

## Cinétique de l'adsorption du bleu de méthylène sur bentonite brute et traitée

F.Z. Batana\*, M.B. Taouti, A. Guibadj

Laboratoire de Physico Chimie des Matériaux, Département de Sciences des matériaux,  
Faculté des sciences, Université Amar Têlidji-Laghouat, Algeria.

\*Corresponding author : fzbatana@gmail.com

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received : 15/01/2019

Accepted : 08/07/2019

#### Key Words:

Bentonite;  
Methylene blue;  
Adsorption;  
Characterization;  
Kinetic models.

#### Mots-Clés :

Bentonite ;  
Bleu de méthylène ;  
Adsorption ;  
Caractérisation ;  
Modèles cinétiques.

### ABSTRACT/RESUME

**Abstract:** This work consists in the study of the adsorption kinetics of methylene blue on a raw bentonite and treated chemically and physically. The results of characterization analyze by ATR, DRX and XRF show that this clay is a mixture of Montmorillonite, Kaolinite, illite, Quartz and Calcite. Elemental chemical analysis shows that silica and alumina are predominant constituents. The molar ratio  $SiO_2 / Al_2O_3$ , which varies from 4 to 5, indicates the presence of free Quartz in the clay fraction in large proportion. Kinetic adsorption studies show the effectiveness of materials tested for methylene blue fixation and decolorization of aqueous media contaminated with organic dyes. However, the equilibrium adsorbed amount, determined experimentally, is closer to that calculated using the second-order kinetics model.

**Résumé :** Ce travail consiste à l'étude de la cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur une bentonite brute et traitée chimiquement et physiquement. Les résultats des analyses de caractérisations par ATR, DRX et FRX montrent que cette argile est un mélange de Montmorillonite, Kaolinite, illite, de Quartz et de Calcite. L'analyse chimique élémentaire montre que la silice et l'alumine sont des constituants prédominants. Le rapport molaire  $SiO_2 / Al_2O_3$ , qui varie de 4 à 5, indique la présence de Quartz libre dans la fraction argileuse en grande proportion. Les études cinétiques d'adsorption montrent l'efficacité des matériaux testés en matière de fixation du bleu de méthylène et de décoloration des milieux aqueux contaminés par les colorants organiques. Cependant, la quantité adsorbée à l'équilibre, déterminée expérimentalement, est plus proche de celle calculée en utilisant le modèle de la cinétique du second ordre.

### I. Introduction

La croissance de l'humanité et le développement de la science et de la technologie entraînent un désordre environnemental dû à la pollution des eaux par un certain nombre de polluants dont les colorants synthétiques, qui possèdent une structure moléculaire complexe qui les rend plus stables et difficiles à être biodégradés. Ces colorants sont évacués avec les effluents liquides qui sont la plupart du temps directement rejetés vers les cours d'eau sans traitement

préalable. Ces rejets colorés posent un problème esthétique et sanitaire car un grand nombre des colorants est toxique [1]. Les procédés traditionnels tels que les procédés biologiques donnent des résultats non satisfaisants du fait de la composition de ces rejets en matières toxiques et colorants qui sont difficilement biodégradables, en revanche, les procédés physico-chimiques qui incluent la coagulation-floculation, l'oxydation, et la filtration membranaire ont largement été étudiés et ont révélé une grande efficacité de décoloration des eaux. Ces

techniques sont sensiblement différentes en termes d'élimination de la couleur, de fonctionnement, de la régénération et du coût financier et conduisent à la génération de grandes quantités de boues ou à la formation de dérivés. L'adsorption reste parmi les techniques les plus utilisées et facile à mettre en œuvre. L'élimination de colorants dans les solutions aqueuses par adsorption sur différents matériaux solides, en particulier sur le charbon actif, a fait l'objet de beaucoup de travaux [2]. L'adsorption des colorants sur le charbon actif s'est révélée très efficace, néanmoins dans le cas de certains colorants et pour une meilleure efficacité, des surdosages de charbon sont exigés, ce qui rend le coût de l'opération excessif [3]. Pour cette raison, de nouveaux matériaux font l'objet de plusieurs recherches ces dernières années. Dans cette optique, l'utilisation de la bentonite en tant qu'adsorbant présente un grand intérêt en raison de son efficacité, son coût accessible et son abondance [4]. Notre étude s'inscrit dans ce même cadre, elle consiste à mettre au point des techniques de décoloration des eaux peu coûteuses tout en traitant des bentonites. Notre choix a porté sur la bentonite qui est un matériau adsorbant qui se trouve en abondance en Algérie, efficace et plus économique. L'utilisation des bentonites pour la dépollution des eaux contaminées par les colorants, requiert une bonne connaissance de leur caractéristique minéralogique et du mécanisme d'élimination de ces polluants [3].

## II. Matériels et Méthodes

### II.1. Colorant étudié

Le colorant étudié est le bleu de méthylène BM à caractère cationique de formule  $C_{16}H_{18}N_3SCl$  et sa masse molaire est de  $319,85 \text{ mol. g}^{-1}$ . Des solutions de BM de concentration initiale ( $10 \text{ mg. L}^{-1}$ ) ont été obtenues par dilution de la solution mère.

### II.2. Préparation et caractérisation de l'adsorbant

La bentonite utilisée dans cette étude a été obtenue auprès de la société locale ENOF, située dans les champs de Mostaganem, en Algérie. Avant son utilisation, la bentonite brute a subi différents traitements à savoir la sodification 5 fois par ( $\text{NaCl}$ ,  $1\text{M}$ ) pendant 8h, un traitement chimique par ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $5\text{N}$ ) à  $98^\circ\text{C}$  pendant 2h, un traitement thermique au four à  $220^\circ\text{C}$  pendant 6h et un traitement chimique suivi par un traitement thermique.

La figure 1 récapitule les différentes opérations effectuées.

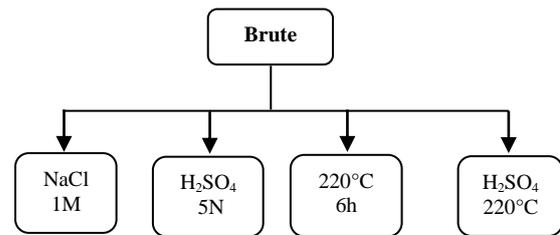


Figure 1. Différents traitements de la bentonite.

La détermination du **pH** est nécessaire pour quantifier l'apport de l'acidité lorsque le solide est en contact avec la solution. Une solution à 10% de bentonite m/v est préparée et laissée reposer 4h à  $25^\circ\text{C}$ , la lecture est faite directement sur un pH-mètre HANNA. La mesure du taux d'humidité (**H**) consiste à déterminer la masse d'eau éliminée par le séchage d'un matériau humide jusqu'à l'obtention d'une masse constante à une température de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  pendant 24 heures, la détermination du taux d'humidité a été calculée à partir du rapport de la masse de l'eau ( $m_{\text{eau}}$ ) sur la masse des particules solides ( $m_s$ ). L'indice de gonflement (**IG**) a été déterminé par la méthode de l'éprouvette graduée, ainsi la colloïdalité (**C**) a été déterminée par la mise en suspension d'une quantité de bentonite, en ajoutant de  $\text{MgO}$  pour permettre la défloculation, après une agitation de 5 min, le mélange est placé dans une éprouvette graduée. Après 24h nous mesurons le volume  $V$  (ml) occupé par le surnageant. Une analyse infrarouge par la technique Réflectance Totale Atténuée (ATR) a été effectuée à l'aide d'un appareil de type Perkin Elmer dans la gamme des longueurs d'onde de  $400 \text{ cm}^{-1}$  à  $4000 \text{ cm}^{-1}$ . L'étude structurale a été réalisée à l'aide d'un diffractomètre DRX de type X'Pert PRO PANalytical, avec une longueur d'onde correspondant au cuivre  $\text{Cu K}\alpha = 1,54060 \text{ \AA}$ . Les diffractogrammes ont été réalisés dans la gamme de  $2\theta$  entre  $15^\circ$  et  $70^\circ$ . Ainsi une analyse chimique élémentaire des échantillons a été effectuée à l'aide d'un Spectromètre à fluorescence X de type « Rigaku », à dispersion de longueur d'onde 3 kW.

### II.3. Essais d'adsorption

Des expériences de cinétique d'adsorption ont été réalisées en mettant en contact 100 ml de solution de BM de concentration initiale égale à  $10 \text{ mg. L}^{-1}$  avec 0,015 g de bentonites dans des flacons fermés à la température ambiante et à une vitesse constante de  $250 \text{ tr. min}^{-1}$ . Après des durées d'agitation variables, les solutions sont filtrées et les filtrats sont récupérés et analysés par U.V-Visible de type SP-3000 nano OPTIMA.

La quantité adsorbée peut être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$q_e = \frac{c_0 - c_e}{m} \cdot V \quad (1)$$

Où  $C_0$  et  $C_e$  sont les concentrations d'adsorbat initiale et résiduelle ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) respectivement,  $V$  est le volume de la solution et  $m$  la masse de l'adsorbant.

#### II.4. Modèles cinétiques

Le modèle cinétique de pseudo-premier ordre de Lagergen a été utilisé. Il peut être représenté par l'équation suivante :

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Où  $q_e$  et  $q_t$  sont les quantités d'adsorbat ( $\text{mg. g}^{-1}$ ) à l'équilibre et au temps  $t$  (min) respectivement,  $k_1$  est la constante de vitesse d'adsorption de pseudo premier ordre ( $\text{min}^{-1}$ ). La validité du modèle peut être vérifiée par linéarisation de  $\ln (q_e - q_t)$  en fonction de  $t$ .

Le modèle de pseudo-second ordre basé sur la capacité d'équilibre d'adsorption peut être exprimée par :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q} \quad (3)$$

Tableau 1. Différentes caractéristiques physico-chimiques des bentonites utilisées

Bentonites	Brute	Chimique	Thermique	Chi + The	Sodée
pH	9, 86	5, 54	9, 30	5, 12	8, 58
(%H)	5, 66	5, 41	4, 52	2, 57	5, 26
IG (%)	56, 49	57, 18	55, 51	53, 23	56,43
C (%)	44, 00	53, 00	63, 00	52, 50	65,00

Nous remarquons que la valeur du pH, révèle une légère basicité des échantillons qui serait due aux sels solubles et au caractère basique des carbonates, des bicarbonates et des silicates alcalins, qui rentrent généralement dans la composition des bentonites brutes et même celles traitées. En revanche, les deux bentonites traitées par l'acide sulfurique sont caractérisées par un pH acide, ce qui montre que la surface est constituée de groupements acides. On constate que le taux d'humidité est important, cela explique le caractère hygroscopique des différentes bentonites. Cette eau correspond à l'eau libre d'hydratation qui s'évapore à partir de  $100^\circ\text{C}$ . Les valeurs de la colloïdalité et de l'indice de gonflement sont assez importantes, ceci peut être dû à une forte ionisation et à la

La constante du pseudo second ordre  $k_2$  ( $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) peut être déterminée expérimentalement à partir de la pente et de l'interception de la droite  $t/q_t$  en fonction de  $t$ .

Le modèle d'Elovich est basé sur le principe d'une cinétique supposant que les sites d'adsorption augmentent exponentiellement avec l'adsorption est donné par la relation suivante :

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln (\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln (t) \quad (4)$$

Où  $\alpha$  et  $\beta$  sont le taux d'adsorption initial ( $\text{mg. g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) et la constante de désorption d'Elovich ( $\text{mg. g}^{-1}$ ) respectivement. La validité du modèle peut être vérifiée par linéarisation de  $q_t$  en fonction de  $\ln t$

### III. Résultats et discussions

#### III.1. Paramètres physico-chimiques

Les caractéristiques chimiques obtenues pour les différentes bentonites sont récapitulées dans le tableau (1).

finesse des particules entrant dans la constitution des bentonites [7].

#### III.2. Analyse spectrale Infrarouge (ATR)

Généralement, les bandes d'absorption qui apparaissent dans la région de  $3700 \text{ cm}^{-1}$  à  $3600 \text{ cm}^{-1}$  correspondent aux vibrations d'élongation des groupements hydroxyles structuraux caractéristiques de la bentonite, Kaolinite [5, 6]. La bande qui s'étale entre  $1700 \text{ cm}^{-1}$  et  $1600 \text{ cm}^{-1}$  peut être attribuée aux vibrations de valence du groupement OH de l'eau adsorbée entre les feuillets [2, 7]. Une bande intense située entre  $1200 \text{ cm}^{-1}$  et  $900 \text{ cm}^{-1}$  et centrée vers  $1008 \text{ cm}^{-1}$  correspond aux vibrations de valence de la liaison Si-O (Quartz)[8]. La présence d'une bande entre  $908 \text{ cm}^{-1}$  et  $915 \text{ cm}^{-1}$  peut être dû aux vibrations de flexion des groupements Al-Al-

OH et Al-Mg-OH [7]. Les bandes entre 795 cm<sup>-1</sup> et 748 cm<sup>-1</sup>, sont attribuables aux vibrations d'élongation des liaisons Si-O-Al (Kaolinite) et aux hydroxyles perpendiculairement à la surface (OH translationnel) [7, 9]. Les bandes qui se situent entre 530 cm<sup>-1</sup> et 516 cm<sup>-1</sup>, sont attribuées à la déformation de Si-O-Al<sup>VI</sup> (VI correspond à la position octaédrique). Les bandes qui se situent entre 475 cm<sup>-1</sup> et 450 cm<sup>-1</sup> sont caractéristiques à la déformation de Si-O-Mg<sup>VI</sup> ce qui est confirmé par la présence de la montmorillonite (Figure 2).

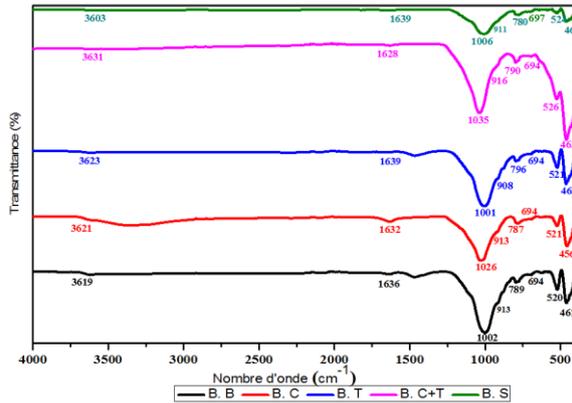


Figure 2. Spectres Infrarouge des bentonites étudiées.

III.3. Diffraction des rayons X (DRX)

Les diffractogrammes (Figure 3) de la bentonite brute et traitée présentent une composition minéralogique pratiquement identique.

Des raies à 2θ = 19,72°, 23,54°, 34,72° et 62,03° caractéristiques de la Montmorillonite (M); Des raies à 2θ = 20,8°, 26,6°, 36,6°, 45,8° et 50,1° caractéristiques du Quartz (Q); Des raies à 2θ = 21,9° et 59,9° caractéristiques de la Kaolinite (K); des raies à 2θ = 27,7° et 54,8° caractéristiques de l'illite (I) [10]. L'examen préliminaire du diffractogramme des bentonites met en évidence la prédominance de la silice (SiO<sub>2</sub>) dans la forme cristalline du quartz indiqué par un pic intense. Les diffractogrammes révèlent également la présence d'une quantité de Montmorillonite ((Al<sub>1,67</sub>Mg<sub>0,33</sub>) Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>Na<sub>0,33</sub>), de Kaolinite (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) et d'illite ([K, H<sub>3</sub>O]

Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>], ce qui implique que notre bentonite est hétérogène [7].

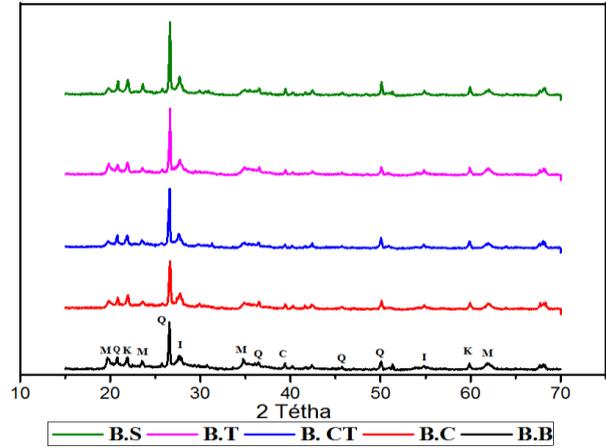


Figure 3. Diffractogramme de la bentonite brute et traitée. (K = Kaolinite, I = Illite, Q = Quartz, C = Calcite, M = Montmorillonite).

III.4. Fluorescence des rayons X (FRX)

D'après le tableau 2, l'analyse chimique élémentaire montre que la silice et l'alumine sont des constituants prédominants [11] avec un pourcentage très important. La faible teneur en CaO, indique que ces bentonites contiennent une faible quantité en carbonate de calcium [12]. Le rapport Alumine/Silice, renseigne sur la perméabilité du matériau vis-à-vis de l'humidité, plus ce rapport est grand plus la perméabilité est importante. Dans notre cas, ce rapport Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> est important et varie entre 4,19 et 5,43, indiquant une teneur non négligeable en silice libre. Le rapport molaire SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4 à 5 (substitution maximale de Si<sup>4+</sup> par Al<sup>3+</sup>) est supérieure à la valeur classique des bentonites qui est de 2,7. Cette différence indique la présence de Quartz libre dans la fraction argileuse en grande proportion. La composition globale des autres oxydes (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O) atteint un pourcentage variant de 7,63 à 13,9 ce qui montre que nos argiles ne sont pas pures [7, 9]. En outre, la teneur élevée de ces oxydes par rapport aux teneurs des autres oxydes montre probablement que l'argile contient des cations échangeables comme Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> ou Na<sup>+</sup> [12].

Tableau 2. Compositions chimiques élémentaires des échantillons de bentonites

Composés	Teneurs %				
	Brute	Chimique	Thermique	Chi + The	Sodée
SiO <sub>2</sub>	67,4	67,5	72,21	76,0	77,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,1	15,7	14,8	15,0	14,2
CaO	1,84	1,79	1,51	0,54	0,48

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,41	2,47	2,10	1,42	1,27
MgO	3,27	3,10	2,54	2,02	1,69
Na <sub>2</sub> O	5,56	5,37	2,74	1,68	1,51
K <sub>2</sub> O	2,66	2,93	3,50	2,77	3,16
SO <sub>3</sub>	0,33	0,29	0,27	0,43	0,38
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,19	4,30	4,88	5,07	5,43
<b>Total</b>	<b>99,57</b>	<b>99,15</b>	<b>99,67</b>	<b>99,86</b>	<b>99,79</b>

### III.5. Cinétique d'adsorption

Une étude de la cinétique de l'adsorption est souhaitable car elle fournit des informations sur le mécanisme d'adsorption, ce qui est important pour l'efficacité du processus. L'effet du temps de contact sur l'adsorption de BM sur les différents adsorbants a été étudié (figure 4). Les premières constatations montrent que la vitesse d'adsorption était très rapide à la période initiale de temps de contact, puis diminuait graduellement avec le temps jusqu'à ce que l'adsorption soit atteinte au point d'équilibre. Cette tendance de la cinétique d'adsorption était due à l'adsorption du colorant sur la surface extérieure de l'adsorbant à la période initiale du temps de contact [12]. Lorsque l'adsorption sur la surface extérieure atteint un point de saturation, le colorant diffuse dans les pores de l'adsorbant et est adsorbé par la surface intérieure de l'adsorbant. Ces observations sont les mêmes pour toutes les courbes cinétiques [13]. Le temps d'équilibre pour les systèmes BB, BT et BS était de 20 minutes, en revanche, pour les systèmes BC et B.C+T l'équilibre est atteint au bout de 30 minutes, après quoi aucune adsorption supplémentaire ne s'est produite avec un temps prolongé.

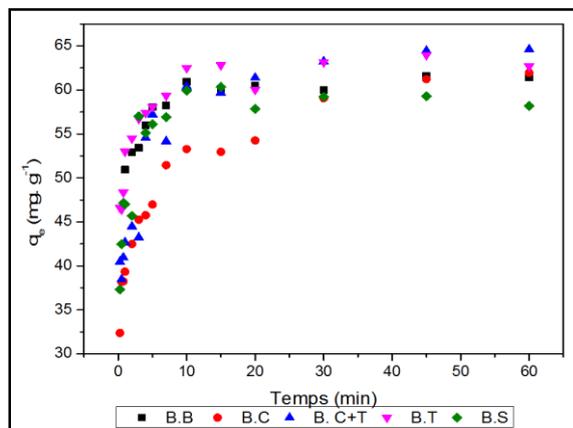
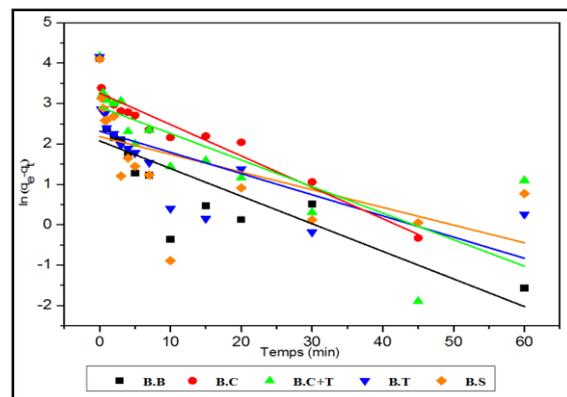


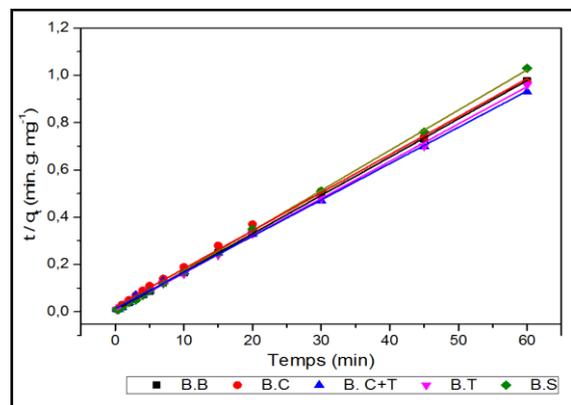
Figure 4. Cinétique d'adsorption de BM sur bentonites ( $C_0 = 10 \text{ mg. L}^{-1}$ ;  $m = 0,015 \text{ g}$ ;  $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}$  de solution).

### III.6. Modèles cinétiques

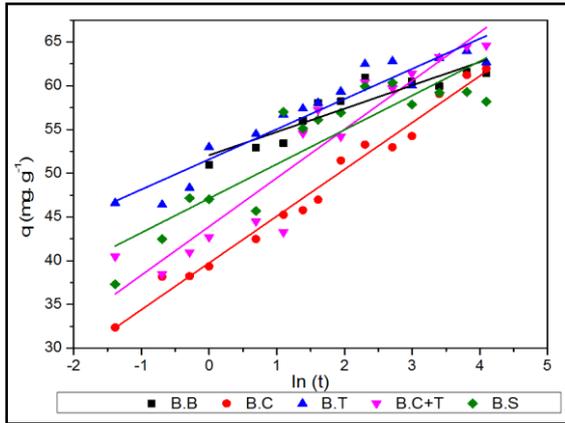
Comme a été déjà mentionné, les modèles cinétiques ont été utilisés. Les résultats de simulation sont montrés dans la figure 5. Tous les paramètres cinétiques calculés et les valeurs de coefficient de corrélation à partir des formes linéaires de différents modèles sont consignés dans le Tableau 3. En basant sur les coefficients de corrélation  $R^2$  relatifs à la linéarité des droites pour montrer le type qui décrit mieux le modèle d'adsorption.



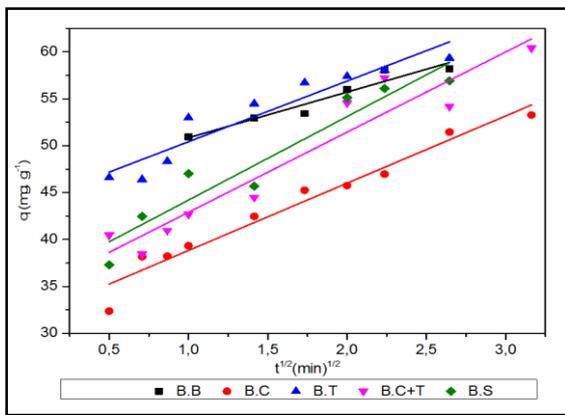
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5. Modèles cinétiques de pseudo-premier ordre (a), pseudo second ordre (b), Elovich (c), diffusion intra-particulaire (d).

Les résultats présentés sur la figure 5 (a) montrent que l'équation de Lagergen n'est pas applicable dans le cas de la décoloration des solutions de Bleu de méthylène par les cinq supports étudiés. En revanche, une variation

linéaire de  $t/q_t$  en fonction de  $t$  présentée sur la figure 5 (b) est représentative d'une cinétique de pseudo-second ordre [14, 15]. La bonne linéarité entre la quantité de BM adsorbée sur les bentonites et  $\ln t$  sur la figure 5 (c), indique que le modèle d'Elovich est vérifié et peut être applicable dans ce cas, ceci confirme qu'il s'agit d'un processus de chimisorption avec des coefficients de régression linéaire compris entre 0,805 et 0,983.[16]. Dans le cas de la diffusion intra-particulaire figure 5(d), les droites ne passent pas par l'origine, ceci indique que la diffusion dans les pores, n'est pas le seul mécanisme limitant de la cinétique d'adsorption. Il apparaît que d'autres mécanismes sont impliqués [17, 18].

Les paramètres des modèles cinétiques sont regroupés dans le tableau 3.

A partir de ces résultats on constate que, dans le cas de la cinétique du premier ordre, la quantité adsorbée à l'équilibre calculée est différente de celle déterminée expérimentalement. Cependant, la quantité adsorbée à l'équilibre, déterminée expérimentalement est plus proche de celle calculée en utilisant le modèle de la cinétique du second ordre. Ce modèle s'applique bien dans le cas des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés vu les valeurs obtenues des coefficients de détermination  $R^2$  qui sont très proches de l'unité [2]. D'une part, la pente  $k_{id}$  est définie comme un paramètre de vitesse qui caractérise la cinétique d'adsorption dans la région où la diffusion dans les pores est l'étape limitante. D'autre part, l'ordonnée à l'origine renseigne sur l'effet de la couche limite, plus elle est grande, plus la contribution de la diffusion externe dans la limitation de vitesse d'adsorption est indépendante [19]. L'absence d'une phase d'initiation, insinue la formation très rapide d'une couche à la surface des particules du fait des liaisons ioniques, ce qui confirme l'hypothèse de la chimisorption d'après le modèle d'Elovich [20].

Tableau 3. Paramètres des différents modèles cinétiques.

	Brute	Chimique	Thermique	Chi + The	Sodée
<b>Pseudo premier ordre</b>					
$Q_{e\text{calc}}$	7,94	25,98	10,15	18,48	8,84
$Q_{e\text{exp}}$	61,63	61,94	63,97	64,61	60,34
$K_1$	0,068	0,077	0,052	0,066	0,044
$R^2$	0,63	0,92	0,49	0,63	0,35
<b>Pseudo second ordre</b>					
$Q_{e\text{calc}}$	61,73	62,11	63,29	65,36	58,82
$Q_{e\text{exp}}$	61,63	61,94	63,97	64,61	60,34
$K_2$	0,044	0,012	0,039	0,018	0,107
$R^2$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Elovich					
A	8,19.10 <sup>8</sup>	9,04.10 <sup>3</sup>	1,08.10 <sup>7</sup>	1,5.10 <sup>4</sup>	1,65.10 <sup>5</sup>
B	0,375	0,187	0,29	0,18	0,255
R <sup>2</sup>	0,86	0,98	0,91	0,90	0,81
Diffusion intra-particulaire					
K <sub>id</sub>	4,86	7,16	6,46	8,53	8,89
C	45,98	31,67	43,95	34,36	35,31
R <sup>2</sup>	0,92	0,95	0,88	0,90	0,90

#### IV. Conclusion

Les techniques expérimentales utilisées nous ont permis de caractériser les différentes bentonites étudiées et de mettre en évidence leur composition chimique. Nous avons ainsi établi que ces bentonites sont constituées essentiellement de Kaolinite, d'Illite et de Montmorillonite comme minéraux argileux associés. Ces résultats ont aussi mis en évidence la richesse de cette bentonite en Quartz dont résulte une forte proportion en Silice. Les études cinétiques montrent l'efficacité des matériaux testés en matière de fixation du colorant et de décoloration des milieux aqueux contaminés par les colorants organiques. L'influence du type de la bentonite est pratiquement insignifiante tant sur la vitesse que sur la capacité d'adsorption maximale qui varie entre 58,82 mg. g<sup>-1</sup> et 65,36 mg. g<sup>-1</sup>. Le modèle cinétique du second ordre s'applique bien dans le cas des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés. Le modèle d'Elovich semble adéquat pour modéliser les résultats expérimentaux, ce qui explique qu'il s'agit d'un phénomène de chimisorption, ainsi, le modèle de la diffusion intra-particulaire ajuste bien les cinétiques d'adsorption avec un coefficient de diffusion Cd ≠ 0, indiquant que le processus de rétention est gouverné par la diffusion dans les pores, mais elle n'est pas la seule étape limitante du phénomène.

#### V. Remerciements

Les auteurs remercient les enseignants chercheurs du laboratoire de physique des matériaux à l'université de Ferhat Abbas - Sétif pour leur soutien scientifique à la recherche sur les matériaux argileux.

#### VI. Références

- Guergazi, S.; Amimeur, D.; Achour, S. Elimination des substances humiques de deux eaux de surface algériennes par adsorption sur charbon actif et sur bentonite. *Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface* 13 (2013) 125-137.
- Aarfane, A.; Salhi, A.; Tahiri S. Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers. *Materials and Environmental Science* 5 (2014) 1927-1939.
- Sorgho, B.; Zerbo, L.; Traoré, K. Etude d'une argile locale du Burkina Faso à des fins de décontamination en Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> et Cr<sup>3+</sup>. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie* 31 (2011) 49-59.
- Baliti, J.; Asnaoui, A. L'élimination du bleu de méthylène par une argile naturelle de Taza en milieu aqueux. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering* 1 (2014) 313-321.
- Haffane, S.; Achak, O.; Chafik, T. Etude de l'effet de purification et de modification d'une argile locale sur les propriétés structurales et texturales. *Journal of Materials and Environmental Science* 7 (2016) 525-530.
- Gourouza, M.; Zanguina, V.; Natatou, I. Caractérisation d'une argile mixte du Niger. *Revue du Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur : Sciences des structures et de la matière* 1 (2013) 29-39.
- Qlihaa, A.; Melrhaka, F.; Hajjaji, N. Caractérisation physico-chimique d'une argile Marocaine. *Journal of Materials and Environmental Science* 7 (2016) 1741-1750.
- Er-ramly, A.; Ider, A. Physico-chemical and mineralogical characterization of a Moroccan bentonite (Azzouzet) and determination of its nature and its chemical structure. *International Journal of Materials Science and Applications* 3 (2014) 42-48.
- Akdim, M.; Jabrane, R. Physicochemical characterization of mixtures of the Miocene marl of Fez vicinity, cellulose and pozzolan. *Journal of Materials and Environmental Science* 8 (2017) 2747-2756.
- Qabaqous, O.; Naciri Bennani, M. Elaboration et caractérisation des supports plans à base d'argile (Ghassoul) pour membranes minérales. *Journal of Materials and Environmental Science* 5 (2014) 2244-2249.
- De Oliveira, C.; Rocha, M. Characterization of bentonite clays from Cubati, Paraíba (Northeast of Brazil). *Journal of Cerâmica* 62 (2016) 272-277.
- Sadki, H.; Ziat, K.; Saidi, M. Adsorption d'un colorant cationique d'un milieu aqueux sur une argile locale activée. *Journal of Materials and Environmental Science* 5 (2014) 2060-2065.
- Sahraoui, N.; Tassalit, D.; Chekir, N.; Brahimi, A.; Nouissi, S. Etude de l'adsorption de l'acétamipride par charbon actif synthétisé à partir d'un déchet de l'agro-alimentaire. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 3 (2017) 62-66.
- Fu, Q.; Deng, Y.; Li, H.; Liu, J.; Hu, H. Equilibrium kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of the toxins of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*

- by clayminerals. *Journal of Applied Surface Science* 8 (2009) 4551- 4557.
15. Djebri, N.; Boukhalifa, N.; Boutahala, M.; Chelali, N. Préparation des biomatériaux d'hydrogels à base d'argile et d'alginate (algues brunes): application environnementale. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 3 (2017) 14-20.
  16. Weber, J.R.; Morris, J.C.; Kinetics of Adsorption on Carbon from Solution, *Journal of Sanitary Engineering Division. American Society Civil Engineering* 89 (1963) 31.
  17. Kavitha, D. Adsorptive removal of phenol by thermally modified activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Environment and Biotechnology* 3 (2016) 24-34.
  18. Sifoun, N.; Abbas, M.; Yeddou, A.R.; Nouri, L.; Nadjemi, B.; Removal in batch mode experiment of Methylene Blue onto trimming wood of orange tree – Equilibrium and kinetics studies. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 4 (2018) 45-54.
  19. Karadag, D. Modeling the Mechanism, Equilibrium and Kinetics for the adsorption of Acid Orange 8 onto Surfactant-Modified Clinoptilolite: The application of Non-Linear Regression Analysis. *Dyes and Pigments* 74 (2007) 659-664.
  20. Hameed, B.H. Spent Tea Leaves: A New Non-Conventional and Low-Cost Adsorbent for Removal of Basic Dye from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials* 161 (2009) 753-759.

**Please cite this Article as:**

Batana F.Z., Taouti M.B., Guibadj A., Cinétique de l'adsorption du bleu de méthylène sur bentonite brute et traitée, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 5:4 (2019) 1113-1120