que chimique. De nombreuses études de l'influence de la température sur l'adsorption.

Ces études ont montré que la relation entre la température et l'adsorption dépend essentiellement du couple adsorbant/adsorbé.

Des flacons contenant 25 mL de solution de RhB concentration 400 mg/L, puis 0,15 g d'adsorbant. Ces flacons sont placés successivement à des températures 30, 35 et 40 °C dans un bain marie muni d'un thermostat permettant de contrôler la température, le flacon est agité pendant deux heures puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

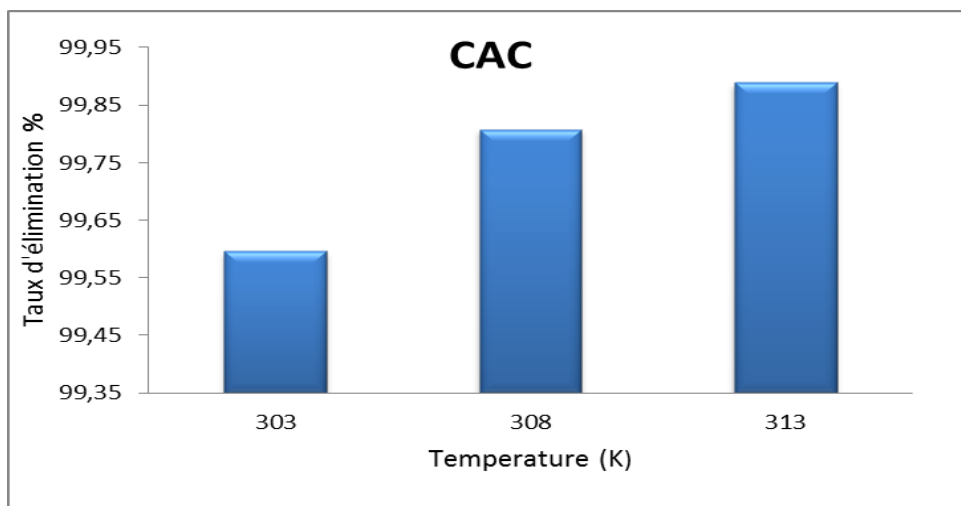
Les résultats de ces mesures sont mentionnés dans le tableau III.11 ; III.12 et représentés sur les figures III.12, III.13.

Tableau III.11. Résultats de l'effet de la température sur l'adsorption du RhB par CAC

$C_0 = 700 \text{ mg/L}$			
1/T	0,00330033	0,00324675	0,00319489
T(K)	303	308	313
Ceq(mg/L)	2,827	1,347	0,776
Kd	246,653	518,697	901,632
Taux d'élimination	99,596	99,808	99,889
Ln Kd	5,508	6,251	6,804

Tableau III.12. Résultats de l'effet de la température sur l'adsorption du RhB par CAP

$C_0 = 200 \text{ mg/L}$			
1/T	303	308	313
T(K)	0,0033	0,0032	0,0032
Ceq(mg/L)	45,026	60,204	70,408
Kd	3,442	2,322	1,841
Taux d'élimination	77,48	69,89	64,79
Ln Kd	1,236	0,842	0,610

**Figure III .12.** Taux d'élimination du RhB à différentes température (CAC)

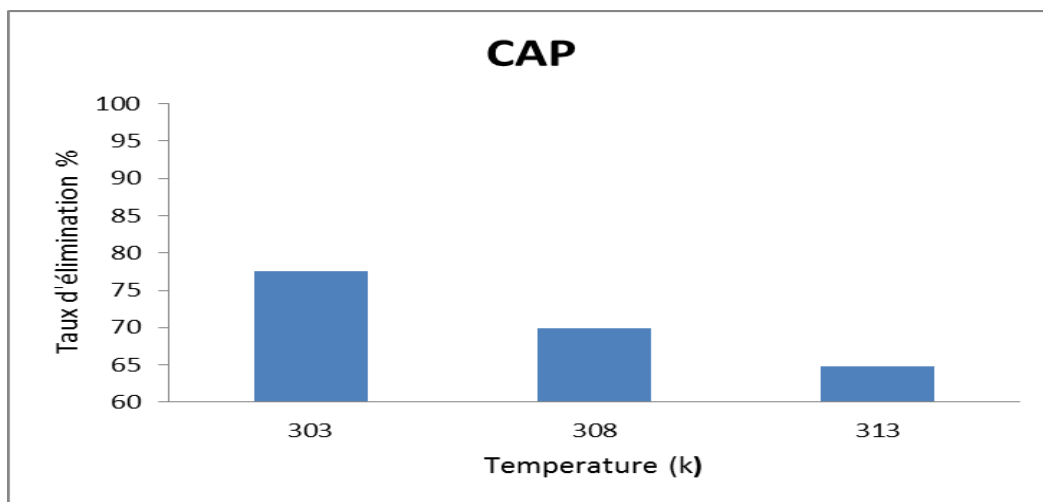


Figure III .13. Taux d'élimination du RhB à différentes température (CAP)

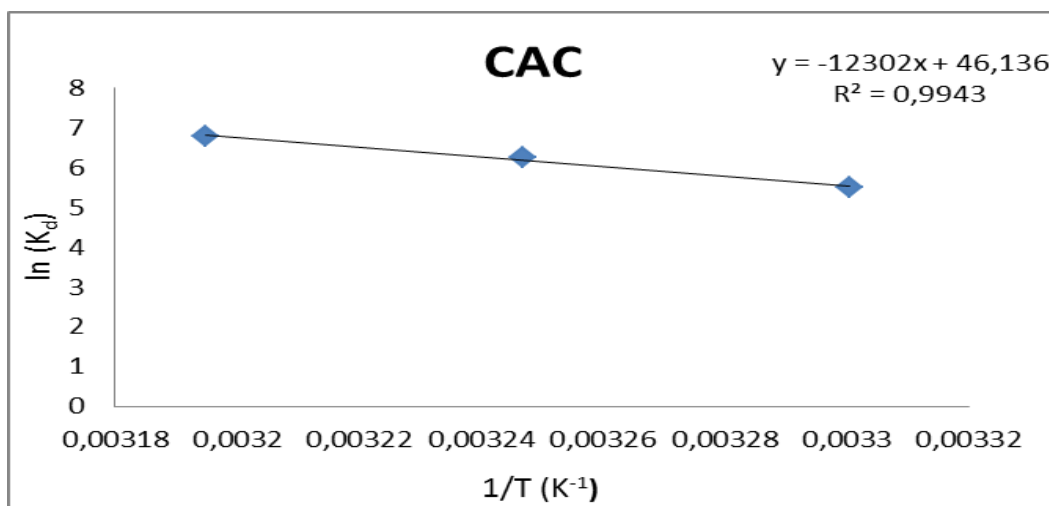


Figure III.14. Evolution de lnKd en fonction de 1/T (K⁻¹) pour l'adsorption RhB(CAC)

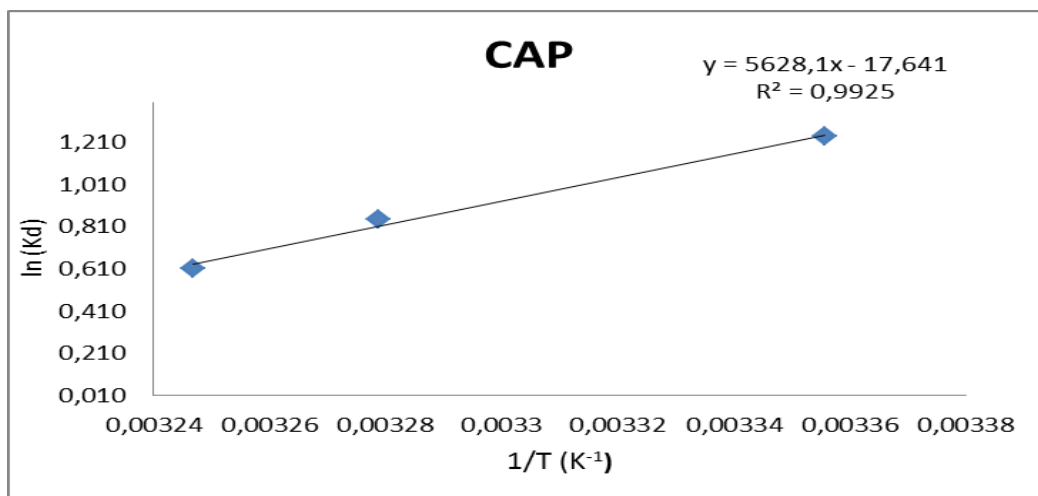


Figure III.15. Evolution de lnKd en fonction de 1/T (K⁻¹) pour l'adsorption RhB (CAP)

Tableau II.13. Paramètres thermodynamiques d'adsorption du RhB

Adsorbant	Equation	ΔG (KJ/mol)			ΔH (KJ/mol)	ΔS (KJ/mol .K)
		T=303 (k)	T=308 (k)	T=313 (k)		
CAC	Y=-12302 x -46,13	-13,88	-16,01	-17,71	102,279	0,384
CAP	Y=5628 x -17,64	-3,11	-2,16	-1,59	46,791	0,147

D'après le tableau ci-dessus, les valeurs d'enthalpie ΔH° confirment que la réaction d'élimination de RhB par les deux charbons actifs suit un processus endothermique. Les valeurs négatives de l'enthalpie libre ΔG° pour différents T montrent que le processus d'adsorption du RhB est spontané et favorable.

III.6.5. Isotherme d'adsorption du RhB

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre l'adsorbant et l'adsorbé. Elle caractérise le processus d'adsorption, et exprime la quantité d'adsorbé présente sur l'adsorbant x/m (exprimée en mg/g) en fonction de la quantité d'adsorbé restant en solution C_{eq} (exprimée en mg/L).

Dans une série de béchers contenant 25 ml de solution de concentrations qui varient entre 400 mg/L à 1000 mg/L, l'ensemble est agité pendant un temps de contact déterminé, puis centrifugé et analysé.

La quantité x/m (masse adsorbée par gramme d'adsorbant) est déterminée par l'équation suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{(C_0 - C_{eq})}{m \cdot 1000} \cdot V \dots\dots\dots(17)$$

Où :

C_0 : Concentration initiale de l'adsorbé (mg/L),

C_{eq} : Concentration à l'équilibre de l'adsorbé (mg/L),

m : Masse d'adsorbant (g),

V : Volume d'adsorbé (mL),

1000 : Coefficient de conversion.

Les valeurs de cette étude sont récapitulées dans le tableau III.14 et III.15 représentées graphiquement sur les figures : III.16, III.17 et III.18.

Tableau III .14. Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption du RhB par CAC.

C (mg/L)	400	500	600	700	800	900	1000
Ceq (mg/L)	0,878	0,969	1,066	5,102	39,158	87,372	169,515
qe(mg/g)	66,520	83,172	99,822	115,816	126,807	135,438	138,414
Ceq/qe(g/L)	0,013	0,012	0,011	0,044	0,309	0,645	1,225
Ln Ceq	-0,13	-0,03	0,06	1,63	3,67	4,47	5,13
Ln qe	4,20	4,42	4,60	4,75	4,84	4,91	4,93

Tableau III.15. Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption du RhB par CAP

C (mg/L)	500	600	700	750	800	850	900	1000
Ceq (mg/L)	0,051	0,444	46,556	60,459	120,663	148,214	180,102	260,714
qe (mg/g)	124,987	149,889	163,361	172,385	169,834	175,446	179,974	184,821
Ceq/qe (g/L)	0,000	0,003	0,285	0,351	0,710	0,845	1,001	1,411
Ln Ceq	-2,98	-0,81	3,84	4,10	4,79	5,00	5,19	5,56
Ln qe	4,83	5,01	5,10	5,15	5,13	5,17	5,19	5,22

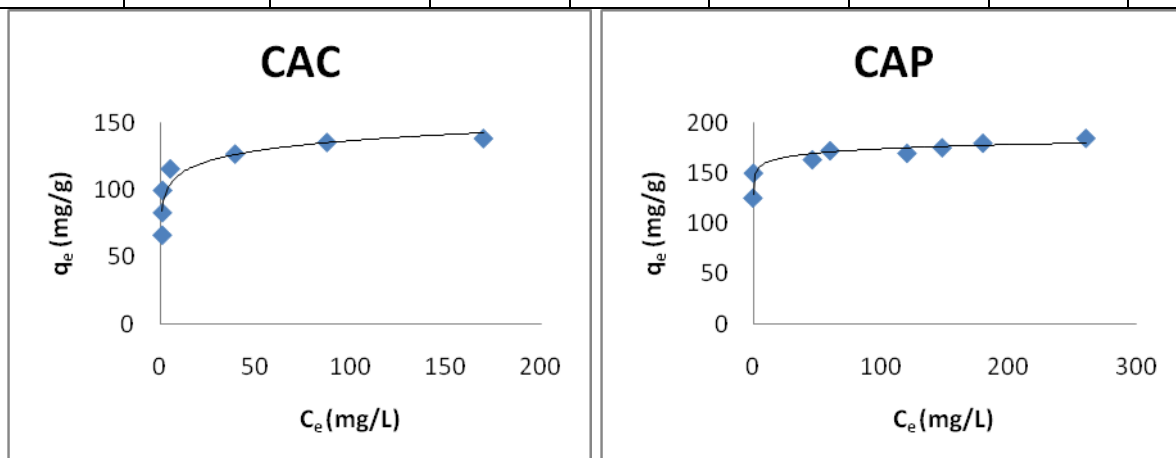


Figure III.16. Isotherme d'adsorption du RhB par l'absorbant.

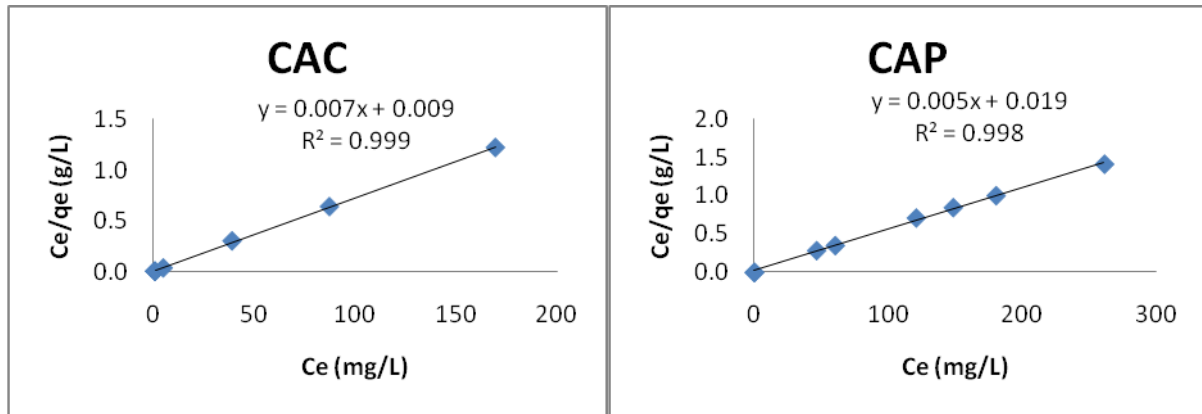


Figure III.17. Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du RhB

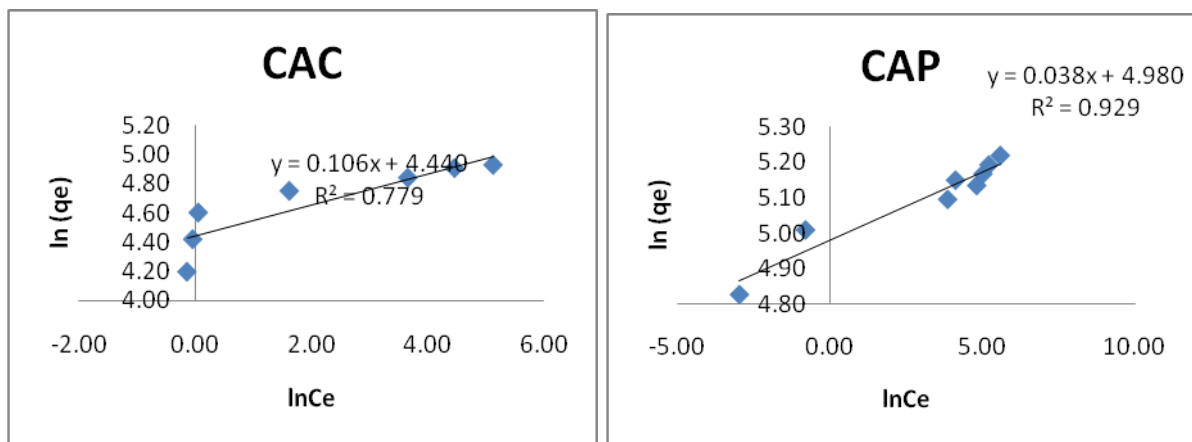


Figure III.18. Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du RhB

Les figures III.16, III.17 et III.18 nous montre que :

- La capacité d'adsorption du RhB par l'adsorbant augmente remarquablement avec l'augmentation de la concentration initiale.
- L'isotherme présente un palier indiquant la saturation des sites de la surface et donc formation de la monocouche
- La linéarité de droite de la figure III.17. Avec un coefficient de régression $R^2=0.999$ pour le CAC et $R^2=0.998$ pour le CAP montre que le système étudié suit le modèle de Langmuir.
- La pente et l'ordonnée à l'origine déterminent la capacité maximale d'adsorption b ainsi que la constante K pour l'adsorbant étudié.

Tableau III.16. Constantes Freundlich & Langmuir d'adsorption du RhB .

Langmuir				
Système	Equation	b (mg/g)	K_L (L/mg)	R²
CAP	Y=0,005x+0,019	200,000	0,263	0,998
CAC	Y=0,007x+0,009	142,857	0,778	0,999
Freundlich				
Système	Equation	n	K_F(L/g)	R²
CAP	Y=0,038x+4,980	26,316	145,474	0,929
CAC	Y=0,106x+0.009	9,434	84,775	0,77

Le tableau III.15 donne les équations des droites obtenues ainsi que les constantes et les coefficients de corrélation et confirme que ce système est bien décrit par le modèle de Langmuir par les deux charbons actif.

III.6.6. Cinétique d'adsorption du RhB

Les modèles cinétiques sont pris en considération afin d'étudier le processus d'adsorption du RhB, en prenant des temps de contact inférieurs au temps d'équilibre, avec les doses et pH optimum trouvés au paravent.

L'étude de La cinétique d'adsorption du RhB sur l'adsorbant à l'état brut a été suivie en appliquant les modèles de Lagergren (pseudo-premier et pseudo-deuxième ordre) et le modèle de diffusion intra particulaire. Nous citons les modèles cinétiques étudiés pour l'élimination du RhB par l'adsorbant avec deux concentrations différentes.

Dans une série des béchers nous avons introduit 25 mL de solutions du RhB et nous avons ajouté 0,15 g d'adsorbant, l'ensemble est agité à des temps de 15 ; 30 ; 60 et 120 minutes puis centrifuger et analyser par spectrophotométrie.

Nous faisons la même chose avec les deux charbons actifs (CAC et CAP). Les résultats de ces mesures sont mentionnés dans les tableaux III.17 et III.18 représentés sur les figures III.18 et III.19.

Tableau III.17. Cinétique d'adsorption du RhB par CAC

$C_0 = 300 \text{ mg/L}$				
t (min)	15	30	60	120
Ceq (mg/L)	1,566	0,730	0,679	0,571
qe (mg/g)	49,739	49,878	49,887	49,905
Ln(qe-qt)	-1,795	-3,627	-4,012	
t/qt (min .g/mg)	0,302	0,601	1,203	2,405
$C_0 = 400 \text{ mg/L}$				
t (min)	15	30	60	120
Ceq (mg/L)	28,444	20,026	6,587	2,423
qe (mg/g)	61,926	63,329	65,569	66,263
Ln(qe-qt)	1,467	1,076	-0,365	
t/qt (min .g/mg)	0,242	0,474	0,915	1,811

Tableau III.18. Cinétique d'adsorption du RhB par CAP

$C_0 = 300 \text{ mg/L}$			
t (min)	15	30	60
Ceq (mg/L)	7,709	4,031	2,474
qe (mg/g)	73,073	73,992	74,381
Ln(qe-qt)	0,269	-0,944	
t/qt (min .g/mg)	0,205	0,405	0,807
$C_0 = 400 \text{ mg/L}$			
t (min)	15	30	60
Ceq (mg/L)	161,862	5,867	2,546
qe (mg/g)	59,534	98,533	99,364
Ln(qe-qt)	3,685	-0,186	
t/qt (min .g/mg)	0,252	0,304	0,604

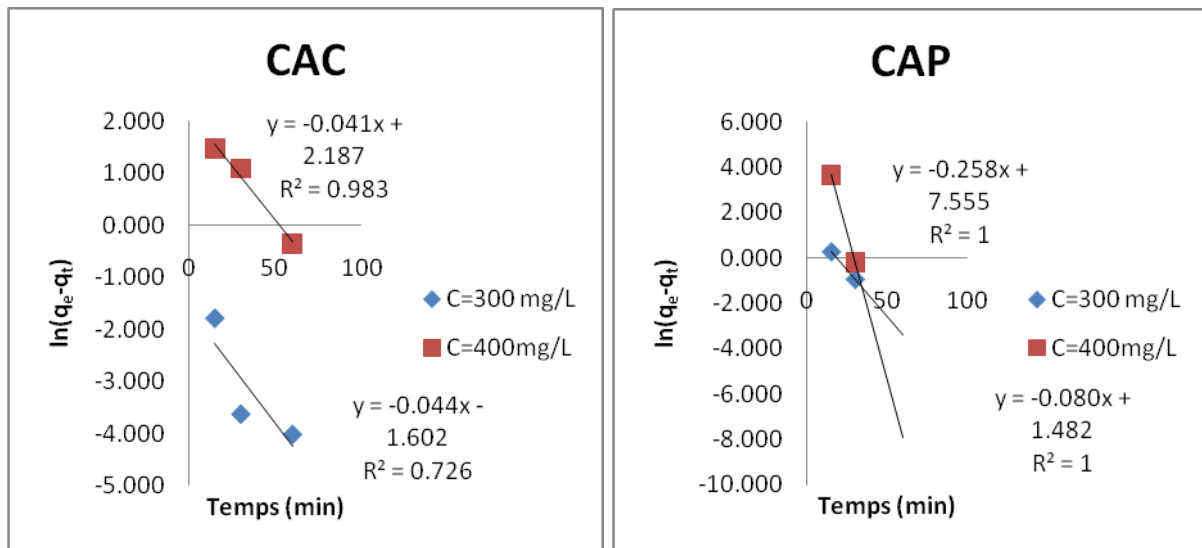


Figure III.19. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du RhB (1^{er} ordre)

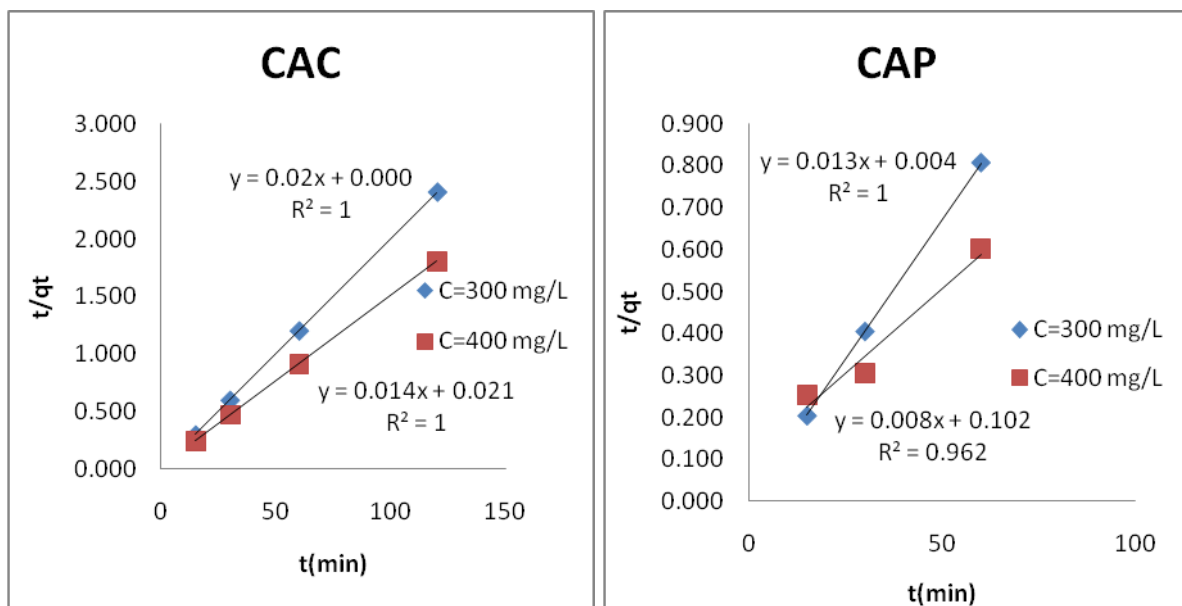


Figure III.20. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du RhB (2^{ième} ordre)

Tableau III.19. Les paramètres cinétiques d'adsorption du RhB par CAC

Système		CAP		CAC	
Co(mg/L)		300	400	300	400
Qexp (mg/g)		74,381	99,364	49,905	66,263
Pseudo 1 ^{ier} ordre	Qe(calc)(mg/g)	0,227	1910,270	0,201	0,112
	K ₁	0,08	0,258	0,044	0,041
	R ²	1	1	0,726	0,983
Pseudo 2 ^{ième} ordre	Qe(calc)(mg/g)	76,92	125,000	50	71,429
	K ₂ (g/mg min)	0,004	0,001	0	0,009
	R ²	1	0,962	1	1

D'après ces résultats on remarque que l'application du modèle de pseudo premier ordre pour l'adsorption de RhB donne des coefficients de détermination (R^2) bas et la quantité fixée par gramme de l'adsorbant à l'équilibre ne correspondent pas à celle trouvées expérimentalement. Donc l'adsorption du RhB par l'adsorbant étudié n'est pas un processus de pseudo premier ordre ; par contre les coefficients de détermination (R^2) du pseudo second ordre sont élevés et varient de 0,99 à 1, les quantités adsorbées sont presque égales à celle trouvées à l'équilibre. On peut conclure que l'adsorbant suit bien le modèle du pseudo second ordre pour les deux charbons actifs.

III.7. Application à l'adsorption du colorant Rouge Bened (RB)

On utilise le même protocole expérimental précédent pour l'élimination du deuxième colorant rouge bened par les deux charbons.

III.7.1. Détermination de la courbe d'étalonnage

III.7.1.1. Préparation de la solution mère (SM)

Une solution mère a été préparée en pesant 1 g de colorant RB dissout dans une fiole de 1000 mL, et on a complétée avec de l'eau distillée, la concentration correspondante est de 1000 mg/L.

III.7.1.2. Préparation des solutions filles

A partir de la solution SM, des étalons avec des concentrations allant de 1 à 30 mg/L ont été préparés.

III.7.1.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Chaque étalon a été analysé dans le domaine de visible par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 504 nm, qui a été déterminée par balayage.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.20 et représentés graphiquement sur la figure III.21.

Tableau III.20. Etablissement de la courbe d'étalonnage du RB

C (mg/L)	0	2	4	6	8	10	12	14	18	30
absorbance	0	0,037	0,081	0,128	0,179	0,212	0,258	0,299	0,372	0,655

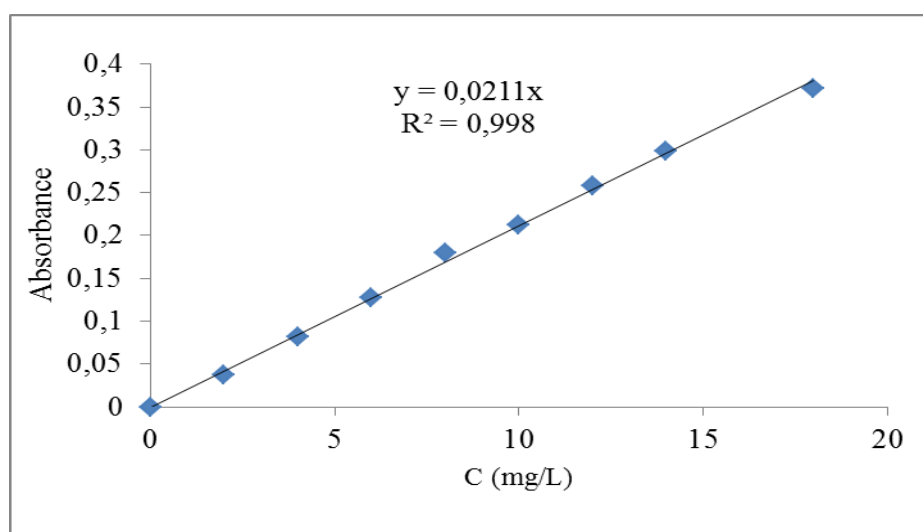


Figure III.21. Courbe d'étalonnage du RB

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de corrélation égal à 0,998 représentant un bon ajustement linéaire.

L'équation de la droite donnant l'absorbance A en fonction de la concentration du RB

est : $A = 0,021 \times C$. Cette équation est utilisée pour calculer la concentration d'une solution inconnue du RB.

III.7.2. Détermination du temps d'équilibre

Tableau III.21. Etude du temps d'équilibre du RB par CAC

$C_0 = 400 \text{ mg/L}$						
t (min)	30	60	120	180	240	300
% élimination	51,984	90,825	92,365	93,698	93,778	94,524
$C_0 = 300 \text{ mg/L}$						
t (min)	30	60	120	180	240	300
% élimination	95,667	95,750	97,060	97,345	97,560	96,583

Tableau III.22. Etude du temps d'équilibre du RB par CAP

$C_0 = 50 \text{ mg/L}$					
t (min)	30	60	120	180	240
% élimination	41,524	44,476	56,571	59,429	65,905
$C_0 = 100 \text{ mg/L}$					
t (min)	30	60	120	180	240
% élimination	75,429	80,429	87,000	89,333	89,571

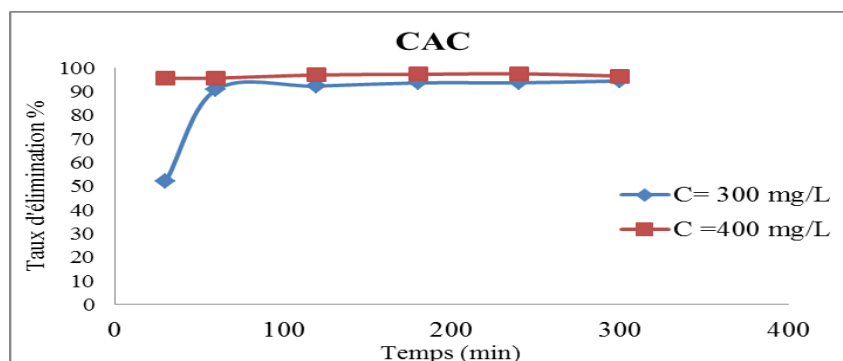


Figure III.22. Taux d'élimination du RB en fonction du temps (CAC)

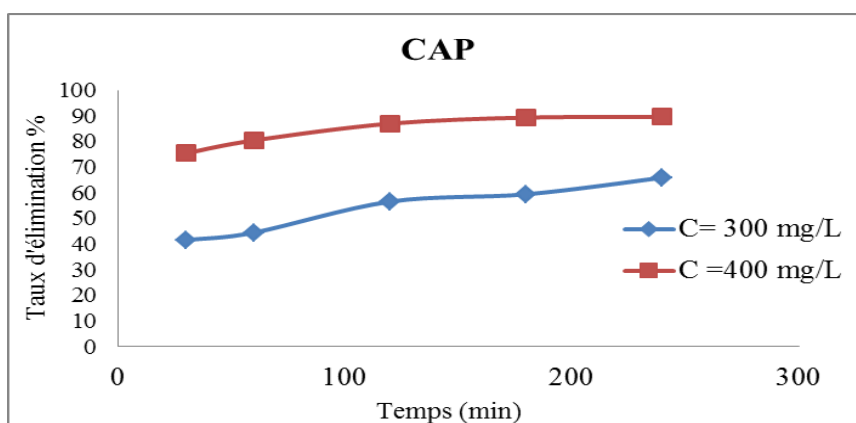


Figure III.23. Taux d'élimination du RB en fonction du temps (CAP)

Les tracés des quantités éliminées du colorant RB sur les deux matériaux en fonction du temps de contact montrent que le taux d'élimination augmente avec l'augmentation du temps pour les deux matériaux (figure III.22 et III.23), l'équilibre est atteint au bout de 180 min sur CAC et de 120 min sur CAP.

III.7.3. Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption

Tableau III.23. Effet de la dose sur l'adsorption du RB par CAC

$C_0 = 400 \text{ mg/L}$							
m (g)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
dose (g/L)	2	4	6	8	10	12	16
Ceq (mg/L)	75,000	18,905	12,143	15,667	19,476	28,381	25,286
% élimination	81,250	95,274	96,964	96,083	95,131	92,905	93,679

Tableau III.24. Effet de la dose sur l'adsorption du RB par CAP

$C_0 = 100 \text{ mg/L}$						
m (g)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
dose (g/L)	2	4	6	8	10	12
Ceq (mg/L)	28,857	13,000	13,476	13,048	15,429	20,667
% élimination	71,143	87,000	86,524	86,952	84,571	79,333

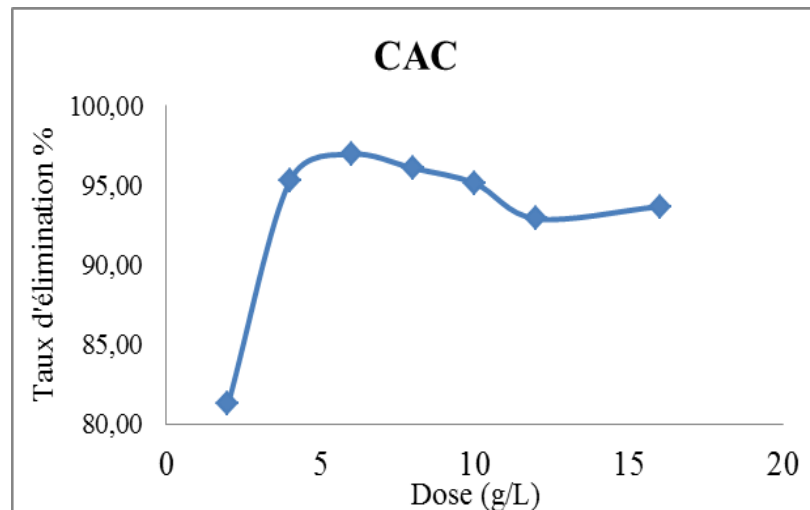


Figure III.24. Taux d'élimination en fonction de la dose (CAC)

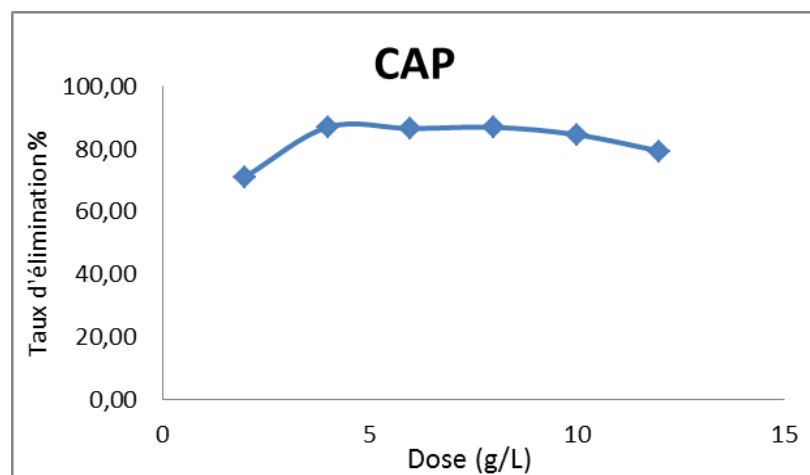


Figure III.25. Taux d'élimination en fonction de la dose (CAP)

Les figure III.24 et III.25 montre que le pourcentage d'élimination augmente avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant jusqu'à un palier de saturation, le pourcentage d'élimination le plus élevé est de 6 g/L pour CAC et de 4 g/L pour CAP.

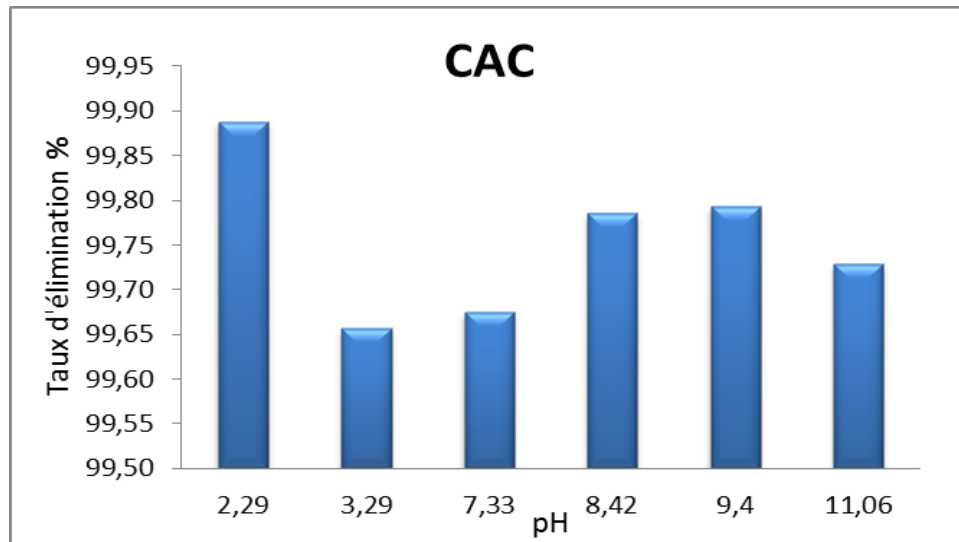
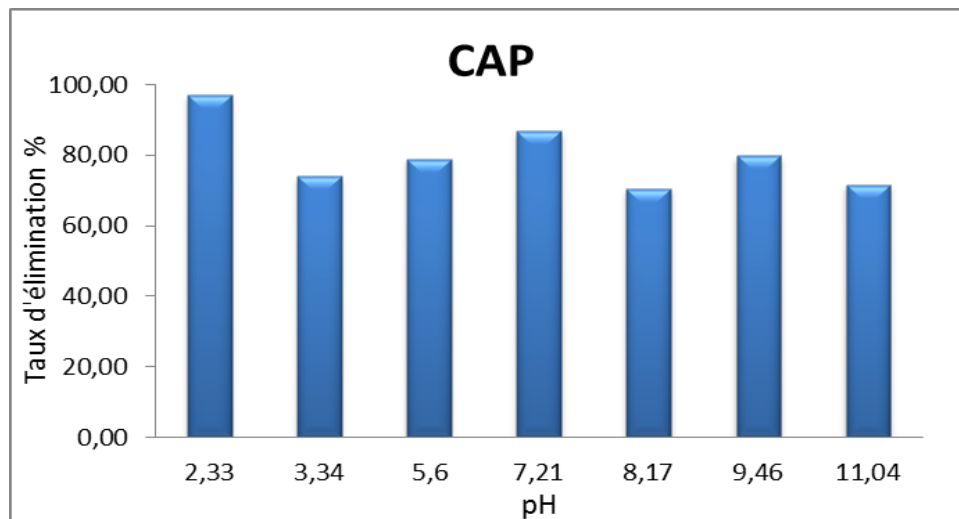
III.7.4. Effet du pH sur l'adsorption du Rouge benned

Tableau III.25. Effet du pH sur l'adsorption du RB par CAC

$C_0 = 400 \text{ mg/L}$						
pH	2,29	3,29	7,33	8,42	9,4	11,06
Ceq (mg/L)	0,449	1,372	1,301	0,857	0,827	1,087
% élimination	99,888	99,657	99,675	99,786	99,793	99,728

Tableau III.26. Effet du pH sur l'adsorption du RB par CAP

$C_0 = 100 \text{ mg/L}$							
pH	2,33	3,34	5,6	7,21	8,17	9,46	11,04
Ceq (mg/L)	2,810	26,000	21,143	13,000	29,571	20,095	28,429
% élimination	97,190	74,000	78,857	87,000	70,429	79,905	71,571

**Figure III.26.** Taux d'élimination en fonction de pH(CAC)**Figure III.27.** Taux d'élimination en fonction de pH(CAP)

D'après les graphes, nous avons vu que la capacité d'adsorption la plus élevée du RB pour les deux charbons actifs pour un pH = 2 ; c'est à ce pH que va être établie l'isotherme d'adsorption.

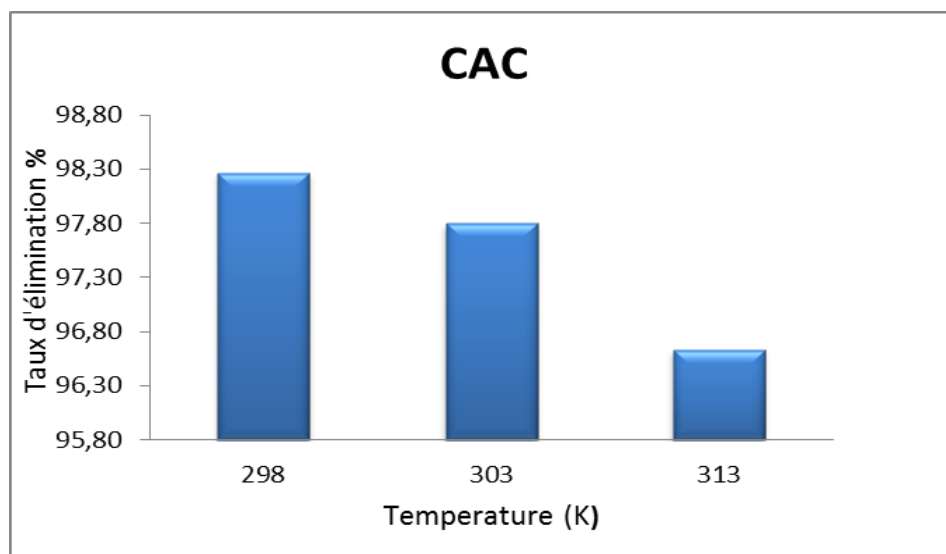
III.7.5. Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du RB

Tableau III.27. Résultats de l'effet de la température sur l'adsorption du RB par CAC

$C_0 = 400 \text{ mg/L}$			
1/T	0,00330033	0,00324675	0,00319489
T(K)	303	308	313
Ceq(mg/L)	2,827	1,347	0,776
Kd	246,653	518,697	901,632
Taux d'élimination	99,596	99,808	99,889
Ln Kd	5,508	6,251	6,804

Tableau III.28. Résultats de l'effet de la température sur l'adsorption du RB par CAP

$C_0 = 200 \text{ mg/L}$			
T(K)	303	308	313
1/T	0,0033	0,0032	0,0032
Ceq (mg/L)	23,524	27,667	31,143
Kd	3,251	2,614	2,211
Taux d'élimination	76,476	72,333	68,857
Ln Kd	1,179	0,961	0,793

**Figure III.28.** Taux d'élimination% du RB à différente température (CAC)

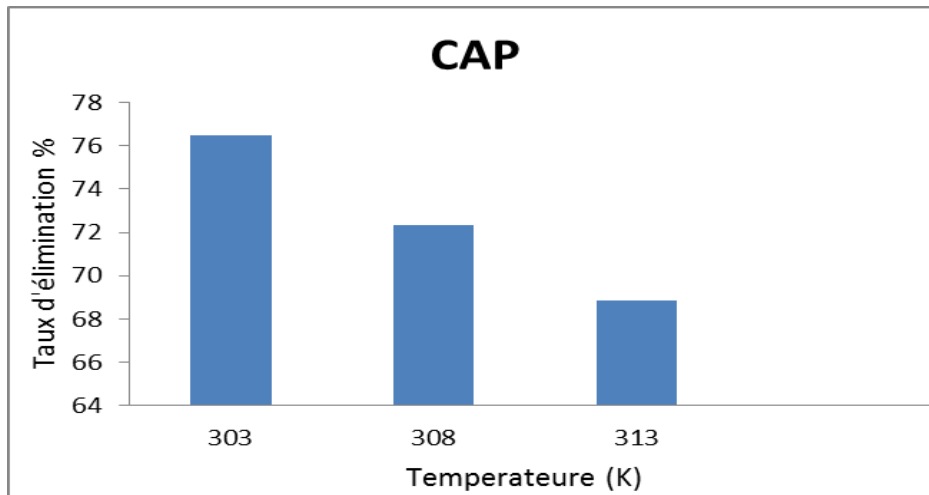


Figure III.29. Taux d'élimination % du RB à différentes températures (CAP)

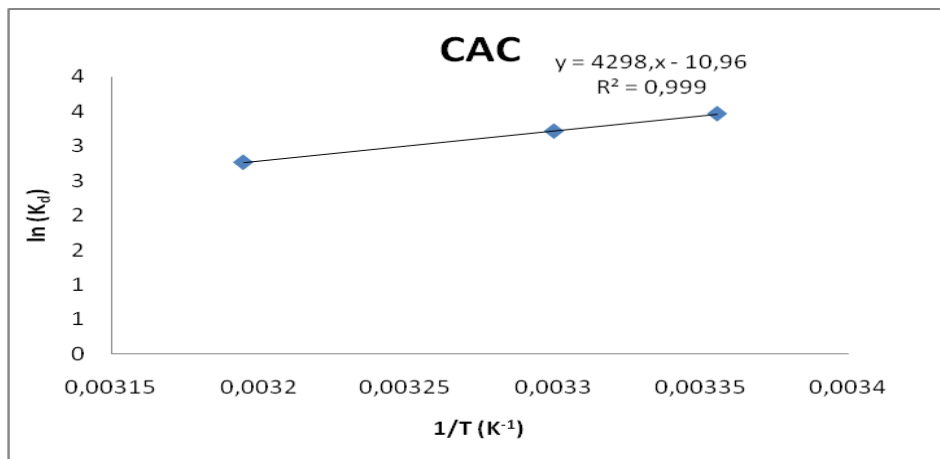


Figure III.30. Evolution de lnKd en fonction de 1/T pour l'adsorption RB (CAC)

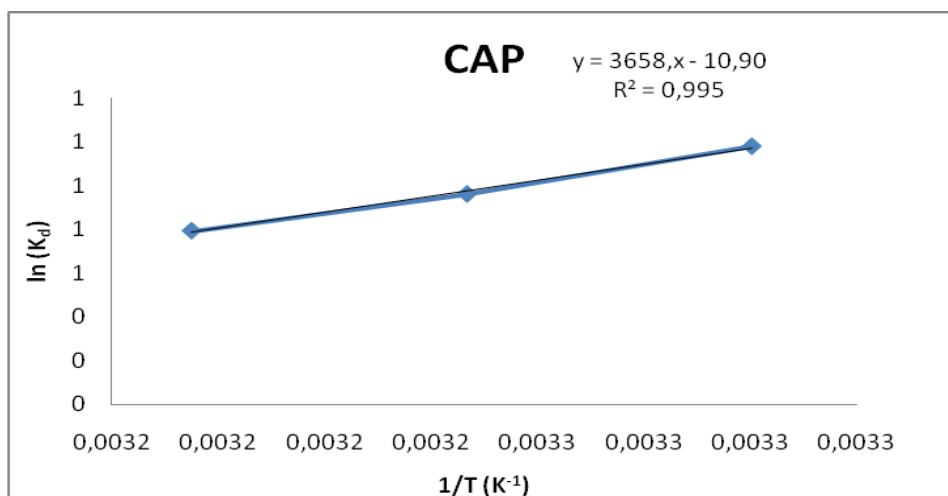


Figure III.31. Evolution de lnKd en fonction de 1/T pour l'adsorption RB (CAP)

Tableau III.29. Paramètres thermodynamiques d'adsorption du RB.

	Equation	ΔG (KJ/mol)			ΔH (KJ/mol)	ΔS (KJ/mol.K)
		T=298(K)	T=303(K)	T=313(k)		
CAC	Y=4298x-10,96	T=298(K)	T=303(K)	T=313(k)	35,734	0,091
		-8,58	-8,10	-7,21		
CAP	Y=3658x-10,90	T=303(K)	T=308(K)	T=313(K)	30,413	0,091
		-2,97	-2,46	-2,06		

D'après le tableau ci-dessus, les valeurs d'enthalpie ΔH° confirment que la réaction d'élimination de Rouge bened par les deux charbons actifs suit un processus endothermique. Les valeurs négatives de l'enthalpie libre ΔG° pour différents points, montrent que le processus d'adsorption du Rouge bened est spontané et favorable.

III.7.6. Isotherme d'adsorption du Rouge bened

Tableau III.30. Résultats obtenus d'isotherme d'adsorption du RB par CAC

C (mg/L)	400	450	550	650	700	850
Ceq (mg/L)	4,000	7,762	11,571	12,381	12,810	15,619
qe(mg/g)	66,000	73,706	89,738	106,270	114,532	139,063
Ceq/qe(g/L)	0,061	0,105	0,129	0,117	0,112	0,112
lnCeq	1,39	2,05	2,45	2,52	2,55	2,75
ln qe	4,19	4,30	4,50	4,67	4,74	4,93
C (mg/L)	1200	1400	1600	1800	2000	
Ceq (mg/L)	110,714	251,190	419,048	610,714	771,429	
qe(mg/g)	181,548	191,468	196,825	198,214	204,762	
Ceq/qe(g/L)	0,610	1,312	2,129	3,081	3,767	
lnCeq	4,71	5,53	6,04	6,41	6,65	
ln qe	5,20	5,25	5,28	5,29	5,32	

Tableau III.31. Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption du RB par CAP

C (mg/L)	100	200	300	400	500	600	700	800	1000
Ceq (mg/L)	2,810	4,667	20,667	41,667	55,952	113,095	155,952	186,905	352,381
qe(mg/g)	24,298	48,833	69,833	89,583	111,012	121,726	136,012	153,274	161,905
Ceq/qe(g/L)	0,116	0,096	0,296	0,465	0,504	0,929	1,147	1,219	2,176
lnCeq	1,03	1,54	3,03	3,73	4,02	4,73	5,05	5,23	5,86
ln qe	3,19	3,89	4,25	4,50	4,71	4,80	4,91	5,03	5,09

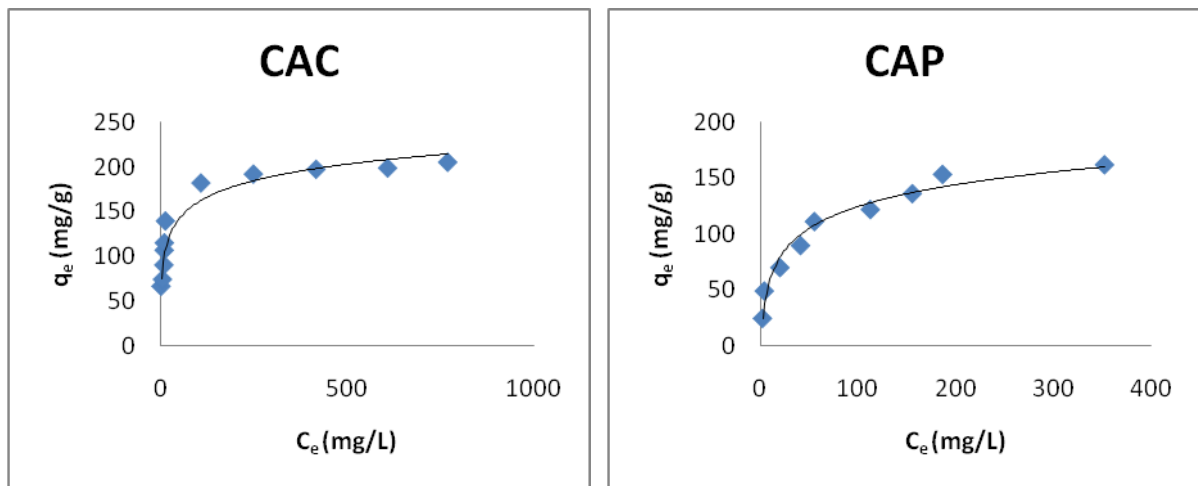


Figure III.32. Isotherme d'adsorption du RB par l'absorbant.

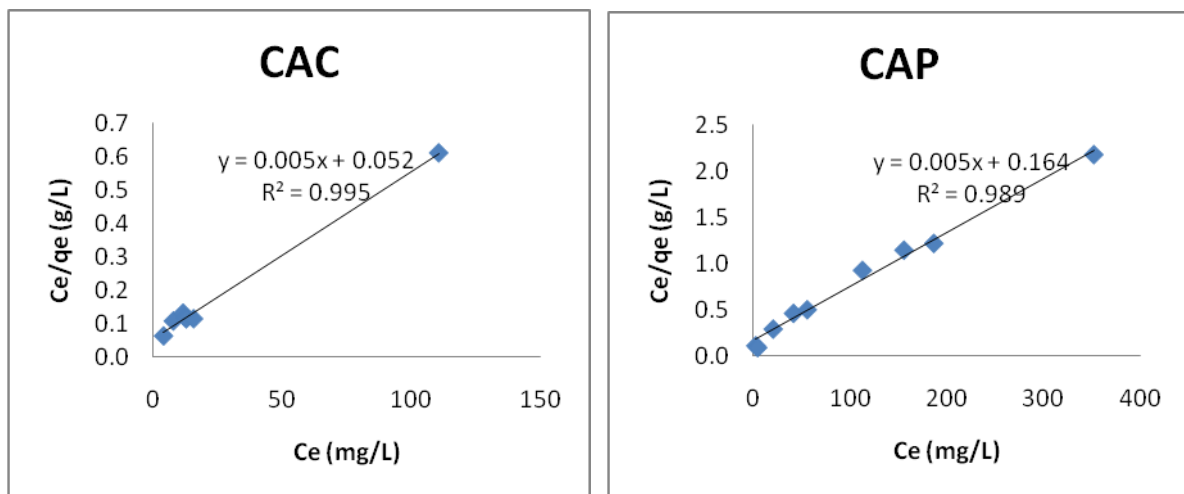


Figure III.33. Application du model de Langmuir pour l'adsorption du RB

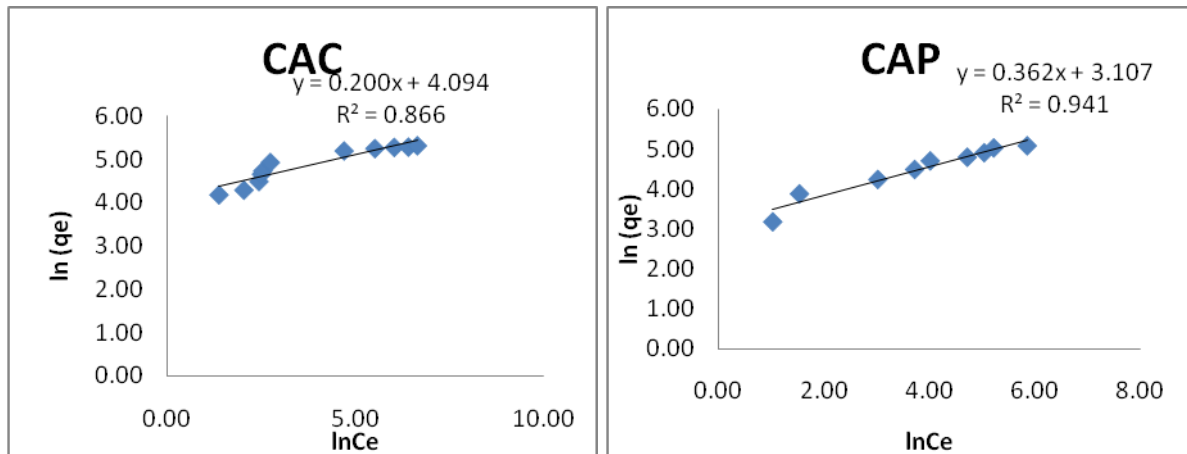


Figure III.34. Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du RB

Les figures III.32, III.33 et III.34 nous montrent que :

- ✓ La capacité d'adsorption du RB par l'adsorbant augmente remarquablement avec l'augmentation de la concentration initiale.
- ✓ L'isotherme présente un palier indiquant la saturation des sites de la surface et donc la formation de la monocouche.
- ✓ La linéarité de droite de la figure III.33. Avec un coefficient de régression $R^2=0.995$ pour le CAC et $R^2=0.985$ pour le CAP montre que le système étudié suit le modèle de Langmuir.

La pente et l'ordonnée à l'origine déterminent la capacité maximale d'adsorption b ainsi que la constante K pour l'adsorbant étudié.

Tableau III. 32. Constantes Freundlich & Langmuir d'adsorption du RB

Langmuir				
Système	Equation	b (mg/g)	K_L (L/mg)	R²
CAP	Y=0,005x+0,164	200,000	0,030	0,99
CAC	Y=0,005x+0,052	200,000	0,096	0,995
Freundlich				
Système	Equation	n	K_F(L/g)	R²
CAP	Y=0,362x+3,107	2,762	22,354	0,77
CAC	Y=0,200x+4,094	5,000	59,979	0,866

Le tableau III.32 donne les équations des droites obtenues ainsi que les constantes et les coefficients de corrélation et confirme que ce système est bien décrit par le modèle de Langmuir.

III.7.7. Cinétique d'adsorption du RB

Tableau III.33. Cinétique d'adsorption du RB par CAC

300 mg/L					
t (min)	15	30	60	120	180
Ceq(mg/L)	25,619	17,333	17,000	11,762	10,619
qe(mg/g)	45,730	47,111	47,167	48,040	48,230
ln(qe-qt)	1,429	1,027	1,007	0,623	
t/qt	0,328	0,637	1,272	2,498	3,732
400 mg/L					
t (min)	15	30	60	120	180
Ceq(mg/L)	163,095	144,048	27,524	22,905	18,905
qe(mg/g)	39,484	42,659	62,079	62,849	63,516
ln(qe-qt)	3,288	3,161	1,431	1,228	
t/qt	0,380	0,703	0,967	1,909	2,834

Tableau III.34. Cinétique d'adsorption du RB par CAP

50mg/L				
t (min)	15	30	60	120
Ceq (mg/L)	34,524	29,238	27,762	21,714
qe (mg/g)	3,869	5,190	5,560	7,071
Ln(qe-qt)	0,525	0,632	0,413	
t/qt (min .g/mg)	3,877	5,780	10,792	16,970
100 mg/L				
t (min)	15	30	60	120
Ceq (mg/L)	27,048	24,571	19,571	13,000
qe (mg/g)	18,238	18,857	20,107	21,750
Ln(qe-qt)	1,256	1,062	0,496	
t/qt (min .g/mg)	0,822	1,591	2,984	5,517

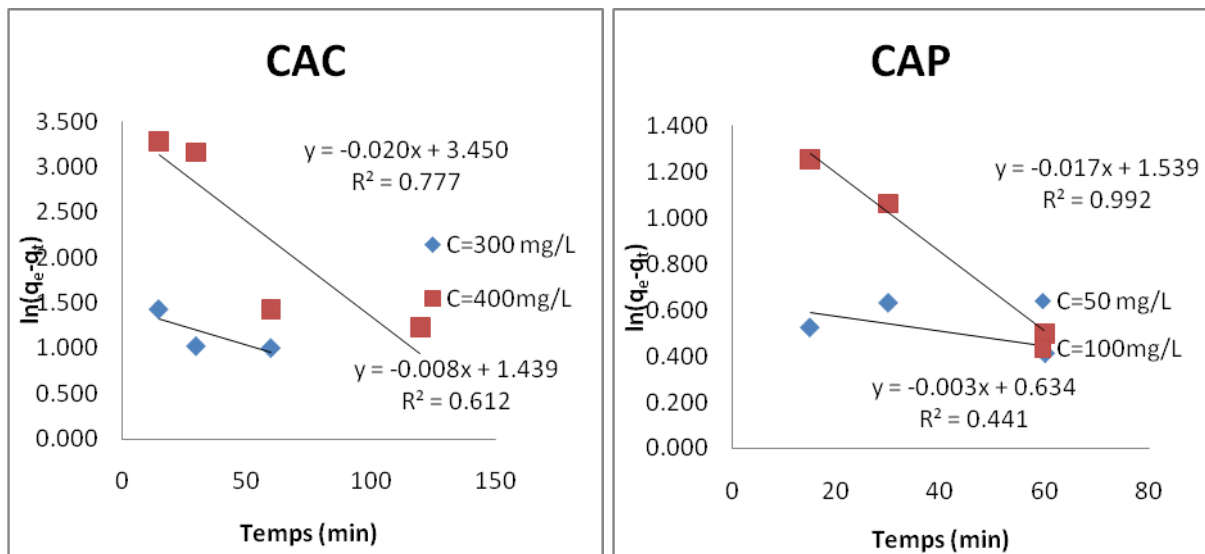


Figure III.35. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du RB (1^{ier} ordre)

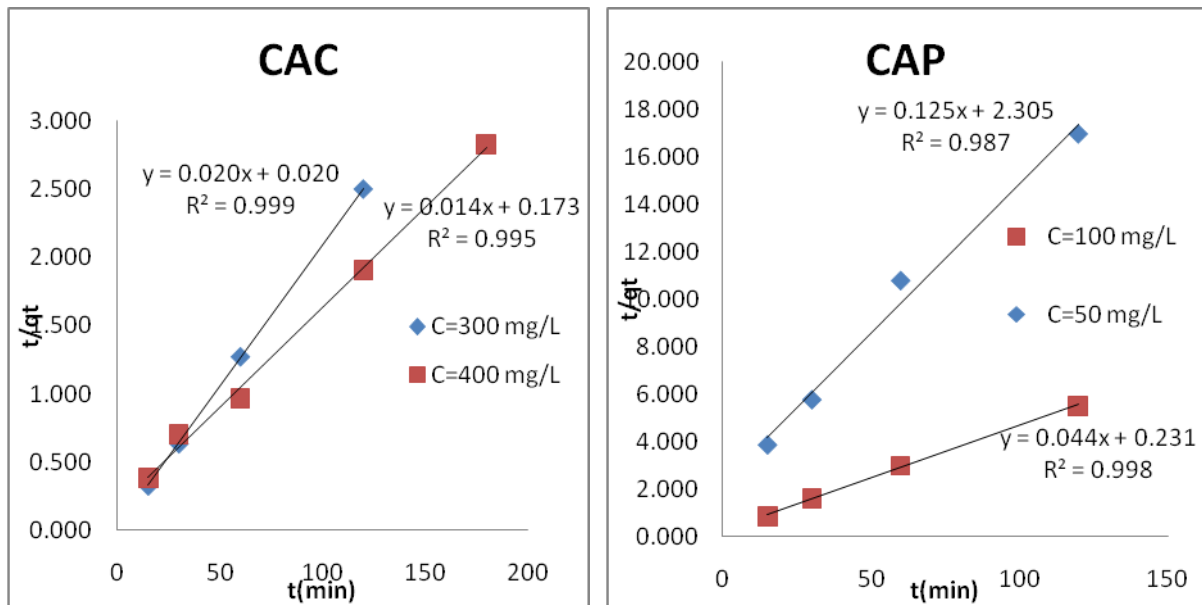


Figure III.36. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du RB(2^{ème} ordre)

Tableau III.35. Les paramètres cinétiques d'adsorption du RB

Système		CAP		CAC	
C0(mg/L)		50	100	300	400
Qexp (mg/g)		7,071	21,750	48,230	63,516
Pseudo 1 ^{er} ordre	Qe(calc)(mg/g)	1,885	0,215	0,201	0,032
	K ₁	0,003	0,017	0,008	0,02
	R ²	0,41	0,987	0,612	0,777
Pseudo 2 ^{ème} ordre	Qe(calc)(mg/g)	8	22,727	50	71,429
	K ₂ (g/mg min)	0,007	0,008	0,02	0,001
	R ²	1	0,998	0,999	0,995

D'après ces résultats on remarque que l'application du modèle de pseudo premier ordre pour l'adsorption de RB donne des coefficients de détermination (R²) bas et la quantité fixée par gramme de l'adsorbant à l'équilibre ne correspondent pas à celle trouvées expérimentalement. Donc l'adsorption du RB par l'adsorbant étudié n'est pas un processus de pseudo premier

ordre ; par contre les coefficients de détermination (R^2) du pseudo second ordre sont élevés et varient de 0,99 à 1 , les quantités adsorbées sont presque égales à celle trouvées à l'équilibre. On peut conclure que l'adsorbant suit bien le modèle du pseudo second ordre pour les deux charbon actif.

Conclusion générale

Notre travail a été effectué au Laboratoire de la faculté des sciences et technologie à l'université de MOSTAGANAM SEA2M.

Cette étude a été réalisée en trois étapes, la première est la préparation du charbon actif à partir d'un déchet solide et la deuxième étape est la caractérisation de charbon actif commerciale et le charbon actif obtenu et la dernière étape est l'étude de l'élimination des deux colorants (rouge beneed et rhodamine B) sur les deux charbons actifs .

L'élimination a été suivie en fonction des paramètres physico-chimiques tels que: le pH de la solution, le temps de contact ,le rapport solide sur solution. Des études cinétiques et thermodynamiques ont été réalisées afin de suivre le processus d'élimination de ce colorant. Différents modèles mathématiques tels que (Langmuir, Freundlich, pseudo premier ordre, et pseudo deuxième ordre), ont été appliqués.

Les principaux résultats de cette étude montrent que :

- La valeur de l'indice d'iode pour le CA Merck 919,50 mg/g et 1019,85 mg/g pour le CAP.
- La valeur de l'indice du bleu de méthylène pour le CA Merck 122,15 mg/g et 227,20 mg/g pour le CAP.
- La modélisation de la cinétique a montré que le modèle de pseudo second ordre est le plus adéquat pour décrire la cinétique d'élimination des deux colorants (RhB et RB) pour les deux charbons.
- La modélisation des isothermes d'adsorption montre que le modèle de Langmuir est le modèle le plus applicable pour décrire l'isotherme des deux colorants avec une valeur du coefficient de détermination supérieure à 0,98 pour les deux charbons.
- Comparativement avec le charbon commercial de Merck, la performance du charbon actif préparé est supérieure puisque la capacité d'adsorption est 200 mg/g pour le Rhodamine B et le Rouge Bénéed.
- L'effet de la température sur l'élimination des deux colorants par les deux charbons a montré que le processus est endothermique ($\Delta H > 0$). La valeur négative de l'énergie de Gibbs ($\Delta G^\circ < 0$) indique que le processus d'élimination de ces polluants par les charbons est spontané.

De cette étude, nous pouvons conclure que le charbon actif préparé est efficace par rapport au charbon commercial avec une microporosité et mésoporosité importante.

Liste des abréviations et symboles

q_e : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

Q_t : Quantité d'adsorbat par gramme d'adsorbant à un temps t (mg/g).

Q_{max} : Capacité maximale d'adsorption (mg/g).

C_o : Concentration initiale de l'adsorbat en (mg /l).

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

V : Volume de l'adsorbat (ml).

m : masse du solide (l'adsorbat) en (g).

b : constante correspondant à l'énergie d'adsorption.

K_L : facteur de séparation.

K_f : Constante de Freundlich associée à la capacité d'adsorption.

n : paramètre énergétique de Freundlich.

K_1 : Constante de vitesse d'adsorption du pseudo premier ordre (min^{-1}).

K_2 : Constante de vitesse d'adsorption du pseudo deuxième ordre ($\text{g/mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

t : Temps de contact (min).

K_d : Coefficient de distribution (l /g).

ΔG° : Energie libre (KJ/mol).

ΔH° : Enthalpie (KJ/mol).

ΔS° : Entropie (J/mol.K).

R : Constante de gaz parfaits (J/mol.K) .

T : Température (Kelvin).

RhB : Rhodamine B.

RB : Rouge bened.

CAC : Charbon actif commerciale .

CAP : Charbon actif préparé .

Références bibliographiques

Références bibliographique

- [1] E. Forgacs, T. Cserhati, G. Oros. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environ. Int. 30 (2004) 953–971.
- [2] Jankowska, H.; Swiatkowski, A. and Choma, J. "Active carbon" Ellis Harwood (1991).
- [3] Devong, G. J., U. S. Patent 3, 886, 088, May 27, (1975).
- [4] C. H Giles, T. H. Macewan, D. Smith, J. Chem. Soc., 3973-3993, 1960.
- [5] R. Calvet, M. Terce, J.C. Arvieu, Ann. Agron 31 (1980) 385-427.
- [6] M.A. Ferro-Garcia, J. Rivera-Utrilla, I. Bantista-Teled, A.C. Moreno-Castilla, Langmuir 14 (1998) 1880-1886.
- [7] N. Senesi, Y. Chen, z. Gerstl, Y. Chen, U. Mingelgrin, B. Yaron, Editors, springer- Verlag, Berlin, (1989) p. 37-90.
- [8] C.E. Chitour, Physico-chimie des surface, vol 2, édition OPU 1992.
- [9] C. Chitour, « physico-chimie des surfaces volume 2 les interfaces gaz - solide et liquide– liquide ». OPU 2004.
- [10] D. Guignard, L'essentiel de la cinétique et de la thermodynamique chimique, Edition Eyrolles, 85-96, Paris, 1992.
- [11] E.G. Dégréement, Polyamines adsorbées sur silice caractérisation physico-chimique : Application au traitement des eaux : Etude préliminaire, Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 1996.
- [12] Vincent Rocher, « Synthèse et caractérisation de billes d'alginate magnétiques pour l'élimination de polluants organique dans les effluents par séparation magnétique », thèse doctorat, Université de pierre et Marie Curie (2008).
- [13] L.M Sun et F. Meunier. Adsorption : Aspects théoriques, techniques de l'ingénieur J2730, 2007
- [14] Lamri NAIDJA « Elimination du colorant orange II en solution aqueuse par voie photochimique et par adsorption ». Mémoire de Magistère, Université de Constantine, 2010.
- [15] H. Zerouali et H. Bessha « Elimination de deux colorants par une bentonite modifiées » Mémoire de fin d'étude. Université de Mostaganem, 2009.

Références bibliographiques

- [16] Belayachi.H,"Préparation et caractérisatin d'un support adsorbant à partir des pépins de raisin pour l'adsorption de substances organiques dans les solution simples et binaires". Thèse de Magister. Département de chimie. Université de Mostaganeme.(2009)
- [17] Bansal, R. C., Donnet, J. B., Stoekly, F. dans "Active Carbon", Ed. Marcel Dekker New York, (1988).
- [18] DEGUMENT, "Momento technique de l'eau", 8ème édition, Technique et Documentation, Paris (1978)
- [19] Bautista-Toledo, I., Rivera-Utrilla, J., Ferro-Garcia, M. A., Moreno-Castilla, C., Carbon 32 (1994)93-100
- [20] Davini, P. Carbon 29 (1991) 321-327
- [21] Bradley, R. H., Rands, B., Fuel 72 (1993) 389-393
- [22] Banerjee, S. K., Majumdar, S., Dutta, A. C., Roy, A. K., Banerjee, S. C., Banerjee, D. K., Ind. Technol., 14 (1976) 45-49
- [23] Rodriguez-Reinoso, F., Martin-Martinez, J. M., Molina-Sabio, M., Carbon, 23 (1985) 19-24
- [24] Lopez-Gonzalez, J de D., Valenzuela-Calahorro, C., Navarette-Guijosa, A., Gomez-Serrano, V., Carbon 18 (1980) 413-418
- [25] Rodriguez-Reinoso, F., Lopez-Gonzalez, J de D., Berenguer, C., Carbon, 22 (1984) 13-18
- [26] Gergova, K., Petrov, N., Minkova, V., J. Chem. Biotechnol., 56 (1993) 77-82 39
- [27] Lopez-Ramon, M. V., Moreno-Castilla, C., Rivera-Utrilla, J., Hidalgo-Alvarez, R. Carbon, 31 (1993) 815-819
- [28] Jankowska, H.; Swiatkowski, A. and Choma, J. "Active carbon" Ellis Harwood (1991)
- [29] Blanco Castro, J., Bonelli, P.R., Cerella, E.G. and Cukierman, A.I. 2000. Phosphoric Acid Activation of Agricultural Residues and Bagasse From Sugar Cane : Influence of the Experimental Conditions on Adsorption Characteristics of Activated Carbons, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 39, 4166-4172.
- [30] Devong, G. J., U. S. Patent 3, 886, 088, May 27, (1975)
- [31] Katori, K., Nagai, H. and Shūki, Z., U. S. Patent 4, 045, 368, Aug. 30, (1977)