

Étude de l'adsorption d'un colorant cationique en milieu aqueux sur le charbon actif Issu de la ferula communis

S.M. Messabih¹, K. Benrachedi¹, M. Makhlouf², K.D. Belaid³, O. Bouchher¹, K.Louhab¹

¹Laboratoire de Technologie Alimentaire. Faculté de Technologie, Université M'hamed Bougarra- Boumerdès, 35000 Boumerdes–Algérie

²Académie Militaire de Cherchell Défunct Président Houari Boumediene, Tipaza–Algérie

³Département de pharmacie, Faculté de Médecine, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, BP 89, 22000 Sidi Bel Abbès–Algérie

*Auteur correspondant : s.messabih@univ-boumerdes.dz ; Tél: 0661714659

ARTICLE INFO

Article History :

Received : 12/01/2020

Accepted : 28/06/2020

Key words:

Ferula Communis;
Activated Coal; Dye;
Adsorption.

Mots clés:

Ferula Communis;
Charbon Actif; Colorant;
Adsorption.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: This study is devoted to the preparation of powder activated of a coal from the crushed stems of *Ferula communis* harvested in the hillsides of the Tipaza province in northern Algeria. The plant material was impregnated with phosphoric acid (H_3PO_4) and then carbonized at $550^\circ C$ in a muffle furnace. The results obtained by characterization of the adsorbent material showed a high porosity and a specific surface of $1377 m^2/g$. Applications of the neutral red dye adsorption on the activated coal, in an aqueous medium, have shown an adsorbate removal capacity of up to $666 mg/g$. The thermodynamic study has shown that the adsorption process is spontaneous and endothermic.

Résumé: La présente étude est consacrée à la préparation d'un charbon actif en poudre à partir des tiges broyées de la *Ferula communis* récoltées dans les coteaux de la wilaya de Tipaza au nord de l'Algérie. La matière végétale a été imprégnée à l'acide phosphorique (H_3PO_4), puis carbonisée à $550^\circ C$ dans un four à moufle. Les résultats obtenus par caractérisation du matériau adsorbant ont montré une importante porosité et une surface spécifique de $1377 m^2/g$. Les applications de l'adsorption du colorant rouge neutre sur le charbon actif, dans un milieu aqueux, ont révélé une capacité d'élimination de l'adsorbat allant jusqu'à $666 mg/g$. L'étude thermodynamique a montré que le processus de l'adsorption est spontané et endothermique.

I. Introduction

L'eau est une ressource naturelle la plus importante sur notre terre. Les principales sources de contamination de l'eau comprennent les rejets d'eaux usées provenant des industries [1], des activités agricoles [2], des eaux usées municipales [3], la dégradation de l'environnement et les changements climatiques [4]. La présence des contaminants comme les métaux lourds [5], les colorants [6] et les micro-organismes, même à l'état de traces, est très dangereuse pour la santé

humaine, les systèmes aquatiques et l'environnement [7].

L'origine des eaux résiduaires colorées est pratiquement industrielle principalement celle du textile, du cuir [8,9], des entreprises cosmétique, pharmaceutique [10,11], et agroalimentaire [12]. Les colorants sont principalement des composés aromatiques et hétérocycliques, leur structure complexe et stable comprend des chromophores et des groupements fonctionnels polaires qui sont difficilement dégradables.

Les eaux usées colorées sont habituellement traitées par des procédés physiques ou chimiques. Ceux-ci comprennent la floculation, la flottation [13,14], l'électrocoagulation seule ou combinée à la flottation [15,16], la précipitation, les techniques d'oxydation telle que l'oxydation photo-catalytique [17,18] et l'ozonation, la filtration membranaire [19,20], les échanges d'ions et l'adsorption [21,22].

Le procédé de l'adsorption est la technique la plus efficace pour l'élimination des colorants en raison de son faible coût, de sa capacité d'adsorption élevée et de son innocuité pour l'environnement [23]. Le principe du traitement par adsorption est de piéger les colorants par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe, dans la littérature, plusieurs matériaux solides pouvant être utilisés dans des procédés de décoloration des eaux tels que les charbons actifs [24], les argiles, les zéolites [25,26].

Les charbons actifs sont les plus utilisés, fabriqués à partir d'une variété de précurseurs à teneur élevée en carbone, comme le bois, les algues filamenteuses [27,28], les noyaux du jujubier sauvage, les noyaux des fruits jaunes du prunier mombin [29,30], les bois des noix et de peuplier [31]. L'avantage est que ces matériaux sont renouvelables et potentiellement moins chers à fabriquer.

Notre étude porte sur l'élimination d'un colorant textile qui est le rouge neutre par un charbon actif issu des tiges de la Ferula communis.

Nous avons étudié l'influence des paramètres suivants sur l'adsorption du colorant : la concentration de la solution en colorant, le temps de contact entre l'adsorbant et l'adsorbat, la masse de l'adsorbant, la température du milieu réactionnel.

Dans ce contexte, l'adsorption apparaît comme une méthode alternative très intéressante aux procédés physico-chimiques classiques, utilisant des matériaux de déchets naturels d'origine biologique qui sont souvent peu ou mal valorisés. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail de recherche.

II. Matériels et méthodes

II.1 Matériaux

II.1.1 Préparation de l'adsorbant (CAF)

Les tiges de la plante Férula ont été découpées et broyées pour obtenir des écorces d'environ 3 mm et qui sont ensuite lavées à l'eau distillée bouillante, puis séchées à l'étuve à 105°C pendant 24h. L'activation chimique a été réalisée par une imprégnation à froid et pendant 24 heures dans une solution d'acide phosphorique (H₃PO₄) dans un rapport massique (matière végétale et agent activant) égal à 1/2. L'échantillon activé de la Férula est mis dans un creuset à couvercle en céramique puis introduit dans un four à moufle pour subir une carbonisation avec une vitesse de chauffe de 10°C/min et maintenue à la température de

550°C durant une heure. Le produit obtenu est lavé avec de l'eau distillée sous agitation pendant une heure (1h) plusieurs fois jusqu'au pH du surnageant devient 6,4. Le charbon actif de la Férula (CAF) est séché à l'étuve à 110°C pendant 24h, puis tamisé et conservé à l'abri de l'air.

II.1.2 Adsorbat

Le polluant considéré dans notre étude est le colorant rouge basique dénommé Neutral Red C.I. 50040 (Sigma-Aldrich). La figure 1 présente sa structure chimique développée et ses principales caractéristiques sont mentionnées sur le tableau 1. La solution mère de concentration massique égale à 500 (mg/l) a été préparée en dissolvant 500 mg de colorant dans l'eau distillée.

II.1.3 Caractérisation du CAF

Le charbon actif (CAF) a été soumis à une analyse par le microscope électronique à balayage (Quanta 250 à filament de tungstène) pour voir la morphologie externe du matériau étudié.

L'échantillon de charbon actif a été soumis à l'analyse de spectroscopie d'infra-rouge (FTIR) au moyen d'un spectromètre à transformée de Fourier.

L'analyse de la surface spécifique BET a été effectuée à l'aide d'un appareil de type Quanta chrome Nova Instruments (surface area and pore size Analyzer).

La valeur du pH de point de charge zéro ou nulle pour lequel la charge globale de l'adsorbant est égale à zéro (pH_{pzc}) a été fixée grâce à la méthode indiquée par Belaid, K. & Kacha, S. [32].

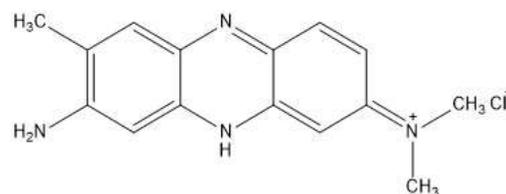


Figure 1. Structure chimique du colorant rouge basique RBNR

Tableau 1. Principales caractéristiques du colorant rouge basique RBNR

Synonyme	Basic red 5
Formule	C ₁₅ H ₁₇ ClN ₄
Masse moléculaire (g*mol ⁻¹)	288,78
Indice de couleur	50040
pKa ^a	7.1
Nombre d'enregistrement Beilstein	3918740
Nombre EC	209-035-8
Identification de substance	24886369

Pubchem	
Aspect	Poudre
Solubilité	50g/L à 20°C
λ_{max}^b	528 nm

^a *Ka*: constant d'acidité; $pKa = -\log Ka$;

^b Longueur d'onde d'absorption maximale

II.2 Méthodes

Les essais d'adsorption sur le charbon actif élaboré (CAF) ont été réalisés en ajoutant une masse de 0.05 g d'adsorbant à 50 ml de solution de concentration connue de colorant étudié. Toutes les expériences ont été effectuées sous une agitation de 200 tr/min. La température et le pH du milieu réactionnel ont été mesurés au début de chaque application d'adsorption sur le charbon actif (CAF).

A l'arrêt de chaque expérience, le mélange de la réaction subit une centrifugation pour isoler l'adsorbant de la solution. La détermination des concentrations du colorant restantes après l'adsorption a été pratiquée par un spectrophotomètre UV-Visible à une longueur d'onde d'absorption de 528 nm. Le pourcentage éliminé R (%) et la quantité adsorbée q_e (en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) du rouge basique à l'équilibre ont été calculés par les formules suivantes :

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{m} \quad (2)$$

où C_0 et C_e (en mg/l) sont les concentrations initiales et à l'équilibre du colorant en solution ; V (en Litre) est le volume de la solution ; m est la masse de l'adsorbant (en gramme).

II.2.1 Influence de la masse de l'adsorbant

L'étude de l'effet de la quantité du charbon actif a été effectuée en dispersant à chaque expérience en ordre croissant des masses de matériau adsorbant sur chaque volume de 50 ml de solution d'adsorbant à $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Les réactions d'adsorptions se déroulent sous agitation de $200 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, durant 1h à 25°C et à un pH égal à 6,78. Les concentrations résiduelles du rouge basique dans les échantillons sont déterminées par un spectrophotomètre à la longueur d'onde d'absorption égale à 528 nm.

II.2.2 Influence du temps de contact : cinétique

Les expériences de cinétique ont été effectuées en utilisant des solutions de concentrations d'adsorbant

(RBNR) de 50, 100 et 150 mg/l . Pour chaque application, une masse de 0.05 g de charbon actif (CAF) a été ajoutée à un volume de 50 ml de solution colorée. Le mélange de la réaction est agité à $200 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, à température de 25°C et à pH fixé à 6,78.

II.2.3 Influence de la température

Les essais de l'effet de la température sur la réaction d'adsorption du matériau adsorbant (CAF) avec le colorant (RBNR) ont été réalisés à différentes températures de 301, 313, et 323 K. Une masse de 0.05 g a été additionnée à 50 ml de solution colorée à $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Le mélange réactionnel subit une agitation de $200 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ pendant 60 min. À la fin de la réaction, les échantillons ont été analysés par spectrophotométrie UV-Visible pour déterminer la concentration résiduelle.

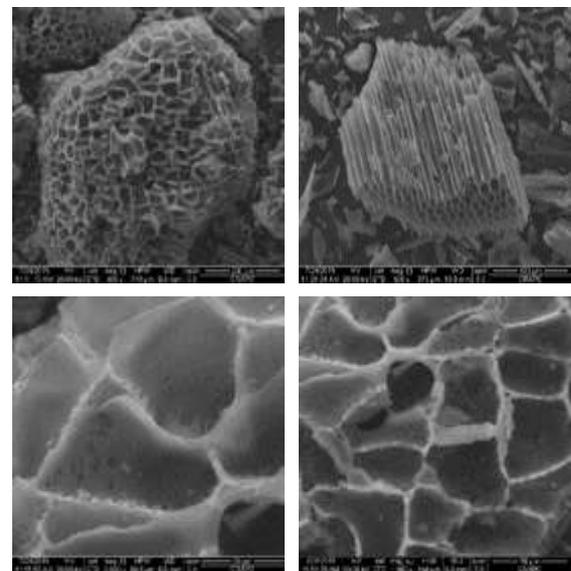


Figure 2. Images de l'analyse au MEB du charbon actif (CAF)

III. Résultats et discussion

III.1 Caractérisation du charbon actif (CAF)

L'échantillon du CAF a été analysé par un microscope électronique à balayage (MEB) pour voir la nature des pores à la surface des particules du matériau adsorbant étudié. Les images obtenues présentent une porosité importante de tailles différentes (31, 44, 46 μm). La présence de plusieurs diamètres de particules du matériau a été visualisée de $200\times$ à $3000\times$ d'agrandissement (Figure 2).

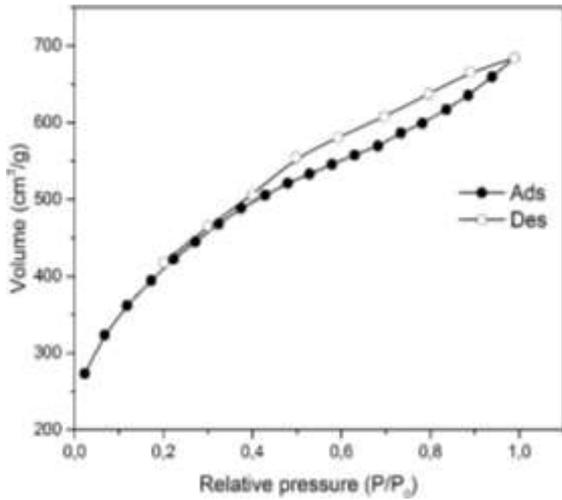


Figure 3. Isothermes d'adsorption-désorption de N₂

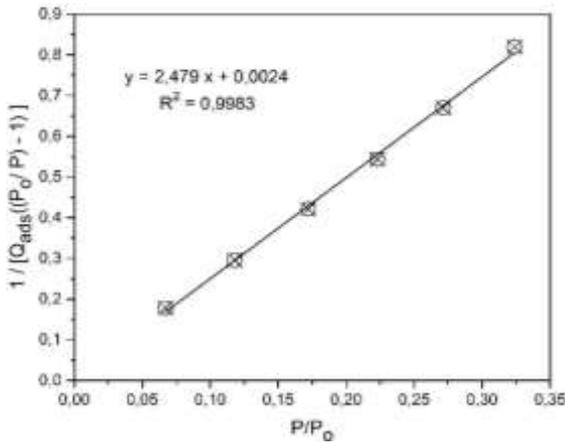


Figure 4. Droite de l'équation BET

L'analyse effectuée de l'isotherme d'adsorption-désorption de l'azote liquide N₂ sur le matériau adsorbant à 77 K a permis de calculer la surface spécifique S_{BET} du charbon actif en appliquant le modèle BET (Brunauer, Emmett et Teller) sous sa formule linéaire (3) [33] et la relation (4). La courbe de l'isotherme d'adsorption-désorption est de type IV (figure 3). La boucle d'hystérésis de type H signifie la présence des micropores et des méso pores simultanément.

$$\frac{p/p_0}{Q_{ads}(1 - p/p_0)} = \frac{1}{[Q_{ads}((p_0/p) - 1)]}$$

$$= \frac{1}{Q_m \times C} + \frac{C - 1}{Q_m \times C} \times \frac{p}{p_0} \quad (3)$$

où P est la pression d'adsorption et P₀ est la pression de vapeur saturante du gaz à la température de l'expérience ; Q_{ads} (g/g) est la quantité du gaz adsorbé à la pression d'équilibre P ; Q_m (g/g) est la quantité maximale en gramme de l'azote adsorbée par unité de masse de l'adsorbant.

La droite tracée de l'équation BET (figure 4) permet de déterminer les constantes Q_m et C à partir des valeurs de la pente $(\frac{C-1}{Q_m \times C})$ et de l'ordonnée à l'origine $(\frac{1}{Q_m \times C})$.

$$Q_m = 0.403 \text{ g/g } (14,39.10^{-3} \text{ mol/g}); C = 1033.92$$

$$S_{BET} = \sigma \times Q_m \times N_A \quad (4)$$

Avec σ : Surface occupée par une molécule d'azote (16,2.10⁻²⁰ m²) ; N_A : Nombre d'Avogadro (6,022.10²³ mol⁻¹) ;

Les données de l'analyse BET sont présentées dans le tableau 2.

Le spectre infrarouge TFIR (figure 5) du charbon actif montre des bandes d'absorption liées aux liaisons suivantes : O-H (3412 cm⁻¹), C-H (2916cm⁻¹), C=O (1704 cm⁻¹), C=C (1576 cm⁻¹), C-O (1384 ; 1170; 1074 cm⁻¹).

Tableau 2. Propriétés texturales du charbon actif CAF

Surface spécifique (m ² /g)	
Point unique	1377
Multi point. BET	1403
Surface spécifique. Langmuir	2958
Volume total de pores à rayon (cc/g)	
Méthode HK. Volume cumulé des pores	0.8024
Méthode SF. Volume cumulé des pores	0.8047
Taille de pores (Å)	
Rayon moyen de pore	15.07
Méthode HK. Rayon de pore	2.158
Méthode SF. Rayon de pore	2.261

La détermination du point de charge zéro (figure 6) permet de prédire si la réaction de l'adsorption est favorable dans un intervalle de pH de la solution. Si le pH de la solution colorée est inférieur au pH_{PZC}, la surface du charbon actif (CAF) sera protonée par des charges positives de H⁺ et dans ce cas les charges négatives de l'adsorbant seront attirées vers l'adsorbant. Dans le cas contraire, le pH du milieu réactionnel est supérieur au pH_{PZC}, ce qui rend la surface chargée négativement par des ions HO⁻ et devient attractrice d'adsorbant ayant des charges positives. L'intersection de la courbe avec l'axe des valeurs du pH initiale (pH_i) correspond au pH_{PZC} de 5,24.

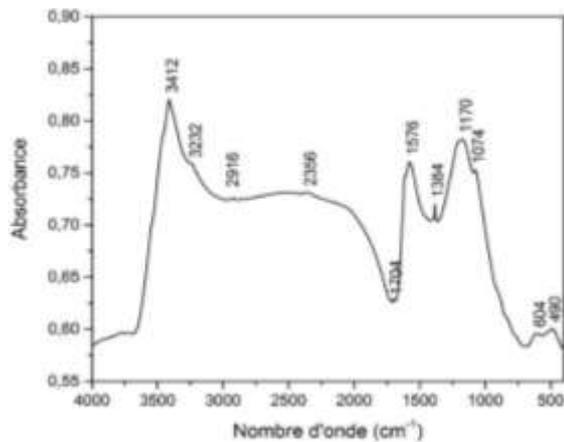


Figure 5. Spectre IRTF du CAF

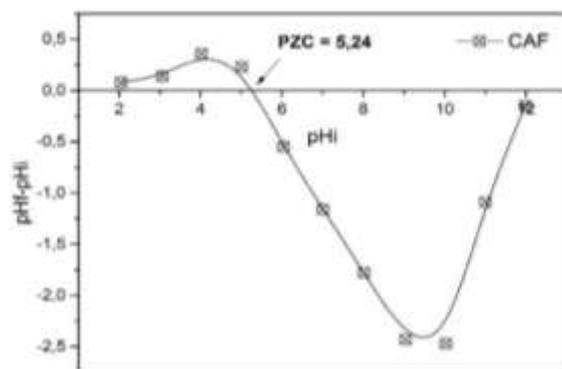


Figure 6. Le point de charge zéro (pH_{PZC}) du CAF

III.2 Effet de la masse du charbon actif (CAF)

L'influence de la dose de l'adsorbant a été réalisée dans un intervalle de masse de 0.01 à 0.1 g. Le graphique de la figure 7 indique que la masse de 0.05 g de charbon actif (CAF) a été suffisante pour atteindre l'équilibre et éliminer 99 % de colorant RB.

III.3 Effet du temps de contact

L'étude de l'influence du temps de contact sur la quantité éliminée de l'adsorbant RBNR, a été réalisée sur un intervalle de temps de 210 min pour les concentrations 50, 100 et 150 mg/L des solutions colorantes. Les valeurs mesurées du pH des solutions ont été ajustées à 6,78. La figure 8 montre que la capacité d'élimination augmente avec l'augmentation de la concentration du colorant dans la solution. La quantité extraite du RB atteint à 210 min des valeurs égales à 49.97, 99.48 et 148.97 mg/g.

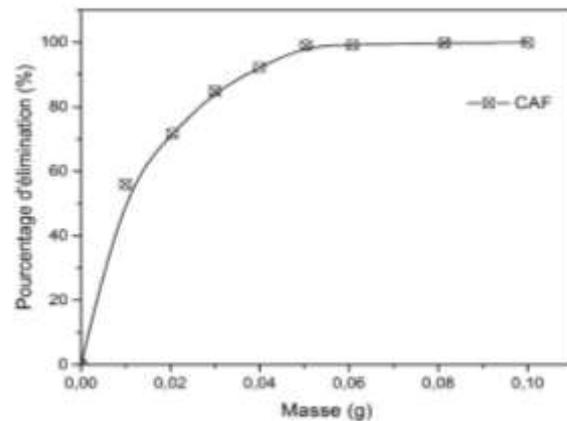


Figure 7. Effet de masse du charbon actif sur l'adsorption du RBNR: $m = 0.05$ g; $V = 50$ ml; $v = 200$ tr/min; $pH = 6,78$; $T = 298$ K

III.4 Cinétique de pseudo-premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo-premier ordre formulé par Lagergren [32] permet de vérifier si cette forme linéaire de l'équation 5 convient au mécanisme réactionnel de l'adsorption du colorant RB. Les paramètres cinétiques, reportés sur le tableau 3, sont déduits du tracé $[\ln(q_e - q_t) = f(t)]$ (figure 9):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \times t \quad (5)$$

où q_e (mg/g) et q_t (mg/g) sont les quantités de colorant extraites à l'équilibre et à l'instant t ; k_1 (min^{-1}) est la constante de vitesse du pseudo-premier ordre.

III.5 Cinétique de pseudo-second ordre

L'équation 6 énonce la formule développée du pseudo-second ordre [32]:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \times t \quad (6)$$

k_2 ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) est la constante de vitesse du pseudo-second ordre.

A partir du graphique $[(t/q_t) = f(t)]$ (figure 10), les coefficients de régression r^2 des droites pour les trois concentrations indiquent que le modèle cinétique du pseudo-second ordre est plus applicable à la cinétique d'adsorption du colorant RB. Par ailleurs, les quantités adsorbées à l'équilibre (q_e), calculées en traçant les droites de l'équation 6, sont proches des valeurs ($q_{e,\text{exp}}$) obtenues expérimentalement. Les résultats de l'étude cinétique sont donnés sur le tableau 3.

Tableau 3. Parametres cinetiques d'adsorption du colorant RB sur le CAF

C ₀ (mg/L)	q _e exp (mg/g)	Pseudo-premier ordre			Pseudo-second ordre		
		q _e cal (mg/g)	k ₁ (min ⁻¹)	r ²	q _e cal (mg/g)	k ₂ (g/mg.min)	r ²
50	49,97	31,74	0,0432	0,960	52,91	0,0021	0,998
100	99,48	57,50	0,0293	0,957	104,16	0,0012	0,999
150	148,97	100,81	0,0289	0,986	156,25	0,0006	0,999

III.6 Isothermes d'adsorption

La figure 11 présente la courbe de l'isotherme de l'adsorption du colorant RB en solution aqueuse sur le charbon actif de la Férula (CAF) à température constante. Le tracé de la courbe [q_e = f(C_e)] permet d'exprimer les quantités du colorant RB éliminées de la solution en fonction de la concentration restante de l'adsorbant RB à l'équilibre (figure 11). Pour interpréter la nature de rétention du colorant sur le CAF, les modèles les plus appliqués sont le modèle de Langmuir et le modèle de Freundlich [34].

L'équation de Langmuir de forme linéaire est exprimée par la formule 7 :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L q_m} \tag{7}$$

où q_m (mg.g⁻¹) : capacité d'adsorption de saturation ou maximale ; q_e (mg.g⁻¹) : capacité d'adsorption à l'équilibre ; K_L (L.mg⁻¹) : constante de Langmuir. Pour savoir si la réaction d'adsorption est réalisable ou non d'après ce modèle, on détermine le paramètre d'équilibre R_L formulé par l'équation 8.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \tag{8}$$

Lorsque la constante R_L se situe entre (0 < R_L < 1) l'adsorption est favorable et non favorable pour des valeurs de R_L > 1. En traçant la droite [C₀/q_e = f(C₀)], les paramètres de ce modèle peuvent être déterminés par extrapolation (figure 12).

Le modèle de Freundlich fait allusion à une distribution des cations du colorant sur des sites ayant des énergies différentes, en d'autres termes l'adsorption se fait sur des surfaces hétérogènes avec une éventuelle interaction entre les cations du colorant. Si (0 < 1/n < 1) alors l'adsorption de l'adsorbant est favorable. L'équation de Freundlich sous la forme linéaire est donnée par la formule 9.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \tag{9}$$

où q_e (mg.g⁻¹) : capacité d'adsorption à l'équilibre ; K_F [mg.g⁻¹.(L.mg⁻¹)^{1/n}] : constante de Freundlich.

La figure 13 représente le tracé de la droite de ln q_e = f(ln C_e) qui permet, par extrapolation, de déterminer les constantes n et K_F.

Le tableau 4 énonce les constantes de Langmuir et Freundlich obtenues à partir des équations de ces modèles. D'après les valeurs des coefficients de régression r², le modèle de Langmuir d'écrit mieux la nature d'adsorption (r² = 0.998). Selon ce modèle, l'adsorption des molécules pourrait se faire en monocouches en excluant le phénomène d'interactions adsorbant-adsorbant.

III.7 Influence de la température

L'effet de la température sur l'adsorption du colorant par le charbon actif de la Férula (CAF) a été réalisé à T = 301, 313 et 323 K.

Le tracé de la figure 14 confirme que l'élévation de la température fait augmenter le taux de rétention ou la capacité d'adsorption du CAF, ce qui nous fait dire que l'adsorption, d'après la valeur de ΔH° > 0, serait endothermique. Les paramètres thermodynamiques de l'adsorption peuvent être exprimés par les équations suivantes [32] :

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} \tag{10}$$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_d \tag{11}$$

$$\ln K_d = \left(\frac{\Delta S^0}{R}\right) - \left(\frac{\Delta H^0}{R}\right) \frac{1}{T} \tag{12}$$

où K_d (L.g⁻¹) : constante de distribution; R (j.mol⁻¹.K⁻¹) : constante des gaz parfaits ;T (K) : température absolue.

L'ordonnée à l'origine ΔS°/R et la pente -ΔH°/R peuvent être déterminées par extrapolation à partir du tracé de la droite ln K_d = f(1/T) (figure14). Le tableau 5 présente les valeurs calculées de l'enthalpie libre standard (ΔG°), l'entropie standard (ΔS°) et l'enthalpie standard (ΔH°). Ces valeurs indiquent que la réaction d'adsorption du colorant est spontanée (ΔG° < 0), endothermique (ΔH° > 0) et qu'il est probable que les interactions des ions du colorant dans la solution et l'agitation thermique font augmenter l'entropie standard (ΔS° > 0).

Tableau 4. Paramètres des modèles des isothermes à l'adsorption du colorant RB sur le CAF

Isotherme de Langmuir				Isotherme de Freundlich		
q_m (mg.g^{-1})	K_L (L.mg^{-1})	R_L	r^2	K_F [$(\text{mg.g}^{-1})(\text{L.mg}^{-1})^{1/n}$]	n	r^2
666,66	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,999	0,9985	318,68	3,88	0,939

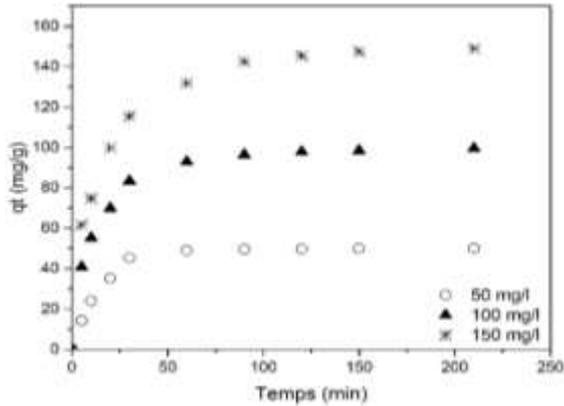


Figure 8. Effet du temps de contact sur l'adsorption du RB en solution aqueuse par le CAF. $m = 0,05 \text{ g}$; $V = 50 \text{ ml}$; $v = 200 \text{ tr/min}$; $\text{pH} = 6,78$; $T = 298 \text{ K}$

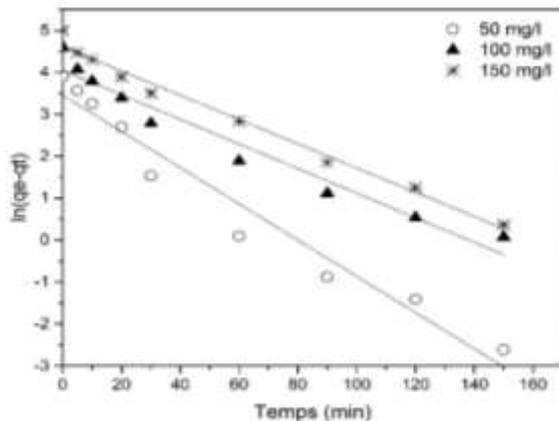


Figure 9. Application du modèle de pseudo-premier ordre pour l'adsorption du RB par le CAF

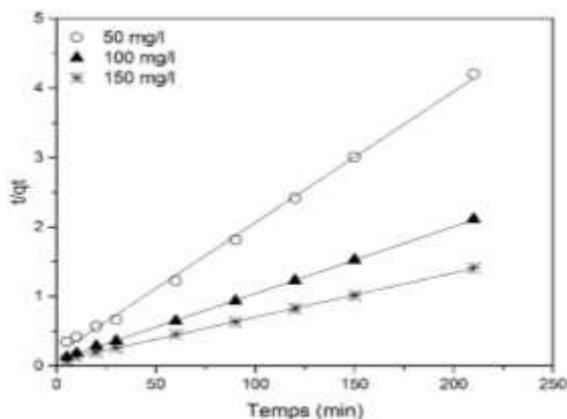


Figure 10. Application du modèle de pseudo-second ordre pour l'adsorption du RB par le CAF

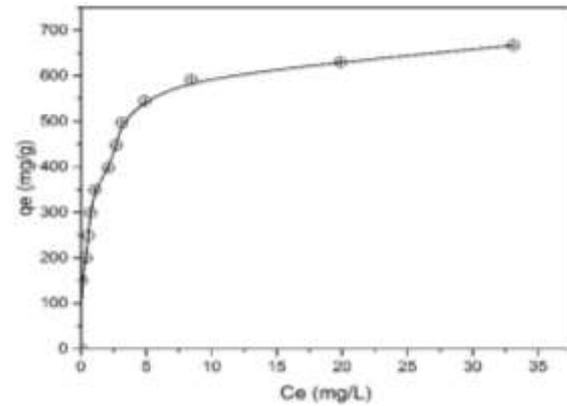


Figure 11. Isotherme de l'adsorption du RB en solution aqueuse par le CAF. $m = 0,05 \text{ g}$; $V = 50 \text{ ml}$; $v = 200 \text{ tr/min}$; $\text{pH} = 6,78$; $T = 298 \text{ K}$; Temps = 20h

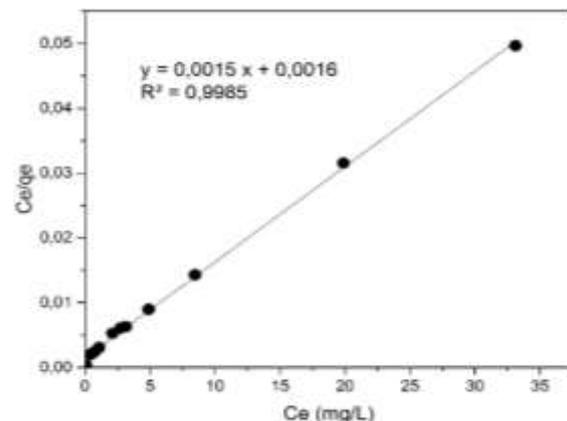


Figure 12. Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du RB par le CAF

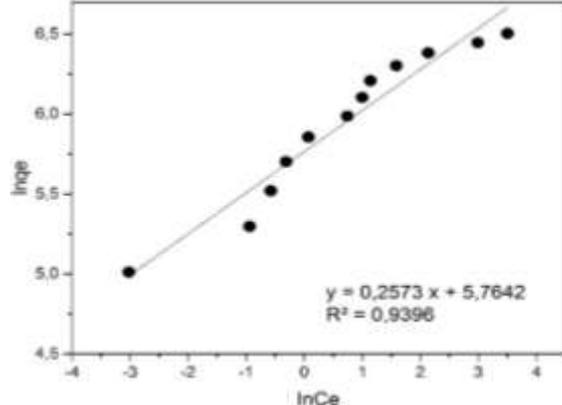


Figure 13. Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du RB par le CAF

Tableau 5. Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du RB sur le

T (K)	Ln K _d	ΔS° (J.mol ⁻¹)	ΔH° (KJ.mol ⁻¹)	ΔG° (KJ.mol ⁻¹)	r ²
301	3,061			-7,660	
313	3,457	104,715	23,835	-8,996	0,996
323	3,707			-9,955	

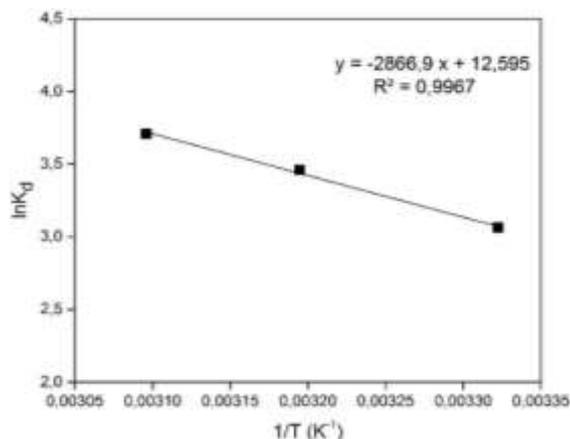


Figure 14. Effet de la température sur l'adsorption du RB en solution aqueuse par le CAF: $m = 0.05$ g; $C_0 = 100$ mg. L⁻¹; $V = 50$ ml; $v = 200$ tr/min; $pH = 6,78$; $T = 301, 313$ et 323 K

IV. Conclusion

L'étude de l'adsorption du colorant rouge neutre menée sur le charbon actif issu de la plante Férula communis a montré que ce matériau organique pourrait être employé comme un moyen de traitement des eaux polluées par des colorants. Les résultats expérimentaux des essais de la cinétique d'adsorption, les isothermes et la thermodynamique ont révélé que le charbon actif élaboré possède un pouvoir adsorbant vis-à-vis l'adsorbant utilisé. L'étude cinétique a indiqué que le modèle de pseudo-second ordre convient mieux au processus d'adsorption. La quantité du colorant adsorbée par une masse de charbon actif augmente avec l'augmentation de la dose initiale de l'adsorbant dans la solution. D'après les valeurs de l'enthalpie libre standard ($\Delta G^\circ < 0$) et l'enthalpie standard ($\Delta H^\circ > 0$), la réaction d'adsorption du colorant est spontanée et endothermique. Le modèle de Langmuir est plus adapté aux équilibres de l'adsorption sur le charbon actif de la Férula.

V. Références bibliographiques

- Adenuga, A.A.; Amos, O., D.; Oyekunle, J.A.O.; Umukoro, E.H. Adsorption Performance and Mechanism of a Low-Cost Biosorbent from Spent Seedcake of Calophyllum Inophyllum Simultaneous Cleanup of Potentially Toxic Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7(5) (2019) 103317.
- Ure, D.; Awada, A.; Frowley, N.; Munk, N.; Stanger, A.; Mutus, B. Greenhouse tomato plant roots/carboxymethyl cellulose method for the efficient removal and recovery of inorganic phosphate from agricultural wastewater. *Journal of Environmental Management* 233 (2019) 258-263.
- Zhang, X.; Wang, T.; Xu, Z.; Zhang, L.; Dai, Y.; Tang, X.; Tao, R.; Li, R.; Yang, Y.; Tai, Y. Effect of heavy metals in mixed domestic-industrial wastewater on performance of recirculating standing hybrid constructed wetlands (RSHCWs) and their removal. *Chemical Engineering Journal* 379 (2020) 122363.
- Cui, X.; Guo, X.; Wang, Y.; Wang, X.; Zhu, W.; Shi, J.; Lin, C.; Gao, X. Application of remote sensing to water environmental processes under a changing climate. *Journal of Hydrology* 574 (2019) 892-902.
- Fang, L.; Li, L.; Qu, Z.; Xu, H.; Xu, J.; Yan, N. A Novel Method for the Sequential Removal and Separation of Multiple Heavy Metals from Wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 342 (2018) 617-624.
- Wang, J.; Yao, J.; Wang, L.; Xue, Q.; Hu, Z.; Pan, B. Multivariate optimization of the pulse electrochemical oxidation for treating recalcitrant dye wastewater. *Separation and Purification Technology* 230 (2020) 115851.
- Singh, N. B.; Nagpal, G.; Agrawal, S.; Rachna. Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology & Innovation* 11 (2018) 187-240.
- Dutta, M.; Bhattacharjee, S.; De, S. Separation of reactive dyes from textile effluent by hydrolyzed polyacrylonitrile hollow fiber ultrafiltration quantifying the transport of multicomponent species through charged membrane pores. *Separation and Purification Technology* 234 (2020) 116063.
- Piccin, J.S.; Gomes, C.S.; Mella, B.; Gutierrez, M. Color removal from real leather dyeing effluent using tannery waste as an adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4(1) (2016) 1061-1067.
- Shokrollahi, A.; Kashkoli, F.D. Determination of Violet Covasol as a cosmetic dye in water samples by a CPE-Scanometry method. *Chinese Chemical Letters* 27 (5) (2016) 659-665.
- Sharma, M.; Halder, A.; Vaish, R. Effect of Ce on piezo/photo catalytic effects of Ba_{0.9}Ca_{0.1}Ce_xTi_{1-x}O₃ ceramics for dye/pharmaceutical waste water treatment. *Materials Research Bulletin* 122 (2020) 110647.
- Do Nascimento Júnior, W. J.; Aquino, R. V. S.; Barbosa, A. A.; Rocha, O. R. Development of a new PET flow reactor applied to food dyes removal with advanced oxidative processes. *Journal of Water Process Engineering* 31 (2019) 100823.
- Guo, K.; Gao, B.; Tian, X.; Yue, Q.; Zhang, P.; Shen, X.; Xu, X. Synthesis of polyaluminum chloride/papermaking sludge-based organic polymer composites for removal of disperse yellow and reactive blue by flocculation. *Chemosphere* 231 (2019) 337-348.
- Shakir, K.; Elkafrawy, A.F.; Ghoneimy, H.F.; Beheir, S.G.E.; Refaat, M. Removal of rhodamine B (a basic dye) and thoron (an acidic dye) from dilute aqueous solutions and wastewater simulants by ion flotation. *Water Research* 44(5) (2010) 1449-1461.
- Núñez, J.; Yeber, M.; Cisternas, N.; Thibaut, R.; Medina, P.; Carrasco, C. Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal

16. to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry. *Journal of Hazardous Materials* 371 (2019) 705-711.
17. Nipatla, N.; Philip, L. Electrocoagulation-Floatation assisted pulsed power plasma technology for the complete mineralization of potentially toxic dyes and real textile wastewater. *Process Safety and Environmental Protection* 125 (2019) 143-156.
18. Sane, P.K.; Tambat, S.; Sontakke, S.; Nemade, P. Visible light removal of reactive dyes using CeO₂ synthesized by precipitation. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(4) (2018) 4476-4489.
19. Kshirsagar, A.S.; Gautam, A.; Khanna, P.K. Efficient photo-catalytic oxidative degradation of organic dyes using CuInSe₂/TiO₂ hybrid hetero-nanostructures. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 349 (2017) 73-90.
20. Venkatesh, S.; Venkatesh, K.; Quaff, A.R. Dye decomposition by combined ozonation and anaerobic treatment: Cost effective technology. *Journal of Applied Research and Technology* 15(4) (2017) 340-345.
21. Khumalo, N.P.; Vilakati, G.D.; Mhlanga, S.D.; Kuvarega, A.T.; Mamba, B.B.; Li, J.; Derrick S. Dlamini, D.S. Dual-functional ultrafiltration nano-enabled PSf/PVA membrane for the removal of Congo red dye. *Journal of Water Process Engineering* 31 (2019) 100878.
22. Kaur, K.; Jindal, R. Comparative study on the behaviour of Chitosan-Gelatin based Hydrogel and nanocomposite ion exchanger synthesized under microwave conditions towards photocatalytic removal of cationic dyes. *Carbohydrate Polymers* 207 (2019) 398-410.
23. Kathersan, V.; Kansedo, J.; Lau, S.Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(4) (2018) 4676-4697.
24. Liao, P.; Ismael, Z.M.; Zhang, W.; Yuan, S.; Tong, M.; Wang, K.; Bao, J. Adsorption of dyes from aqueous solutions by microwave modified bamboo charcoal. *Chemical Engineering Journal* 195-196 (2012) 339-346.
25. Belaid, K.D.; Kacha, S. Kameche, M.; Derriche, Z. Adsorption kinetics of some textile dyes onto granular activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1(3) (2013) 496-503.
26. Gamoudi, S.; Srasra, E. Adsorption of organic dyes by HDPy⁺-modified clay: effect of molecular structure on the adsorption. *Journal of Molecular Structure* 1193 (2019) 522-531.
27. Brião, G.V.; Jahn, S.L.; Foletto, E.L.; Dotto, G.L. Highly efficient and reusable mesoporous zeolite synthesized from a biopolymer for cationic dyes adsorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 556 (2018) 43-50.
28. Wu, F.C.; Tseng, R.L.; Juang, R.S. Preparation of highly microporous carbons from fir wood by KOH activation for adsorption of dyes and phenols from water. *Separation and Purification Technology* 47(1-2) (2005) 10-19.
29. Afshin, S.; Mokhtari, S.A.; Vosoughi, M.; Sadeghi, H.; Rashtbari, Y. Data of adsorption of Basic Blue 41 dye from aqueous solutions by activated carbon prepared from filamentous algae. *Data in Brief* 21 (2018) 1008-1013.
30. Boudechiche, N.; Fares, M.; Ouyahia, S.; Yazid, H.; Trari, M.; Sadaoui, Z. Comparative study on removal of two basic dyes in aqueous medium by adsorption using activated carbon from Ziziphus lotus stones. *Microchemical Journal* 146 (2019) 1010-1018.
31. Brito, M.J.P.; Veloso, C.M.; Santos, L.S.; Bonomo, R.C.F.; Fontan, R.D.C.I. Adsorption of the textile dye Dianix[®] royal blue CC onto carbons obtained from yellow mombin fruit stones and activated with KOH and H₃PO₄: kinetics, adsorption equilibrium and thermodynamic studies. *Powder Technology* 339 (2018) 334-343.
32. Heibati, B.; Rodriguez-Couto, S.; Al-Ghouti, M.A.; Asif, M.; Tyagi, I.; Agarwal, S.; Gupta, V.K. Kinetics and thermodynamics of enhanced adsorption of the dye AR 18 using activated carbons prepared from walnut and poplar woods. *Journal of Molecular Liquids* 208 (2015) 99-105.
33. Belaid, K.D.; Kacha, S. Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des sciences de l'eau* 24(2) (2011) 131-144.
34. Sreethawong, T.; Chavadej, S.; Ngamsinlapasathian, S.; Yoshikawa, S. A modified sol-gel process-derived highly nanocrystalline mesoporous NiO with narrow pore size distribution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 296(1-3) (2007) 222-229.
35. Mittal, A.; Malviya, A.; Kaur, D.; Mittal, J.; Kurup, L. Studies on the adsorption kinetics and isotherms for the removal and recovery of Methyl Orange from wastewaters using waste materials. *Journal of Hazardous Materials* 148(1-2) (2007) 229-240.

Please cite this Article as:

Messabih S.M., Benrachedi K., Makhlof M., Belaid K.D., Bouchher O., Louhab K., Étude de l'adsorption d'un colorant cationique en milieu aqueux sur le charbon actif Issu de la ferula communis, **Algerian J. Env. Sc. Technology**, 7:2 (2021) 1880-1888