

**Etude qualitative et quantitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en poudre.**

**BoukraaAissam<sup>1\*</sup>-Messemmeche Faiza<sup>1</sup>.**

**1\*. Laboratoire de chimie appliquée et technologie des matériaux(LCATM),  
Université LarbiBenH'hidi Oum El-Bouagui – Algérie.**

**1. Département de sciences de la matière, Université Mohamed Khider – Biskra.**

*Auteur Correspondant : Aissam Boukraa, Département des sciences de la matière,  
Université de Biskra- Algérie.E-mail : [boukraaaisam@yahoo.fr](mailto:boukraaaisam@yahoo.fr)*

**Résumé**

L'objectif de notre travail est l'étude qualitative et quantitative de l'adsorption d'un colorant organique (Bleu de méthylène) sur la surface de charbon actif.

L'étude qualitative, réalisée à l'aide de spectroscopie FTIR, a montré une bonne superposition du bleu de méthylène sur l'adsorbant en question. Cette adsorption est traduite, bien entendu, par l'apparition des bandes caractéristiques de l'adsorbat.

En ce qui concerne l'étude quantitative, on a focalisé notre intérêt en premier lieu sur la cinétique d'adsorption en fonction des facteurs influençant le phénomène. En deuxième lieu, on a testé deux modèles à savoir le modèle de Langmuir et celui de Freundlich et on a abouti au fait que le mécanisme d'adsorption suit le modèle de Langmuir plus que celui de Freundlich.

**Mots clés :** charbon actif, bleu de méthylène, adsorption, cinétique.

**1. Introduction**

L'utilisation accrue de certains produits chimiques d'origine industrielle (colorants, détergents, hydrocarbures, engrais, pesticides) ou médicales (antipaludéens, antibiotiques, analgésiques, etc.) est à la base de nombreux cas de pollution des eaux, des sols, de l'air ou d'intoxication accidentelles ou volontaires, et, suscite à l'heure actuelle une attention particulière à l'échelle mondiale. On assiste aujourd'hui de plus

en plus à de nombreux cas d'altérations des écosystèmes et à des problèmes de santé publique pouvant conduire à l'élimination des espèces vivantes (végétaux, animaux, hommes).

Les propriétés adsorbantes d'un solide microporeux sont créées par la résultante des forces existantes entre deux molécules comme les forces de Van der Waals. L'origine de ces forces attractives est l'interaction électrostatique entre atomes ou les interactions dipolaires. Si l'on considère maintenant une molécule d'un fluide et un ensemble de molécules ou d'atomes à la surface d'un solide, la résultante des interactions conduit à la fixation de la molécule du fluide à la surface du solide. Ce phénomène est l'adsorption [1], [2]. On distingue deux types de phénomènes, selon la nature de la fixation. Si l'adsorption conduit à la création d'une véritable liaison chimique entre le fluide et le solide, on parlera de chimisorption[3]. Si la fixation est purement la résultante de forces d'interaction physiques, on emploiera le terme de physisorption, les énergies mises en jeu lors de cette dernière étant généralement beaucoup plus faibles que dans le cas de la chimisorption et plus facilement réversibles [4].

Le charbon actif, en grains ou en poudre [5], [6], est un matériau connu pour ses propriétés adsorbantes. Il est utilisé depuis longtemps dans l'industrie pour l'épuration de fluides [7], [8], [9], ou dans l'industrie chimique pour ses capacités de catalyse [10], [11].

De nombreux scientifiques des différentes disciplines s'intéressent, de plus en plus, à l'identification et à l'élimination des polluants de l'environnement. A cet effet, on recourt souvent à l'adsorption sur charbon actif, notamment pour l'élimination des produits toxiques, des micropolluants ou inorganiques de l'eau, la décoloration des huiles végétale et la purification de nombreux produits.

L'objet de ce travail est, dans un premier temps, de caractériser l'adsorbant qui est le charbon actif et l'adsorbat qui n'est d'autre que le bleu de méthylène. Dans un deuxième temps, d'étudier l'adsorption de bleu de méthylène, sur le charbon actif tout en focalisant notre intérêt sur les facteurs qui ont grande influence sur le phénomène en question pour élucider son mécanisme.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Caractérisation des composés à l'état pur

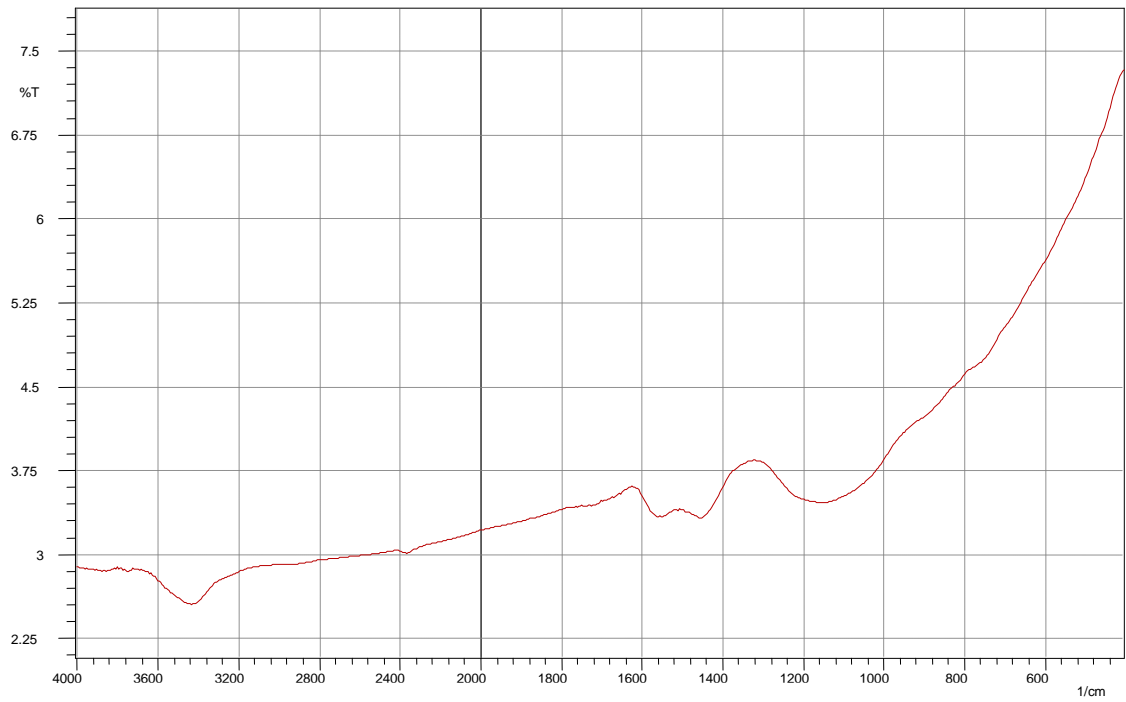
#### 2.1.1. Caractérisation de charbon actif par spectroscopie infrarouge

Le spectre FT-IR du charbon actif montre deux bandes à 3429 et 1080  $\text{cm}^{-1}$  qui peuvent être attribuées, respectivement, aux liaisons OH et C-OH étirement des groupes phénoliques [12]. Selon Montes-Moran [13], les bandes observées dans la région entre 1700  $\text{cm}^{-1}$  et 1490  $\text{cm}^{-1}$  sont attribuées, respectivement, aux liaisons C=C des groupes de pyrones et C=O des groupes carboxyliques (figure 1).

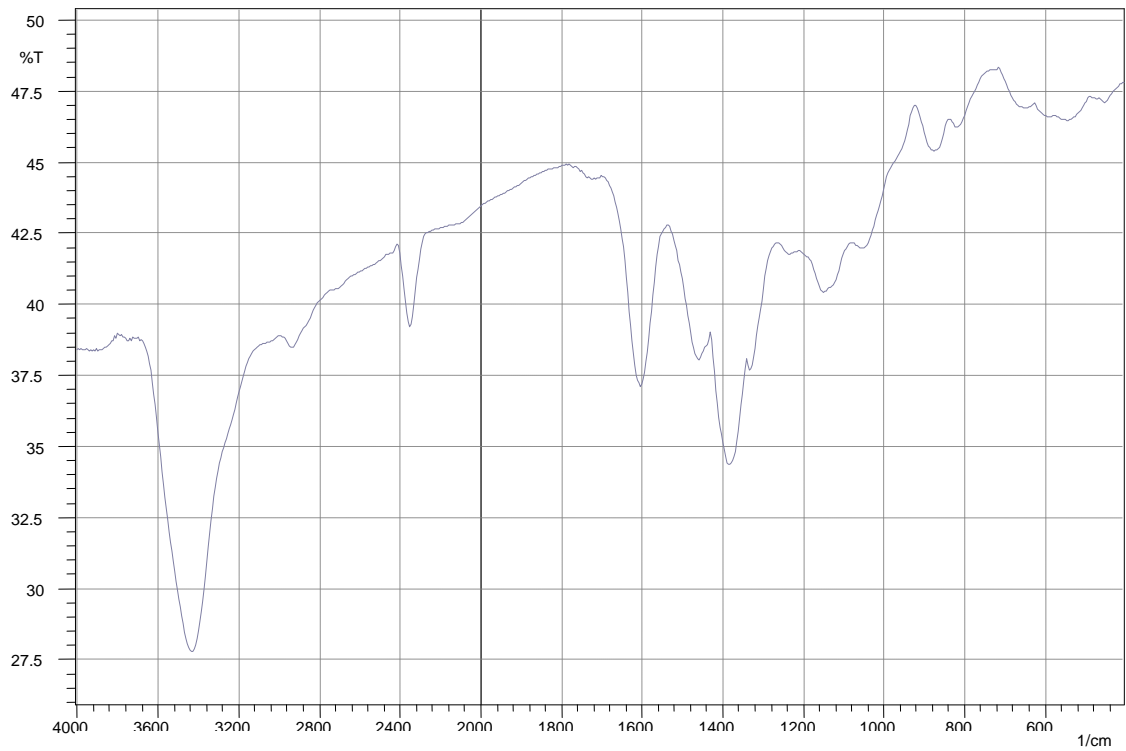
#### 2.1.2. Caractérisation de bleu de méthylène par spectroscopie infrarouge

Le tableau ci-dessous nous fournit les fréquences calculées accompagnées de celles théoriques des bandes infrarouges du colorant bleu de méthylène (figure 2). :

Fréquence(s) calculée	Fréquence théorique	$\nu$ Vibration	Groupe chimique
628,8	700-600	C-S	/
663,5	730-665	C=C	Aromatique
1400-1600	1600-1450	C=C	Aromatique
771,5	772-665	C-N	Amine 2 <sup>aire</sup>
1000-1200	1220-1020	C-N	Amine 2 <sup>aire</sup>
837	860-800	C-H déformation	Aromatique
1134,1	1175-1125	C-H	Aromatique
1396,4	1398-1385	C-H	CH <sub>3</sub> aliphatique
2963	2975-2950	C-H	CH <sub>2</sub> aliphatique
3409,9	3500-3100	N-H	Amine 2 <sup>aire</sup>



**Figure1.** Spectre FTIR de charbon actif pur.



**Figure2.** Spectre FTIR de bleu de méthylène pur.

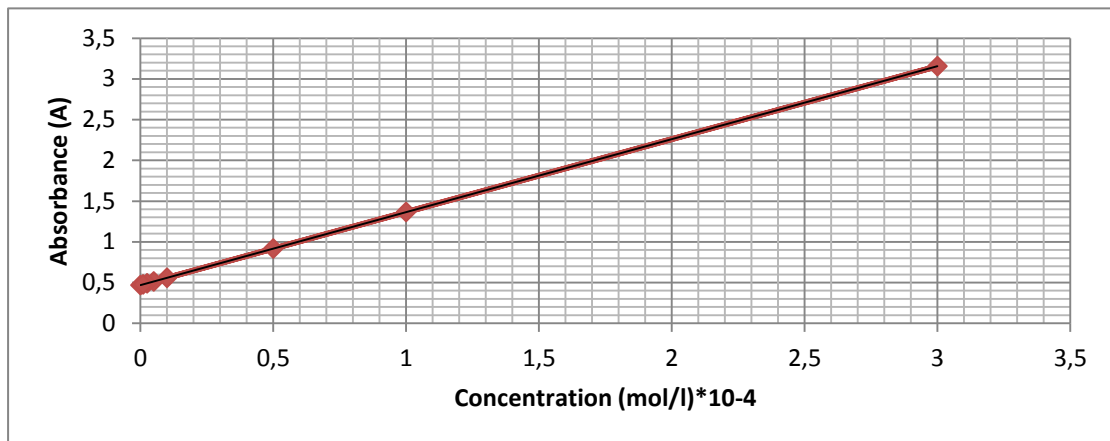
## 2.2. Etude qualitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

L'étude par spectroscopie-infrarouge (FTIR) (en transmission) des charbons actifs ont été effectuées sur un spectromètre SGIMADZU-8400S à la température ambiante (nombre d'onde compris entre 500 et 4000  $\text{cm}^{-1}$ , résolution de 2  $\text{cm}^{-1}$ ). Des pastilles constituées d'un mélange de 1 mg de charbon actif et de 100 mg de KBr ont été pressées et séchées au four avant l'analyse.

## 2.3. Etude quantitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

### 2.3.1. Préparation des solutions

La solution mère de bleu de méthylène est préparée à partir de 1g, que l'on dissout dans un litre d'eau distillée. Avant chaque série d'essais, on détermine la courbe d'étalonnage : *absorbance (A) = f (concentrations en bleu de méthylène)* à partir des dilutions successives de la solution mère (figure 3).



**Figure3.** Courbe d'étalonnage.

### 2.3.2. Dosage de bleu de méthylène

Les concentrations en bleu de méthylène sont déterminées à partir de l'absorbance en U.V, à une longueur d'onde  $\lambda = 580\text{nm}$ , sur un spectrophotomètre de type (UV/VIS).

### **3. Résultats et discussion**

#### **3.1. Résultats de l'étude qualitative**

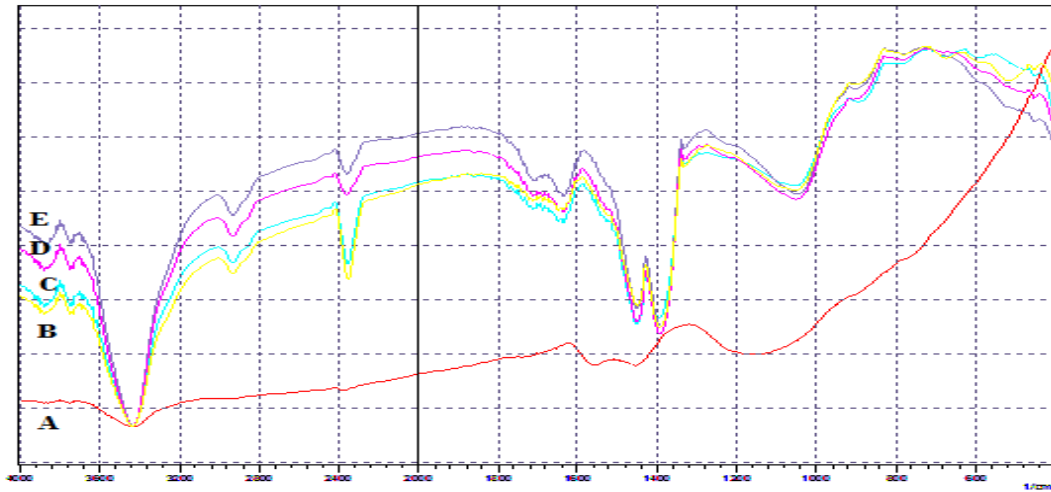
L'étude de l'adsorption sur le charbon actif en fonction de tous les facteurs supposés influencent le phénomène en question, à savoir la température, la concentration, le temps de contact et le pH, montre, dans toutes les expériences réalisées une superposition quasi-totale de la molécule de bleu de méthylène sur la surface de charbon actif en poudre.

Sur le spectre de la première expérience (figure4) où on a changé la température en allant de 7°C jusqu'à 80°C, on constate bien le pic très intense situé à  $3409,9\text{cm}^{-1}$  pouvant être attribué au lien N-H de l'amine primaire. La même chose se dit du pic se trouvant aux alentours de  $1600\text{cm}^{-1}$  qui peuvent être attribuées aux CN aromatiques et qui se superposent sur le site qui concerne le C=O des groupes carboxyliques. Le spectre nous montre aussi un développement très remarquable de la bande située entre 1000 et  $1200\text{cm}^{-1}$  attribuée au lien CN aromatique. A leur tour, les bandes qui évoluent remarquablement dans les régions qui se situent respectivement aux alentours de  $2000\text{cm}^{-1}$  et  $2400\text{cm}^{-1}$ ,  $2800\text{cm}^{-1}$  et  $3200\text{cm}^{-1}$  indiquent la présence des CH aliphatiques.

On remarque dans ce premier cas que la fixation de la molécule de bleu de méthylène sur la surface de charbon actif en poudre augmente en fonction de la température et se stabilise dans la région de 40°C et 80°C.

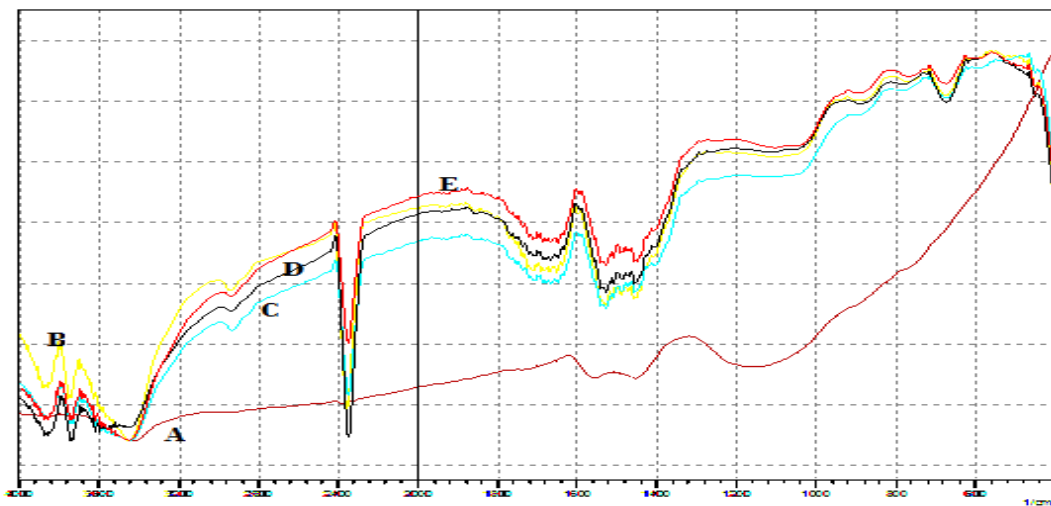
L'idem se dit des deux autres expériences où on a en premier lieu l'effet de la concentration initiale de l'adsorbat sur l'adsorption (figure5) et en deuxième lieu l'effet de temps de contact sur le phénomène à étudier (figure6): On a toujours les mêmes sites de charbon actif en poudre occupés par les mêmes pics caractéristiques de bleu de méthylène.

On peut conclure que tous les sites oxygénés du charbon actif sont attaqués par les pics caractéristiques de bleu de méthylène.



**Figure 4.** Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène en fonction de concentration, pH, vitesse d'agitation et température.

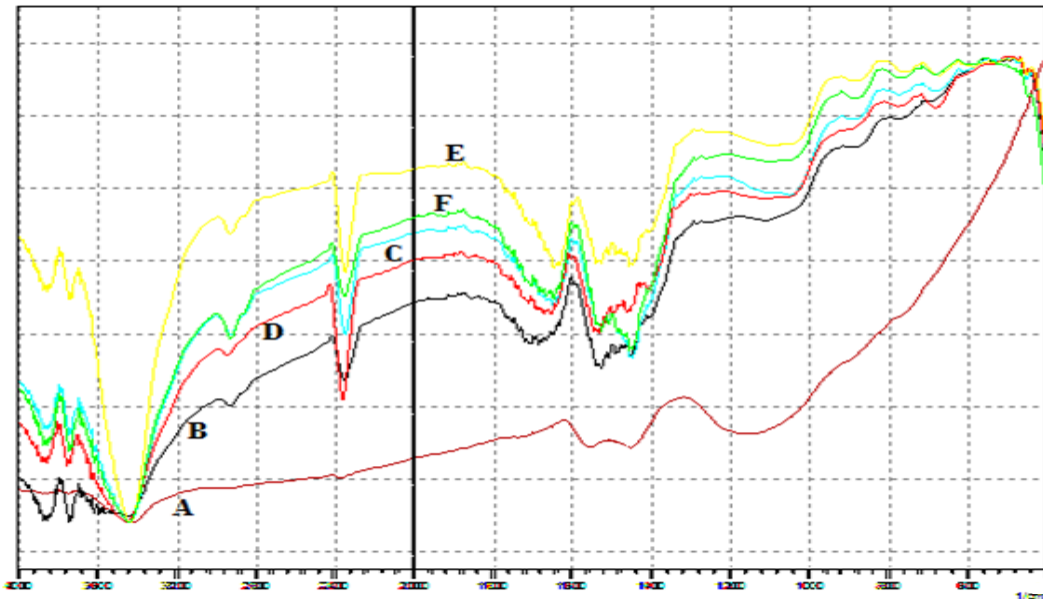
**A :** spectre infrarouge du charbon actif pur. **B :**  $C=1\text{g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=7^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ . **C :**  $C=1\text{g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ . **D :**  $C=1\text{g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=80^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ . **E :**  $C=1\text{g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=40^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ .



**Figure 5.** Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène en fonction de concentration, pH, vitesse d'agitation et température.

**A :** spectre infrarouge du charbon actif pur. **B :**  $C=0,5.10^{-5}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=30\text{min}$ . **C :**  $C=0,5.10^{-5}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=40^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,

t=30min. **D** : C=0,5.10<sup>-5</sup> mol/l, pH=6, T=80°C, V=300 tours/min, t=30min. **E** :  
C=0,5.10<sup>-5</sup> mol/l, pH=6, T=7°C, V=300 tours/min, t=30min.



**Figure 6.** Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène en fonction de concentration, pH, vitesse d'agitation et température.

**A** : spectre infrarouge du charbon actif pur. **B** : C= 10<sup>-4</sup> mol/l, pH=6, T=25°C, V=300 tours/min, t=2min. **C** : C= 10<sup>-4</sup> mol/l, pH=6, T=25°C, V=300 tours/min, t=10min. **D** : C= 10<sup>-4</sup> mol/l, pH=6, T=25°C, V=300 tours/min, t=20min. **E** : C= 10<sup>-4</sup> mol/l, pH=6, T=25°C, V=300 tours/min, t=30min. **F** : C= 10<sup>-4</sup> mol/l, pH=6, T=25°C, V=300 tours/min, t=60min.

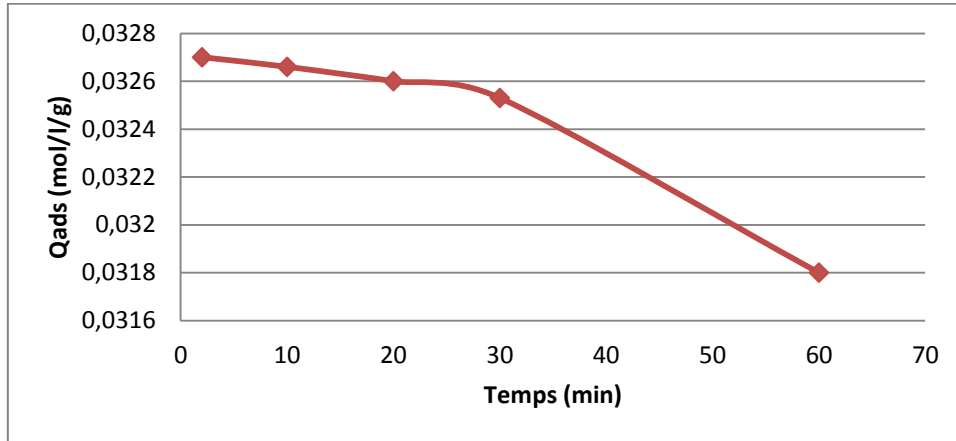
## 3.2. Résultats de l'étude quantitative

### 3.2.1. Influence du temps de contact sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif.

Les cinétiques d'adsorption du bleu de méthylène en solution de l'eau distillée à PH égal à 6 et à deux concentrations différentes, à savoir **10<sup>-4</sup> mol/l et 10<sup>-5</sup> mol/l**, pour une masse de charbon actif de 1g ont montré qu'une grande proportion du colorant est adsorbée dans les deux premières minutes. En effet, la quasi-totalité du colorant est éliminée. Ce phénomène constaté pendant les premières minutes de la réaction, peut être interprété par le fait qu'en

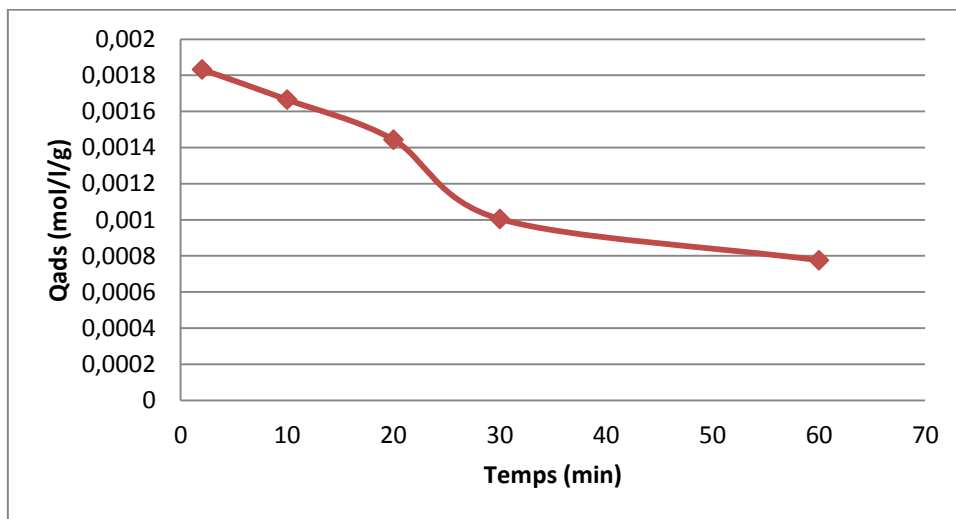


début d'adsorption, le nombre des sites actifs disponibles à la surface du matériau adsorbant, est beaucoup plus important que celui des sites restant après un certain temps. Dans tous les essais, le temps de contact a été maintenu à une heure comme maximum, temps nécessaire pour obtenir l'équilibre d'adsorption de ce colorant (figure 7), (figure 8).



**Figure 7.** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif .

( $C=10^{-4}$  mol/l, pH=6, T=25°C)

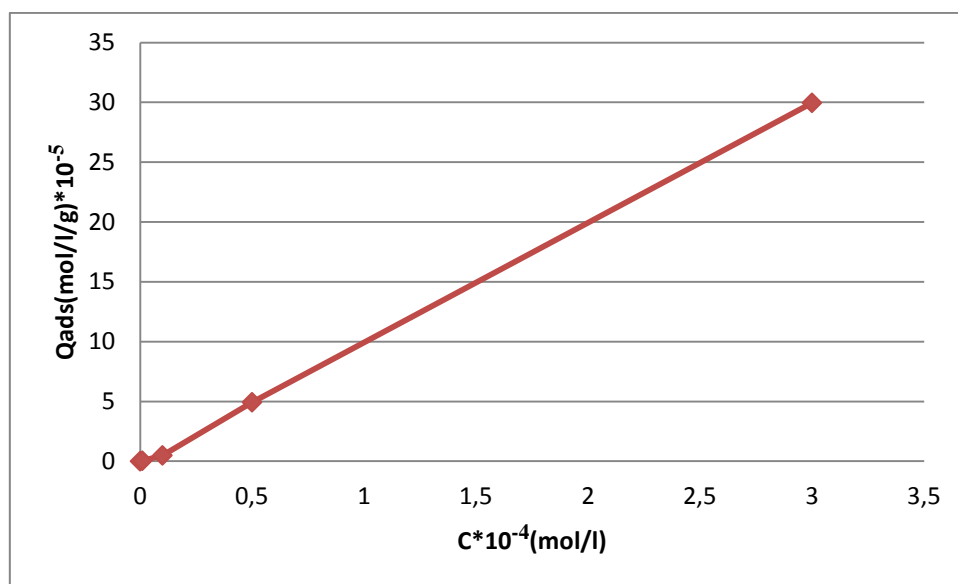


**Figure 8 :** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif .

( $C=10^{-5}$  mol/l, pH=6, T=25°C)

### 3.2.2. Influence de la concentration initiale de colorant sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

Pour étudier l'influence de la concentration du matériau adsorbant sur la fixation du colorant, des essais ont été menés avec des concentrations de  $10^{-6}$  mol/l à  $3.10^{-3}$  mol/l. Les autres paramètres sont maintenus constants. En représentant le pourcentage d'élimination du colorant en fonction de la concentration en adsorbant, nous avons constaté que l'accumulation du colorant croît avec la quantité d'adsorbant introduite, ce résultat s'explique par l'augmentation de la surface de contact offerte par l'adsorbant (figure9).



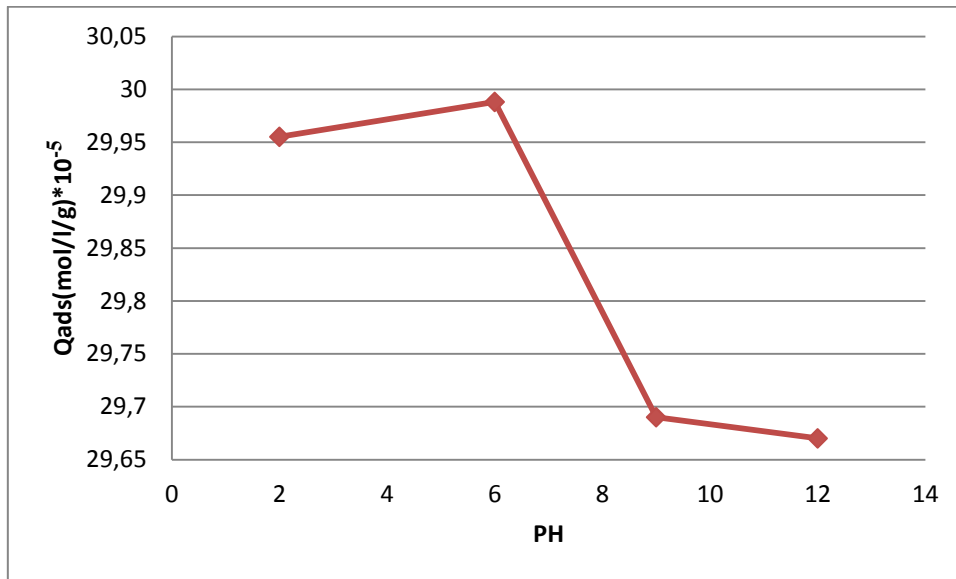
**Figure 9.** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de concentration initiale. ( $C=10^{-5}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2.3. Influence du pH sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus d'adsorption des colorants puisqu'il agit sur l'état d'ionisation de la surface de l'adsorbant. Des échantillons ont été préparés dans les mêmes conditions opératoires citées auparavant et au temps d'équilibre. Le pH est ajusté à la valeur désirée par de l'acide sulfurique ou de la soude.

Nous notons une hausse sensible du rendement d'adsorption dans la gamme de pH étudiée (2 à 6) respectivement de (99 %), (95,16 %) (figure 10). Nous déduisons donc que la disponibilité des sites destinés à fixer les colorants anioniques est dépendante du pH. En effet à pH acide, le nombre de sites actifs chargés négativement s'intensifie, ceci est dû à l'attraction électrostatique entre le colorant chargé négativement et la surface de l'adsorbant

chargée positivement pouvant être par exemple, sous forme qui présentent des sites actifs. La capacité de fixation d'un colorant par un adsorbant est tributaire de la charge surfacique de l'adsorbant(**figure 10**).



**Figure 10** : Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de pH. (C=3.10<sup>-4</sup>mol/l, pH=6)

### **3.2.4. Influence de température sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif**

La (figure 11) fait apparaître deux parties distinctes : 7°C au 25°C, l'adsorption évolue d'une façon remarquable ce qui laisse à supposer que la fixation de bleu de méthylène sur le charbon actif s'effectue endothermiquement.

De 25°C jusqu'au 80°C, on constate que la quantité adsorbée devient presque constante.

Pour bien confirmer ce résultat, on recourt à la notion de l'enthalpie ( $\Delta H$ ).

La valeur de l'enthalpie d'adsorption peut être calculée selon l'expression suivante :

$$\ln Q_{ads}(T_1) = \ln C - \frac{\Delta H}{RT_1} \quad , \quad \ln Q_{ads}(T_2) = \ln C - \frac{\Delta H}{RT_2}$$

$$\Delta H = R \ln \left[ \frac{Q_{ads}(T_2)}{Q_{ads}(T_1)} \right] / \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

**Première partie :**

$$T_1 = 7 + 273 = 280K. \quad , \quad T_2 = 25 + 273 = 298K.$$

Donc :  $\Delta H = 8.31 \ln \left[ \frac{29,955 \cdot 10^{-5}}{2,964 \cdot 10^{-5}} \right] / \left( \frac{1}{280} - \frac{1}{298} \right)$

$$\Delta H = 81,906 \text{ KJ/K.mol}$$

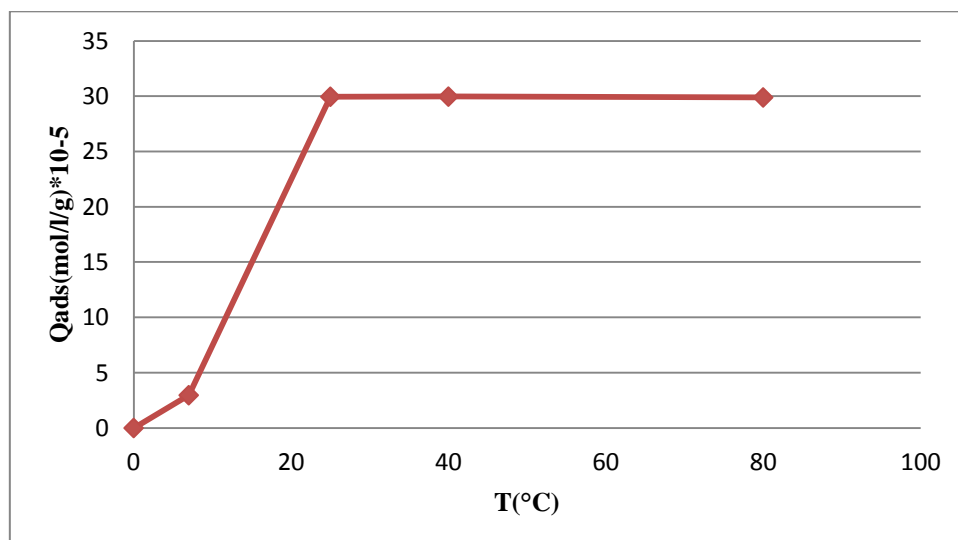
**Deuxième partie :**

$$T_1 = 25 + 273 = 298K. \quad , \quad T_2 = 80 + 273 = 353K.$$

Donc :  $\Delta H = 8.31 \ln \left[ \frac{29,90 \cdot 10^{-5}}{29,955 \cdot 10^{-5}} \right] / \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{353} \right)$

$$\Delta H = -0,0292 \text{ KJ/K.mol}$$

Température (°C)	7-25	25-80
Enthalpie (KJ/K.mol)	81,906KJ /K.mol >0	-0,0292KJ/K.mol < 0
Nature d'adsorption	endothermique	Exothermique( presque athermique)



**Figure 11 :** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de température.

$$C=10^{-5} \text{ mol/l, pH}=6.$$

#### 4. Modèles d'isothermes

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption. Elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée. Nous rappellerons ci-dessous les principales lois utilisées.

##### 4.1. Isotherme de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. Nous résumons ci-dessous ses principales caractéristiques.

A une température constante, la quantité adsorbée  $Q_{ads}$  est liée à la capacité maximale d'adsorption  $Q_m$ , à la concentration à l'équilibre  $C_e$  du soluté et à la constante d'affinité  $K$  par l'équation :

$$\frac{Q_{ads} K C_e}{Q_m} = \frac{1}{1 + K C_e} \quad (1)$$

La transformée linéaire de ce modèle a pour équation [14]:

$$\frac{1}{Q_{ads}} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{K Q_m C_e} \quad (2)$$

$$Q_{ads} Q_m K Q_m C_e$$

En portant  $1/Q_{ads}$  en fonction de  $1/C_e$  on obtient une droite de pente  $1/KQ_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/Q_m$ , cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $Q_m$  et  $K$ .

Parmi les caractéristiques de l'isotherme de LANGMUIR, on peut citer sa simplicité et le fait que les paramètres  $Q_m$  et  $K$  qu'il permet d'évaluer, ont un sens physique. La valeur de  $K$  est liée à la force d'interaction entre la molécule adsorbée et la surface du solide ; la valeur de  $Q_m$  exprime la quantité de soluté fixée par gramme de solide dont la surface est considérée comme totalement recouverte par une couche mono moléculaire. Cette simplicité est une conséquence des hypothèses restrictives qui permettent d'établir ce modèle [15].

#### 4.2. 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 [16]. Elle se présente sous la forme:

$$Q_{ads} = K_f C_e^{1/n}$$

$Q_{ads}$ : Quantité adsorbée par gramme du solide.

$C_e$ : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption.

$K_f$  et  $1/n_f$ : constantes de FREUNDLICH caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné.

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique [17]:

1

$$\ln Q_{ads} = \ln K_f + \frac{1}{n_f} \ln C_e$$

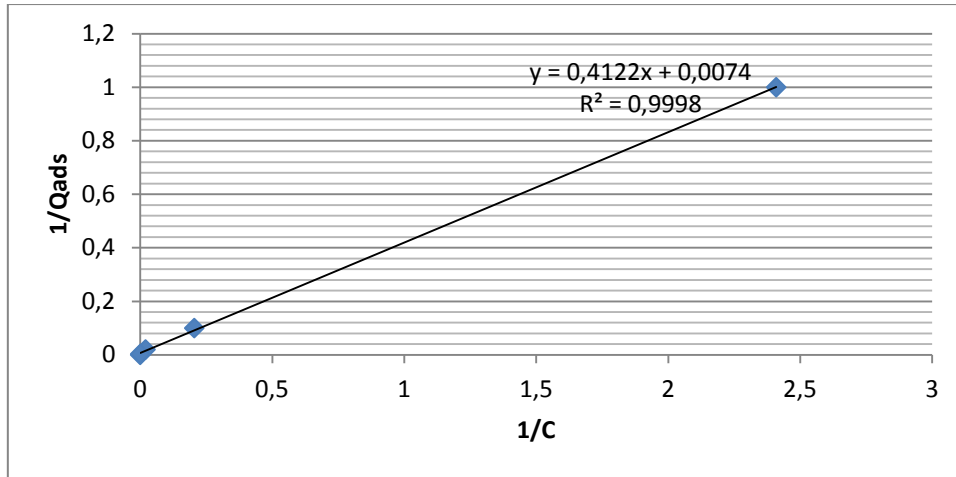
$n_f$

En traçant  $\ln Q_{ads}$  en fonction de  $\ln C_e$ , on obtient une droite de pente  $1/n_f$  et d'ordonnée à l'origine  $\ln K_f$ .

**Modèle de Langmuir :** Le (tableau1) réunit les données permettant de tracer la courbe  $1/Q_{ads} = f(1/C)$  (figure 12).

**Tableau 1 :** données du modèle de Langmuir.

<b>C</b>	0	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$0.5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
<b><math>Q_{ads}</math></b>	0	$0,0415 \cdot 10^{-5}$	$0.488 \cdot 10^{-5}$	$4,93 \cdot 10^{-5}$	$29,96 \cdot 10^{-4}$
<b><math>1/C</math></b>	0	$10^6$	$10^5$	$2 \cdot 10^4$	$3,3333 \cdot 10^3$
<b><math>1/Q_{ads}</math></b>	0	$2,4096 \cdot 10^6$	$2,0491 \cdot 10^5$	$2,0283 \cdot 10^4$	$3,3377 \cdot 10^2$

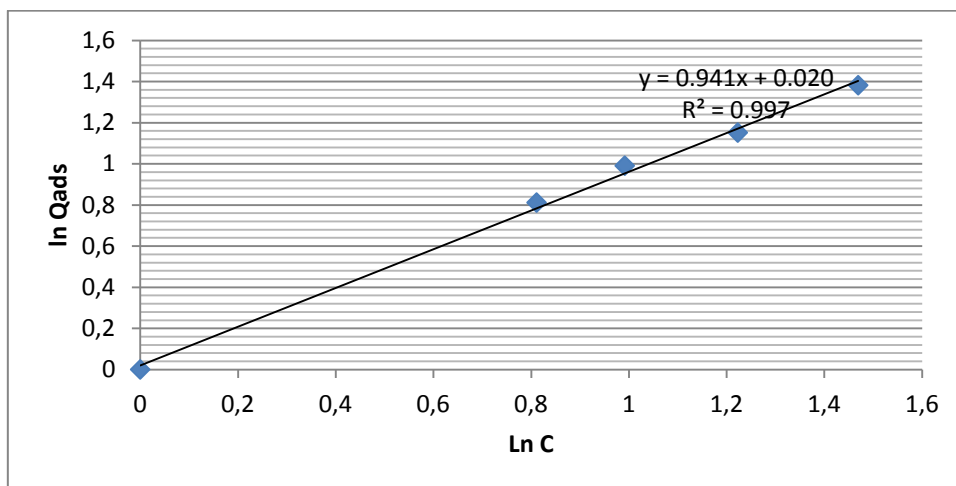


**Figure 12** : Isotherme de Langmuir.

**Modèle de Freundlich** : Le (tableau 2) réunit les données permettant de tracer la courbe  $\ln Q_{ads} = f(\ln C)$  (figure 13).

**Tableau 2** : données du modèle de Freundlich.

<b>C</b>	0	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$0.5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
<b>Q<sub>ads</sub></b>	0	$0,0415 \cdot 10^{-5}$	$0,488 \cdot 10^{-5}$	$4,93 \cdot 10^{-5}$	$29,96 \cdot 10^{-4}$
<b>Ln Q<sub>ads</sub></b>	0	-14,6949	-12,2303	-9,9175	-8,1130
<b>Ln C</b>	0	-13,8155	-11,5129	-9,9034	-8,1117



**Figure 13** : Isotherme de Freundlich.

Pour bien préciser le mécanisme d'adsorption, on a en recourt à établir deux fonctions dont la première est dite modèle de Langmuir reliant la valeur  $1/C$  avec  $1/Q_{ads}$ , alors que le deuxième modèle est la fonction  $\ln Q_{ads}=f(\ln C)$  appelé aussi modèle de Freundlich. On doit comparer ces deux modèles selon la linéarisation des fonctions qui correspondent. Autrement dit, on est ramené à comparer les coefficients de corrélation  $R^2$  (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Comparaison entre les coefficients de corrélation  $R^2$  des deux modèles.

Typed'isotherme	Coefficient de corrélation $R^2$
Langmuir	0.999
Freundlich	0.997

A partir du (tableau 3), on remarque bien que l'adsorption du bleu de méthylène sur le charbon actif obéit à la loi de Langmuir ainsi que la loi de Freundlich.

## **Conclusion**

Au terme de notre travail, nous avons montré que le colorant en question est totalement éliminé des solutions. L'étude des facteurs qui ont influence sur l'adsorption a montré que: la quasi-totalité du colorant est éliminée dans les deux premières minutes. Le pH est un paramètre à prendre en considération. L'efficacité est meilleure dans un milieu acide. L'accumulation du colorant croit avec la quantité d'adsorbant introduite, ce résultat s'explique par l'augmentation de la surface de contact offerte par l'adsorbant. La température n'a presque aucun effet sur l'adsorption. Cette dernière peut s'effectuer même dans la chaleur ambiante.

Enfin, à la lumière de tous ces résultats, on peut décrire le mécanisme d'adsorption de bleu de méthylène sur la surface de charbon actif en poudre comme suit : L'adsorption est localisée c'est-à dire que la molécule restera adsorbée sur son site définitivement avec la formation, seulement, d'une couche mono-moléculaire sur le solide ce qui laisse à confirmer que la surface est énergiquement homogène.

## **Références**



1. Badie S., Abdel-nasser A., El-hendawy, Porosity development in activated carbon obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid, *Microporous Material* vol.52, p. 105-117, 2002.
2. Otowa T., Nojima Y., Miyazaki T., Development of KOH activated high surface area carbon and its application to drinking water purification, *Carbon* vol. 35, No. 9, p. 1315-1319, 1997.
3. Christopher A. T., Wayne E. M., Mitchell M. J., Lynda H. W., Andrew M., Acid-activated carbons from almond shells: physical, chemical and adsorptive properties and estimated cost of production, *Bioresource Technology* vol. 71, p.87-92, 2000.
4. Madrau S., Caractérisation des adsorbants pour la purification de l'hydrogène par adsorption modulée en pression. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de lorraine, p. 3-4, 1999.
5. Kaustubha M., Das D., Biswasou M. N., Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from *Tectona grandis* sawdust by  $ZnCl_2$  activation, *Chemical Engineering Journal* vol 115, p. 121–131, 2005.
6. Rong-Chi W., Chien-Chung K., Chja-Cheng S., Adsorption of phenols onto granular activated carbon in a liquid-solid fluidized bed, *J. Chem. Technol. Biotechnol* vol 68, p.187-194, 1997.
7. Jadwiga K., Removal of phenol from aqueous solution by adsorption, *Can, J. Civ. Eng* vol 33, p. 546-551, 2000.
8. Hoa P. N., Rio S., Faur C., Le Coq L., Le Cloirec P., Nguyen T. H., Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications, *Carbon* vol. 44, pp. 2569-2577, 2006.
9. Reffas A., (2010), Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café, Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constatine.
10. Brasquet C., Le Cloirec P., Adsorption onto activated carbon fibers: Application to water and air treatments. *Carbon* vol. 35, No. 9, p. 1307-1313, 1997.
11. Matatov-Meytal Y., Sheintuch M., Catalytic fibers and cloths. *Appl Catal : A General* vol. 23, p.1-16, 2002.
12. Figueiredo J.L., Pereira M.F.R., Freitas M.M.A., Orfao J.J.M., *Carbon*, 1999, 37,1379.

13. Montes-Moran M.A., D.Suarez, Meneudez J.A., Fuente E., *Carbon*, 2004, 42, 1219.
14. Suzuki T., Ishigaki K., *Chem. Eng. Commun.* 34(1985), 143.
15. Hiemenz P.C., in: *principales of colloid and surface chemistry*, Ed., Marcel Dekker, New York, (1986) 353-419.
16. Calvet R., Terce M., Arvieu J.C., *Ann. Argon* 31(1980), 239-257.
17. Stumm W., Morgan J.J., *Aquatic chemistry*, Ed.2, Wiley inter-science J., Wiley & sons (1981).