

## Modélisation des propriétés adsorbantes de charbons activés issus de deux variétés d'Acacia (*auriculiformis* et *mangium*)

### [ Modeling of the adsorbent properties of activated carbons resulting from two varieties of Acacia (*auriculiformis* and *mangium*) ]

Drissa Ouattara KRA<sup>1</sup>, N'Da Arsène KOUADIO<sup>2</sup>, Grah Patrick ATHEBA<sup>1</sup>, Brahima COULIBALY<sup>2</sup>, ALLOU N'guadi Blaise<sup>1</sup>, GBASSI K. Gildas<sup>3</sup>, and Albert TROKOUREY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Physique,  
Université Felix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan,  
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Laboratoire de Bioénergie,  
Centre National de Recherche Agronomie (CNRA)-Abidjan,  
08 BP 881 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Département de Chimie Générale et Analytique (UFR des Sciences Pharmaceutiques),  
Université Félix Houphouët Boigny,  
BPV 34 Abidjan, Cote d'Ivoire

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The acacia is a kind of tree with a rapid growth. It is now used in Cote d'ivoire, by the National Center of Agronomic Research (CNRA) through its program "Forest and Environment" to fight against the deforestation and to produce, of the charcoal mainly. But, in order to value this Ivorian biomass too, some activated carbons have been prepared by charcoal, from two species of Acacia (*auriculiformis* and *mangium*) following the chemical mode of activation with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. The adsorbent properties of the activated carbon samples obtained have been studied. These properties have been studied from the isotherms of adsorption of the methylene blue (MB). This allowed determining the types of adsorption: the isotherms of adsorption on the activated carbons *auriculiformis* are of type L and are compatible with the model of Langmuir and that of Freundlich. The isotherms of adsorption on the activated carbons *mangium* are of type S, and do not describe in a satisfactory way the model of Langmuir, nor that of Freundlich. The results obtained by adsorption of the MB on the different activated carbons permitted showing that, the carbon *auriculiformis* activated to 800°C, during 6 hours (CA-A6-800), is the most effective of all the activated carbons, for the elimination of this dye.

**KEYWORDS:** activation, activated carbon, adsorption, isotherm, *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*.

**RESUME:** L'acacia est une espèce d'arbre à croissance rapide. Il est actuellement utilisé en côte d'ivoire, par le programme « forêt et environnement » du centre national de recherche agronomique (CNRA), pour lutter contre la déforestation et pour produire principalement, du charbon de bois. Mais, dans le souci de valoriser aussi cette biomasse ivoirienne, des charbons actifs ont été préparés à partir de charbon de bois, issus de deux espèces d'Acacia (*auriculiformis* et *mangium*) suivant le mode d'activation chimique à H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Les propriétés adsorbantes des échantillons de charbons activés obtenus, ont été étudiées. Ces propriétés ont été étudiées à partir des isothermes d'adsorption du bleu de méthylène (BM). Ceci a permis de déterminer les types d'adsorption : les isothermes d'adsorption sur les charbons actifs-auriculiformis sont de type L et sont compatibles avec le modèle de Langmuir et celui de Freundlich. Les isothermes d'adsorption sur les charbons actifs-mangium

sont de type S, et ne décrivent pas de façon satisfaisante le modèle de Langmuir, ni celui de Freundlich. Les résultats obtenus par adsorption du BM sur les différents charbons activés ont permis de montrer que, le charbon auriculiformis activé à 800°C, pendant 6 heures (CA-A6-800), est le plus efficace de tous les charbons actifs, pour l'élimination de ce colorant.

**MOTS-CLEFS:** activation, charbon activé, adsorption, isotherme, *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*.

## 1 INTRODUCTION

Les procédés de protection de l'environnement suscitent une attention particulière dans la recherche de matériau adsorbant tel que les charbons actifs. Le charbon actif est le produit final obtenu par un processus d'activation physique ou chimique, de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone. Le charbon actif comme matériau poreux, est couramment utilisé, depuis des siècles, dans de nombreuses applications domestiques et industrielles. Les charbons actifs à pouvoir adsorbant très élevé, ont une place privilégiée dans la purification de l'air, la dépollution des effluents domestiques et industriels, la purification et la décoloration des produits agro-alimentaires [1,2]. Parmi les différentes technologies existantes (adsorption, oxydation avancée, filtration membranaire...) pour l'élimination des matières indésirables, l'adsorption sur charbon actif est particulièrement intéressante du fait de son efficacité constatée, de sa simplicité de mise en œuvre [3] et du fait qu'elle valorise aussi, la biomasse [4,5]. Parmi les sources de matériaux précurseurs de charbon actif, les matériaux d'origine végétale telle que l'acacia font l'objet d'intenses investigations [6,7]. L'acacia est une espèce d'arbre, à croissance rapide, se développe sur les sols même dégradés, régénère rapidement, et améliore la fertilité des sols. Jusqu'à ce jour, le programme « forêt et environnement » du CNRA utilise l'acacia pour lutter contre la déforestation, et pour produire du charbon de bois [8]. Au-delà de cette idée, de produire du charbon, la fabrication de charbons actifs a été proposée, afin de valoriser davantage le charbon de bois d'Acacia pour produire du charbon actif moins onéreux en Côte d'Ivoire. La présente étude porte sur la détermination des propriétés adsorbantes de charbons activés par voie chimique, de deux espèces d'Acacia. Le choix de l'activation chimique vient du fait que la préparation des charbons actifs s'opère à faible température, à un coût d'activation moindre et cette méthode permet également d'obtenir de grandes surfaces spécifiques [9]. L'adsorption du bleu de méthylène, en solution aqueuse a été étudié car il s'agit d'un polluant modèle qui renseigne sur la capacité d'adsorption de charbon vis-à-vis des molécules de taille moyenne et peut donner d'utiles informations sur l'état d'ouvertures de pores [10]. Cette étude se veut ainsi, une contribution au traitement des eaux domestiques et industrielles.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 PREPARATION DU CHARBON ACTIVÉ

#### 2.1.1 MATIERE PREMIERE

Le matériau précurseur du charbon actif est du charbon issu de la carbonisation de bois d'*Acacia auriculiformis* (AA) et d'*Acacia mangium* (AM). Les échantillons de charbons (AA) et (AM) ont été préparés dans une cornue expérimentale à gaz butane, à la Station de Recherche Technologique (SRT) du CNRA à Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire).

#### 2.1.2 PREPARATION DE LA SOLUTION D'IMPREGNATION ET IMPREGNATION DU CHARBON

La solution d'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) utilisée pour l'imprégnation du charbon a été préparée à partir d'une solution commerciale de  $H_3PO_4$  (Ph. EUR, réactif PROLABO, pureté 85%, densité 1,68 à 1,71). La solution d'imprégnation a été obtenue par dilution (10%) d'un volume requis (450 mL) de la solution commerciale dans un ballon à fond plat jaugé. Le charbon brut (1kg) concassé en petit morceau (grossièrement  $1cm^3$ ) est imprégné dans la solution diluée de  $H_3PO_4$  pendant 24 heures. Le charbon totalement immergé dans la solution acide, est extrait et séché dans une étuve (MEMMERT) à 120°C pendant 24 heures.

#### 2.1.3 TRAITEMENT THERMIQUE

Un traitement préliminaire a consisté à broyer le résidu sec de charbon imprégné à l'aide d'un mortier de laboratoire. D'abord, la fraction de particules dont le diamètre est compris entre 0,5 et 1,25 mm est récupérée à l'aide d'un tamis AFNOR puis stockée à l'abri de l'humidité. Une masse de 100 g de ce charbon en grain est mise dans un creuset en porcelaine et

fermée avec un couvercle. Ensuite, l'ensemble est porté dans un four à moufle (NABERTHERN 30-3000°C) en l'absence des gaz activant classiques (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> ...). Enfin, le four est programmé à divers temps de séjour [une (1) heure puis six (6) heures] et aussi à différentes températures d'activation (400°C, 600°C et 800°C). Cette opération est réalisée pour chaque espèce de charbon d'*Acacia*. Les caractéristiques d'activation thermique des deux espèces d'*Acacia* sont résumées dans le **tableau 1**.

#### 2.1.4 TRAITEMENT FINAL

Le charbon, une fois sorti du four à la température ambiante, est d'abord, abondamment lavé à l'eau distillée bouillante, jusqu'à ce que le pH de l'eau filtrée soit compris entre 6,5 et 7. Ensuite, il est séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Enfin le charbon activé est conservé dans des bocaux hermétiquement fermés avant les essais d'adsorption, après leur refroidissement effectué dans un dessiccateur.

**Tableau 1 : Caractéristiques d'activation thermique des charbons d'*Acacia auriculiformis* et d'*Acacia mangium*.**

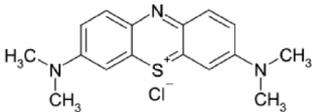
| Charbon d'Acacia      | Vitesse de montée en température (°C/min) | Température d'activation (°C) | Durée d'activation (heure) | Dénomination du charbon activé |
|-----------------------|---|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| <i>auriculiformis</i> | 26  | 400                           | 1                          | CA-A1-400                      |
|                       |   |                               | 6                          | CA-A6-400                      |
|                       |   | 600                           | 1                          | CA-A1-600                      |
|                       |   |                               | 6                          | CA-A6-600                      |
|                       |   | 800                           | 1                          | CA-A1-800                      |
|                       |   |                               | 6                          | CA-A6-800                      |
| <i>mangium</i>        | 26  | 400                           | 1                          | CA-M1-400                      |
|                       |   |                               | 6                          | CA-M6-400                      |
|                       |   | 600                           | 1                          | CA-M1-600                      |
|                       |   |                               | 6                          | CA-M6-600                      |
|                       |   | 800                           | 1                          | CA-M1-800                      |
|                       |   |                               | 6                          | CA-M6-800                      |

## 2.2 ETUDE DU POUVOIR ADSORBANT DES CHARBONS ACTIVES OBTENUS

### 2.2.1 CHOIX DU POLLUANT

Le bleu de méthylène (BM) est un colorant organique appartenant à la famille des thiazines. Il est soluble dans l'eau et plus légèrement dans l'alcool. Il est utilisé pour étudier la performance des adsorbants en général et les charbons actifs en particulier [11,12]. Le choix de ce colorant vient du fait qu'il est à la fois de nature organique, cationique et de taille moyenne connue (15Å). Ses caractéristiques sont regroupées dans le **tableau 2**.

**Tableau 2 : Quelques caractéristiques du bleu de méthylène [13].**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Dénomination            | Bleu de méthylène (BM)   |
| Appellation chimique    | Chlorure de 3,7- bis (diméthylamino) Phénazathionium                                 |
| Formule brute           | C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> N <sub>3</sub> ClS                                   |
| Formule semi-développée |  |
| Masse molaire           | 320 g/mol  |
| Dimension (Diamètre)    | 15Å  |
| Aire de la molécule     | 175Å <sup>2</sup>  |
| λ <sub>max</sub>        | 664 nm   |

### 2.2.2 EQUILIBRE D'ADSORPTION

Cette étude permet de déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre. Pour se faire, une masse de 0,8 g de charbon actif est mise dans 100 mL d'eau distillée (rapport solide /liquide R= 8g/L) contaminée par 2 mg/L de BM dans un erlenmeyer. L'erlenmeyer est agité à 350 tours/min à la température de  $26^{\circ}\text{C} \pm 2$ , à pH = 5,3 pendant un temps 240 min. L'analyse par spectrophotomètre UV/visible permettra de déterminer la concentration résiduelle de la phase liquide de BM, lors des prélèvements effectués à différents temps de réaction. Le spectrophotomètre utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques (ou absorbance). Les analyses sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre THERMO SCIENTIFIQUE type Hélios OMEGA UV-VIS. La longueur d'onde maximale est 664 nm. La longueur d'onde maximale est obtenue par un balayage automatique entre 300 et 800 nm.

### 2.2.3 TEST D'ADSORPTION

Une solution-mère de BM de concentration 2 mg/L a été préparée en dissolvant une quantité appropriée de BM solide avec de l'eau distillée. La solution-mère a été convenablement diluée par l'eau distillée aux concentrations désirées. Ainsi, des études d'adsorption ont été réalisées dans des erlenmeyers par l'utilisation de la dose optimale de charbon actif retenue lors de l'effet de masse, et 100 mL de solution de BM à différentes concentrations initiales dans la gamme de 0,25 mg/L – 2 mg/L. La température et le pH ont été maintenus respectivement à  $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$  et à 5,3. Une agitation par un barreau magnétique à 350 tours/min permet une bonne mise en contact de l'adsorbant avec la solution. Quant au temps de prélèvement, il dépendra du temps d'équilibre. Les concentrations à l'équilibre ou concentration résiduelle ont été déterminées par dosage spectrophotométrique.

### 2.2.4 SURFACE SPECIFIQUE

La surface spécifique a été déterminée par la méthode d'adsorption de bleu de méthylène. A cet effet, 100 mL de solution BM à 2mg/L sont mis en contact avec 800 mg de charbon actif. La suspension est agitée pendant le temps d'équilibre. Des prélèvements effectués toutes les dix minutes permettent de déterminer le temps d'équilibre, et donc la concentration à l'équilibre ( $C_r$ ) de la solution résiduelle de BM obtenue, par mesure de la densité optique à  $\lambda_{\text{max}}$ . On calcule alors  $Q_m$ , la capacité maximale d'adsorption du charbon actif pour BM à l'aide de la relation (1) :

$$Q_m = \frac{(C_0 - C_r) \times V}{m} \quad (1)$$

Avec :  $Q_m$ , capacité maximale d'adsorption du charbon pour BM ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) ;

$C_0$ , concentration initiale de la solution de BM ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) ;

$C_r$ , concentration à l'équilibre de la solution de BM ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) ;

$m$ , masse du charbon actif (g) ;

$V$ , volume de la solution (mL).

La surface spécifique  $S_{\text{BM}}$  (déterminée à l'aide de BM) est calculée à partir de l'équation (2) suivante :

$$S_{\text{BM}} = Q_m \cdot N_A \cdot S \quad (2)$$

Avec :  $S_{\text{BM}}$ , surface spécifique déterminée en utilisant BM comme adsorbat ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) ;

$S$ , aire occupée par une molécule de BM ( $175 \text{ \AA}^2$ ) ;

$N_A$ , nombre d'Avogadro.

### 2.2.5 MODELISATION DE L'ADSORPTION EN MILIEU AQUEUX

Afin d'étudier le pouvoir adsorbant des charbons actifs, les modèles de Langmuir et de Freundlich ont été appliquées en raison de leur simplicité et de leur facile interprétation.

### 2.2.5.1 MODÈLE DE LANGMUIR

L'isotherme est représentée par l'équation suivante :

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot K_L \cdot C_r}{1 + K_L \cdot C_r} \quad (3)$$

Avec :

$Q_e$  ( $mg \cdot g^{-1}$ ), quantité d'espèces adsorbées par gramme de l'adsorbant à l'équilibre ;

$Q_m$  ( $mg \cdot g^{-1}$ ), capacité d'adsorption à la saturation et qui correspond à formation d'une monocouche ;

$K_L$ , constante thermodynamique de Langmuir liée au système adsorbant- adsorbant.

La linéarisation de l'équation de Langmuir (3) conduit à l'équation suivante :

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m \cdot K_L} \cdot \frac{1}{C_r} + \frac{1}{Q_m} \quad (4)$$

En représentant  $\frac{1}{Q_e} = f\left(\frac{1}{C_r}\right)$ , nous pouvons en déduire ainsi  $Q_m$  à partir de l'ordonnée à l'origine et  $K_L$  à partir de la pente.

### 2.2.5.2 MODÈLE DE FREUNDLICH

Il s'agit d'une équation, souvent employée dans la représentation pratique d'adsorption entre le soluté et la surface du charbon actif. Elle se présente sous la forme :

$$Q_e = K_F \cdot C_r^{1/n} \quad (5)$$

$K_F$  et  $1/n$  désignent respectivement la capacité d'adsorption en  $mg/g$  et une constante indiquant l'intensité de l'adsorption:

La forme linéaire de cette équation de Freundlich (5) donne :

$$\ln Q_e = \ln K_F + 1/n_f \ln C_r \quad (6)$$

La représentation de  $\ln Q_e = f(\ln C_r)$  permet la détermination de  $K_F$  et de  $1/n$ .

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 EFFET DE LA MASSE DU CHARBON ACTIF

L'étude de l'influence de la masse du charbon activé sur la capacité d'adsorption de BM a consisté à faire varier la quantité initiale du charbon activé (1g/L, 2g/L, 4g/L, 6g/L, 8g/L, 10g/L), tout en conservant la concentration initiale de BM en solution. La concentration optimale de charbon activé qu'il faut pour éliminer une quantité importante de BM est la même pour les deux espèces d'*Acacia* selon la **figure 1**, c'est-à-dire un rapport solide / liquide  $R = 8g/L$ . Les résultats de la **figure 1**, montre que l'augmentation de la masse des charbons activés des deux espèces d'*Acacia* influe sur la quantité de BM adsorbée, dans les conditions expérimentales effectuées, jusqu'à une valeur maximale (au-delà de 8g/L). En d'autres termes, plus la masse de charbon activé augmente, le BM est adsorbé, jusqu'à une valeur correspondant à la saturation. Cela pourrait s'expliquer par les effets de compétitions sur les sites d'adsorption, par des effets de désorption ; ce qui signifie que pour les excès de masses, on assiste à des effets d'inhibition. L'amélioration du rendement d'élimination de BM peut être justifiée par l'augmentation des sites d'adsorption avec l'augmentation de la masse. En effet, la masse du charbon activé augmente avec le nombre de sites. Par conséquent, la probabilité d'interaction (molécule-site) croît également ; ce qui conduit à une meilleure rétention de BM. Ces mêmes observations ont été faites par Bouchemal et Achour [14] lors des essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre.

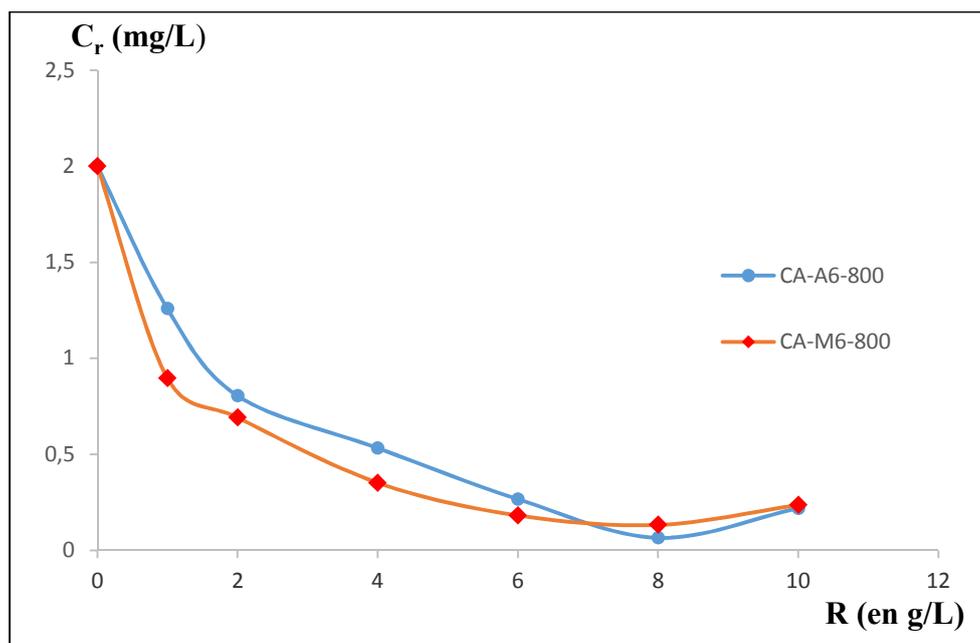


Figure 1 : Effet de la masse des charbons actifs *Acacias auriculiformis* (CA-A6-800) et *mangium* (CA-M6-800) sur l'adsorption du Bleu de méthylène ;  $C_0 = 2 \text{ mg/L}$ ;  $V = 100 \text{ mL}$ ;  $T = 26 \pm 2$ ;  $\text{pH} = 5, 3$ .

### 3.2 ETUDE DE L'ADSORPTION AU COURS DU TEMPS

L'étude de l'adsorption de BM sur les charbons actifs (CA) au cours du temps, implique la détermination du temps de contact, temps qui correspond à l'équilibre d'adsorption ou à un état de saturation du support par le substrat. Les courbes cinétiques pour l'adsorption de BM sur les *CA auriculiformis* et *CA mangium* sont présentées sur les **Figures 2 et 3**. Elles montrent que la capacité d'adsorption augmente avec le temps d'adsorption jusqu'à atteindre une valeur maximale ( $Q_m$ ) qui ne varie pratiquement pas dans le temps. Les courbes cinétiques obtenues sont des courbes typiques de saturation. Les sites d'adsorption sont occupés progressivement par les molécules de BM jusqu'à leur saturation (au-delà de 8g/L). Les résultats obtenus à l'issue de ces expériences ont montré que le temps d'équilibre est atteint à 45 min pour tous les charbons actifs. Le temps d'équilibre est indépendant de l'espèce d'*Acacia*. L'influence de la température d'activation et de la durée d'activation a été étudiée. Ainsi, par ordre décroissant et par espèce, c'est-à-dire du charbon le plus adsorbant, au charbon le moins adsorbant, par espèce, l'ordre du pouvoir adsorbant qui découle des **figures 2 et 3** est le suivant :

**CA-A6-800 > CA-A6-600 = CA-A6-400 = CA-A1-400 > CA-A1-800 > CA-A1-600.**

**CA-M6-800 > CA-M1-800 > CA-M6-600 > CA-M6-400 > CA-M1-600 > CA-M1-400.**

Il ressort de cette analyse que la capacité d'adsorption augmente en général avec la température et la durée d'activation. L'augmentation de la capacité d'adsorption de BM avec la température et la durée d'activation, est probablement due à l'augmentation du nombre et de la taille des pores, quand la température et la durée d'activation augmentent. Ces mêmes observations ont été faites par Abdel-Nasser et al. [15]. Ils ont constaté qu'une activation chimique à 700°C donne une forte microporosité et une grande capacité d'adsorption de BM. Les travaux effectués par Gueye et al. [16] ont également confirmé cela.

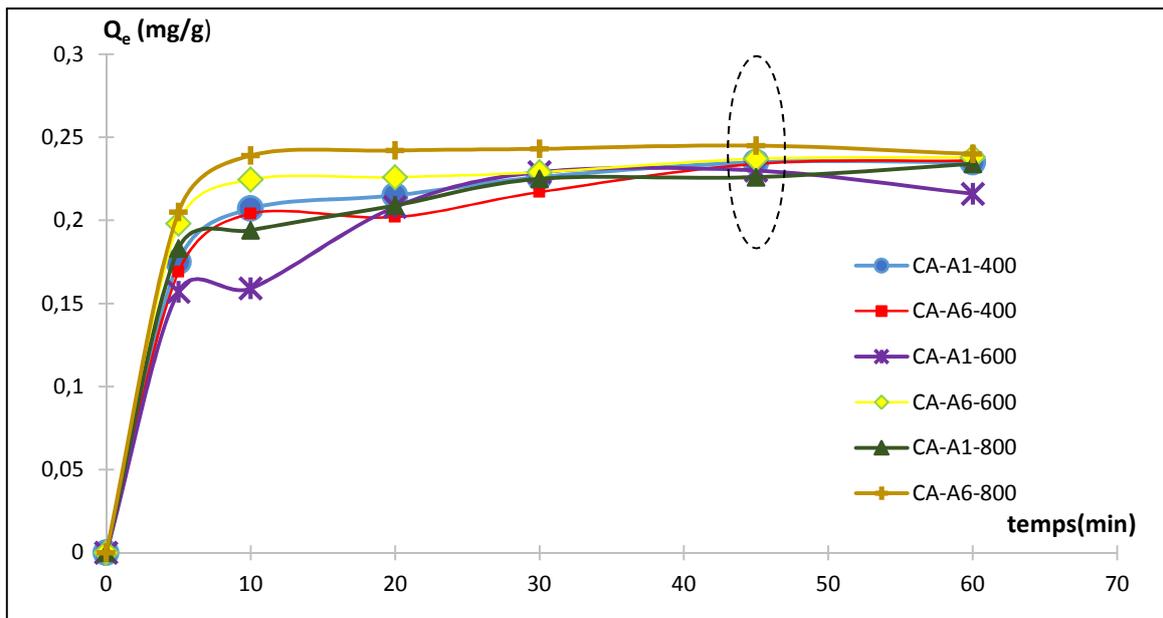


Figure 2 : Capacité d'adsorption ( $Q_e$ ) des CA- *auriculiformis* vis-à-vis de BM en fonction du temps ;  $C_0 = 2\text{mg/L}$  ; masse de charbon activé = 0,8 g ;  $V = 100\text{ mL}$  ;  $T = 26 \pm 2$  ;  $\text{pH} = 5,3$ .

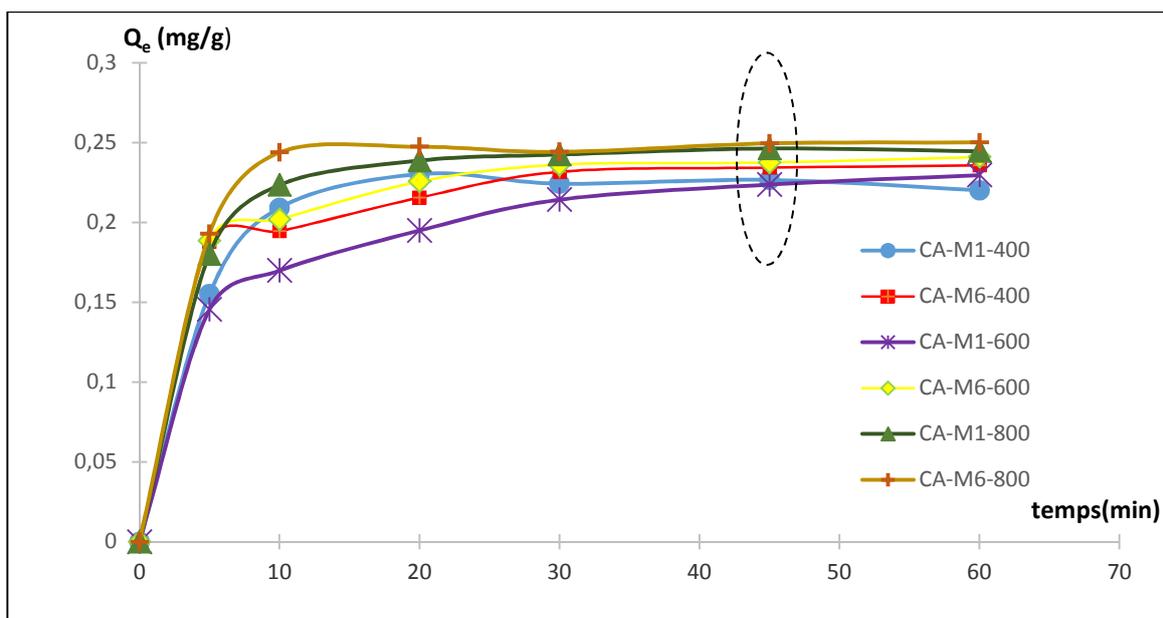


Figure 3 : Capacité d'adsorption ( $Q_e$ ) des CA-*mangium* vis-à-vis de BM en fonction du temps ;  $C_0 = 2\text{mg/L}$  ; masse de charbon activé = 0,8 g ;  $V = 100\text{ mL}$  ;  $T = 26 \pm 2$  ;  $\text{pH} = 5,3$ .

### 3.3 ESTIMATION DE LA SURFACE SPECIFIQUE RELATIVE AU BLEU DE METHYLENE

La détermination de la capacité maximale  $Q_m$  (mg/g) permet en outre l'estimation de l'aire de la surface spécifique  $S_{BM}$  selon Langmuir, de chaque échantillon couverte par la molécule de BM à partir de l'équation :  $S_{BM} = Q_m \times 175 \cdot 10^{-20} \times 6,02 \cdot 10^{23}$ . Les surfaces spécifiques de tous les CA calculées selon la méthode Langmuir (Tableau 3), montre que le **CA-A6-800** et **CA-M6-800** ont une surface spécifique plus élevée que les échantillons de la même espèce d'*Acacia*. En d'autres termes, ces deux échantillons de CA adsorbent mieux le BM que les autres CA de la même espèce d'*Acacia*. Ces valeurs élevées des surfaces spécifiques de **CA-A6-800** et de **CA-M6-800** pourraient être dues à la température et la durée d'activation. Des auteurs [17] ont montré que les températures et les durées d'activation élevées occasionnent la consommation de carbone entraînant une augmentation des pores ; ce qui pourrait augmenter la surface spécifique des charbons actifs. Ces résultats

sont conformes à ceux publiés antérieurement [18]. D'une espèce d'*Acacia* à une autre, à la même température d'activation, et pour les mêmes durées d'activation, les surfaces spécifiques relatives au BM varient. Cela pourrait être dû, soit à l'imprégnation, soit à la nature du matériau utilisé pour la synthèse des charbons activés. En comparant tous les CA des deux espèces d'*Acacia* en termes de surfaces spécifiques et de capacité d'adsorption, le charbon actif *auriculiformis* activé à 800°C pendant 6 heures semble être le meilleur adsorbant.

**Tableau 3: Surfaces spécifiques des CA- *auriculiformis* et des CA-*mangium* couverte par du bleu de méthylène.**

| Echantillon | $S_L$ (m <sup>2</sup> /g) | Echantillon | $S_L$ (m <sup>2</sup> /g) |
|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|
| CA-A1-400   | 528,42                    | CA-M1-400   | 758,52                    |
| CA-A6-400   | 769,71                    | CA-M6-400   | 776,29                    |
| CA-A1-600   | 771,03                    | CA-M1-600   | 756,21                    |
| CA-A6-600   | 872,43                    | CA-M6-600   | 793,74                    |
| CA-A1-800   | 733,17                    | CA-M1-800   | 811,19                    |
| CA-A6-800   | 903,37                    | CA-M6-800   | 823,70                    |

### 3.4 EFFET DE PH

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption, du fait qu'il peut influencer à la fois la structure d'adsorbant et d'adsorbé, ainsi que le mécanisme d'adsorption. L'étude de l'adsorption du BM sur le charbon activé est effectuée pendant 45 min, à des valeurs de pH comprises entre 2 et 11, et sur des solutions contaminées à 2 mg/L du BM. L'examen de l'influence de ce paramètre sur l'adsorption du BM selon la **figure 4** indique que le pH joue un rôle important dans la cinétique d'adsorption. En effet, nous constatons que la concentration du BM diminue considérablement en milieu basique qu'en milieu acide. Ceci est dû aux interactions chimiques à la surface du charbon actif. Ces résultats pourraient se justifier par des charges superficielles négatives des charbons actifs qui deviennent de plus en plus grandes avec l'augmentation du pH. Pour le colorant cationique BM, la force d'attraction augmente ainsi l'adsorption. Plusieurs auteurs [2,19] ont constaté des effets similaires du pH sur l'adsorption de colorants cationiques. Le charbon activé *auriculiformis* capte mieux en milieu basique que le charbon activé *mangium*. Cette observation pourrait se justifier par ces deux types de charbon qui présenteraient des propriétés chimiques différentes, ce qui découlerait de la phase d'imprégnation de la matière première.

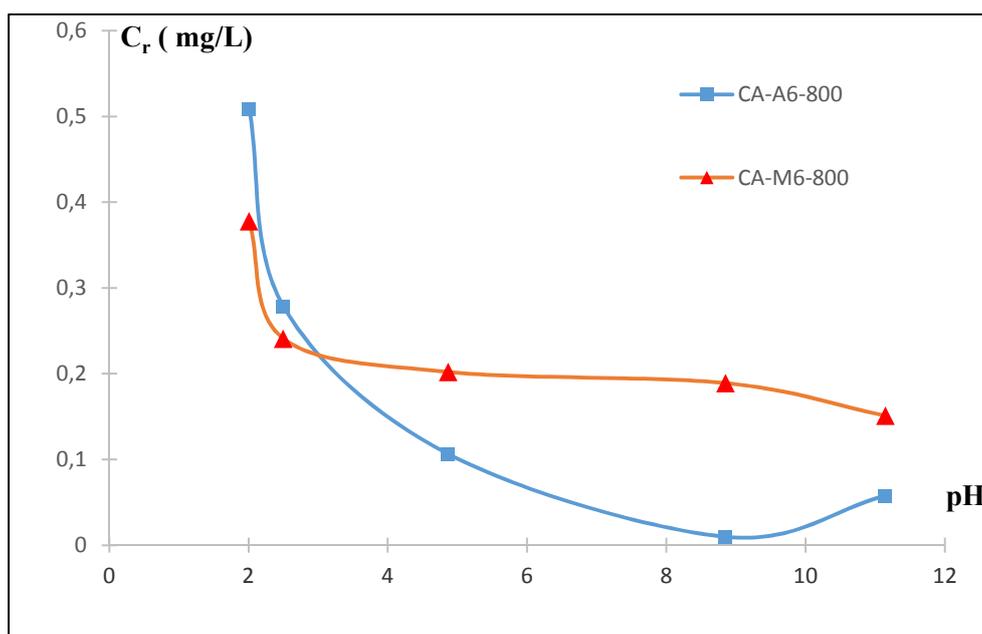


Figure 4 : Effet du pH de la solution aqueuse sur l'adsorption du bleu de méthylène sur CA *auriculiformis* (CA-A6-800) et *Acacia mangium* (CA-M6-800).  
 $C_0 = 2\text{mg/L}$  ; masse de charbon activé = 0,8 g ; V = 100 mL ; T =  $26 \pm 2$ .

### 3.5 ETUDE DES ISOTHERMES D'ADSORPTION DU BM SUR LES CHARBONS ACTIVES

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle important dans la détermination des capacités maximales d'adsorption et dans la conception de nouveaux adsorbants. Elles fournissent des indications sur la nature des interactions adsorbat-adsorbant, adsorbat-adsorbat ainsi que les caractéristiques de l'adsorbat. Les figures 5 et 6 représentent respectivement les isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les différents charbons activés d'*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*. Les isothermes d'adsorption de BM sur les charbons actifs *auriculiformis* illustrées par la figure 5 montrent que toutes les courbes s'apparentent bien à l'isotherme de type L, d'après la classification proposée par Giles et Smith [20] ; type caractéristique de l'adsorbant microporeux (diamètre des pores inférieur à 2 nm). Ce type L est rencontré lorsqu'on assiste à une diminution des sites d'adsorption disponibles, quand la concentration de la solution augmente. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles, comme l'ont signifié J. Avom et al. [1]. L'adsorption de BM semble être du type monomoléculaire ; les charbons étant saturés lors du remplissage de la monocouche. D'après la classification de Giles et Smith, les isothermes d'adsorption de BM sur les charbons actifs *mangium* illustrées par la figure 6 sont du type S. Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut [20]. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres. Ce comportement est favorisé, d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement, comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel, et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant. L'isotherme de type S traduit une affinité variable de l'adsorbant par rapport à la substance adsorbée et indique une adsorption multicouche comme l'a signalé Kifuni et al. [21] lors d'une étude de l'adsorption de la quinine bichlorhydrate sur un charbon actif à base de la bagasse de canne à sucre.

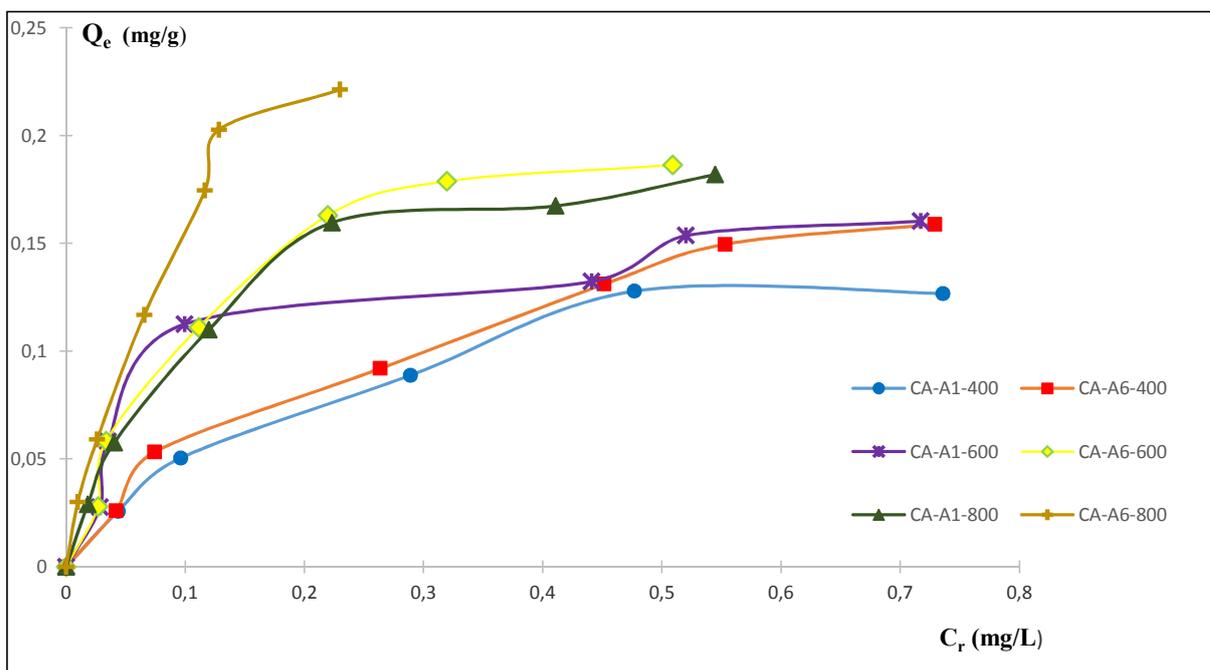


Figure 5: Comparaison d'isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les CA-*auriculiformis* ;  
 masse de charbon activé = 0,8 g ; V = 100 mL ; T =  $26 \pm 2$  ; pH = 5,3

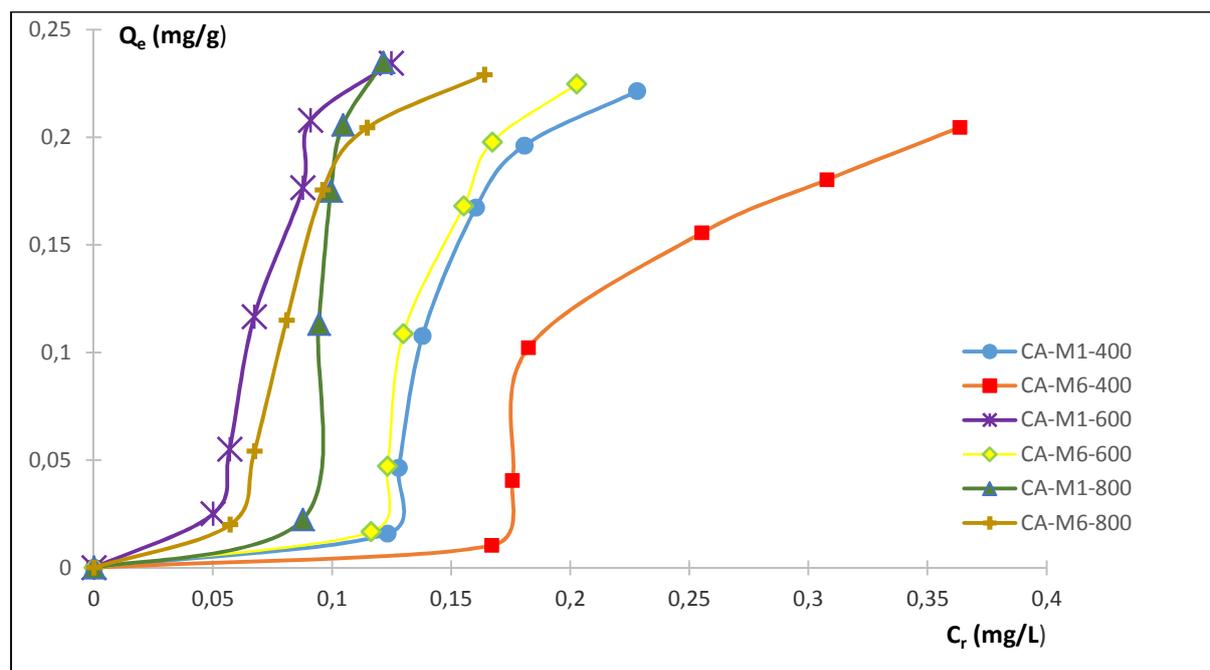


Figure 6: Comparaison d'isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les CA-mangium ; masse de charbon activé = 0,8 g ; V = 100 mL ; T = 26 ± 2 ; pH = 5,3.

### 3.6 MODELISATION DE L'ADSORPTION EN MILIEU AQUEUX SELON LANGMUIR ET FREUNDLICH

Les valeurs calculées des paramètres  $Q_m$  et  $K_L$  du modèle de Langmuir, des paramètres de Freundlich  $K_F$  et  $n$ , ainsi que les coefficients de corrélation du modèle de Langmuir, correspondant aux CA- *auriculiformis* sont présentés dans le **Tableau 4**. Dans ce tableau, les coefficients de corrélation se rapprochent de l'unité ( $\approx 1$ ). L'adsorption de BM sur les charbons actifs *auriculiformis* peut être décrite de façon satisfaisante par le modèle de Langmuir. L'application du modèle de Langmuir nous permet de calculer la capacité d'adsorption maximale  $Q_m$  nécessaire pour recouvrir la surface du solide d'une couche monomoléculaire et la constante thermodynamique  $K_L$  de Langmuir. Les valeurs de  $Q_m$  et  $K_L$ , élevées pour le **CA-A6-800**, garantissent une bonne affinité et une bonne adsorption pour ce charbon. Les isothermes d'adsorption de BM sur les différents CA-*auriculiformis* étudiés, peuvent être simulés par le modèle de Freundlich car tous les coefficients de corrélation sont supérieurs à 0,9. Les constantes de Freundlich,  $K_F$  et  $n$  associées à la capacité d'adsorption et à l'affinité ont été déterminées ; un coefficient  $K_F$  élevé, indique une bonne adsorption et une valeur de  $n$  comprise entre 1 et 10 est caractéristique d'une bonne affinité entre l'adsorbé et l'adsorbant utilisé. L'adsorption du bleu de BM est favorable pour tous les CA-*auriculiformis* car  $n > 1$  et  $K_F$  élevée. L'adsorption de BM sur les CA-*auriculiformis* obéit de façon satisfaisante non seulement au modèle de Freundlich, mais au modèle de Langmuir.

Tableau 4 : Constantes de Langmuir et Freundlich d'isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les CA- *auriculiformis*

| CA \ Modèle | Langmuir     |              |        | Freundlich |        |        |
|-------------|--------------|--------------|--------|------------|--------|--------|
|             | $Q_m$ (mg/g) | $K_L$ (L/mg) | $R^2$  | $n$        | $K_F$  | $R^2$  |
| CA-A1-400   | 0,1757       | 3,98         | 0,9972 | 1,88       | 0,1580 | 0,9521 |
| CA-A6-400   | 0,2338       | 3,13         | 0,9743 | 1,66       | 0,2076 | 0,9692 |
| CA-A1-600   | 0,2342       | 5,94         | 0,8386 | 1,72       | 0,341  | 0,9266 |
| CA-A6-600   | 0,265        | 3,8          | 0,8740 | 1,68       | 0,346  | 0,9018 |
| CA-A1-800   | 0,2227       | 8,25         | 0,9974 | 1,97       | 0,269  | 0,9275 |
| CA-A6-800   | 0,2744       | 12,25        | 0,9922 | 1,47       | 0,711  | 0,9827 |

Les valeurs calculées des paramètres du modèle de Langmuir, des paramètres de Freundlich, ainsi que les coefficients de corrélation correspondant à l'adsorption de BM sur les CA- *mangium* sont présentés dans le **Tableau 5**. Les coefficients de corrélation sont très inférieurs à 1. Par conséquent le modèle de Langmuir ne décrit pas de façon satisfaisante l'adsorption

de BM sur les CA-*mangium*. La détermination des quantités maximales d'adsorption de BM sur les CA-*mangium* s'est faite graphiquement à partir des courbes de capacité d'adsorption de BM sur les CA-*mangium* en fonction du temps. Les isothermes d'adsorption de BM sur les différents CA-*mangium* étudiés ne peuvent pas toutes être simulées par le modèle de Freundlich car les coefficients de corrélation ne sont pas tous proches de l'unité. En outre, les coefficients  $n$  et  $K_F$  étant très faibles ( $< 1$ ), ces CA-*mangium* ne sont pas efficaces vis-à-vis de l'adsorption de BM. L'adsorption de BM sur les CA-*mangium* n'obéit donc pas de façon satisfaisante, ni au modèle de Langmuir, ni au modèle de Freundlich.

**Tableau 5 : Constantes de Langmuir et Freundlich d'isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les CA-*mangium***

| Modèle<br>CA | Langmuir     |              |        | Freundlich |        |        |
|--------------|--------------|--------------|--------|------------|--------|--------|
|              | $Q_m$ (mg/g) | $K_L$ (L/mg) | $R^2$  | $n$        | $K_F$  | $R^2$  |
| CA-M1-400    | 0,2304       | 4,9          | 0,4487 | 0,27       | 0,0138 | 0,6732 |
| CA-M6-400    | 0,2358       | 3,05         | 0,4218 | 0,35       | 0,197  | 0,6452 |
| CA-M1-600    | 0,2297       | 8,79         | 0,7637 | 0,41       | 0,019  | 0,8478 |
| CA-M6-600    | 0,2411       | 5,48         | 0,5419 | 0,24       | 0,004  | 0,7267 |
| CA-M1-800    | 0,2464       | 8,69         | 0,898  | 0,21       | 0,0001 | 0,907  |
| CA-M1-800    | 0,2502       | 7,08         | 0,7608 | 0,48       | 0,064  | 0,8062 |

#### 4 CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif la préparation de charbons actifs à partir de charbons de deux espèces d'acacia (*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*) afin d'étudier leur capacité d'adsorption. Pour mener à bien la première partie de cette recherche sur la synthèse de charbon actif, le facteur température, et aussi le facteur temps pour effectuer une l'activation, ont été considérés. Les différents charbons préparés par activation chimique, ont subi des essais d'adsorption de BM dans la deuxième partie de ce travail. Ces essais réalisés en prenant en compte les paramètres tels que le temps, la masse du charbon activé et le pH de la solution polluante ont montré que :

- Ces charbons actifs préparés sont de bons adsorbants de colorants tel que le BM (2 mg/L) pour un temps d'équilibre de 45 min, pour une concentration de 8g/L de charbon actif et surtout lorsque le pH de la solution est basique. Le BM s'adsorbe mieux sur le charbon *auriculiformis* activé à 800°C et pendant 6 heures (CA-A6-800).
- L'utilisation de l'acide phosphorique, comme agent chimique, favorise l'adsorption de molécules de tailles moyennes.
- Les isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les CA-*auriculiformis* sont des types L et sont compatibles avec le modèle de Langmuir et celui de Freundlich.
- Les isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les CA-*mangium* sont des types S, mais ne décrivent pas de façon satisfaisante le modèle de Langmuir, ni celui de Freundlich.

#### REFERENCES

- [1] Avom J., Ketcha M.J., Matip M.R.L, Germain P., " Adsorption isotherme de l'acide acétique par des charbons d'origine végétale", *African Journal of Science and Technology (AJST), Science and Engineering* vol. 2, no. 2, pp. 1-7, 2001.
- [2] Houas A., Bakir I., Ksibi M., Elaloui E., "Etude de l'élimination du bleu de méthylène dans l'eau par le charbon actif commercial CECA40", *J. Chim. Phys*, vol. 96, pp. 479-486, 1999.
- [3] Fouazi B.T., Ridha B.C., Jean F. B., "Décoloration des eaux usées de levurerie par adsorption sur charbon", *Journal of Environmental Engineering and Science*, vol.3, no.4, pp. 269-277, 2004.
- [4] Basta A., Fierro V., Saied H., " Effect of deashing rice straws on their derived activated carbons produced by phosphoric acid activation", *Biomass and bioenergy*, vol.35, no.5, pp 1954-1959, 2011.
- [5] Tchakala I., Bawa L.M., Djaneye-Boundjou G., " Optimisation du procédé de préparation des charbons Actifs par voie chimique ( $H_3PO_4$ ) à partir des tourteaux de karité et tourteaux de coton", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol.6, no.1, pp. 461-478, 2012.
- [6] Danish M., Hashim R., Ibrahim M.N .,"Characterization of Acacia mangium wood based activated carbons prepared in the presence of basic activating agents", *BioResources*, vol.6, no.3, pp. 3019-3033, 2011.

- [7] Danish M., Hashim R., Ibrahim M.N., Sulaiman O., "Effect of acidic activating agents on surface functional groups of activated carbons produced from Acacia mangium wood", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 104, pp. 418-425, 2013.
- [8] Coulibaly B., Ahoba A., "Valorisation technologique et énergétique des essences à croissance rapide en Côte d'Ivoire : cas des légumineuses arborescentes". Séminaire de définition et de validation d'une stratégie nationale de relance de l'agroforesterie en Côte d'Ivoire, Abidjan, 3-5 Avril 2012.
- [9] Lozano-Castello D., Lillo-Rodenas M.A., Linares-Solano A., Preparation of activated carbons from Spanish anthracite I, activation by KOH, *Carbon*, vol. 39, no.5, pp.741-749, 2001
- [10] Awwa (American water Works Association), AWWA standard of powder activated carbon, ANSI/ AWWA B600-90, Denver, Colo., 1991.
- [11] Aerdizzone S., Gabrielli G., Lazzari P., " Adsorption of methylene blue at solid/liquid and water/air interfaces", *Colloids Surface*, vol.76, pp.149-157, 1993.
- [12] Pelekani C., Snoeyink V.L., "Competitive adsorption between atrazine and methylene blue on activated carbon: of pore the importance size distribution", *Carbon*, vol. 38, no. 10, pp. 1423- 1436, 2000.
- [13] N. Bouchemal, Z. Merzougui, F. Addoun, "Adsorption en milieux aqueux de deux colorants sur charbons actifs à base de noyaux de datte", *Journal of the Algerian Chemical Society (JSAC)*, vol. 21, no. 1, pp. 1-14, 2011.
- [14] Bouchemal F., Achour S., (2007), " Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre", *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, no. 6, pp 81-89, 2007.
- [15] Abdel-Nasser A., El. Hendawy, Girgis.G.S, "adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs", *colloids and surface A: Physicochemical and engineering aspects*, vol. 180, no.3, pp. 209-221, 2001.
- [16] Gueye M., Blin J., Brunshwig C. (2011), Etude de la synthèse des charbons actifs à partir de biomasses locales par activation chimique avec H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 6<sup>ème</sup> Edition des journées scientifiques du ZIE, campus ZIE Ouagadougou.
- [17] Ting Yang., Aik Chong Lua., "Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by physical activation", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 267, pp. 408-417, 2003.
- [18] Bacaoui A., Dahbi A., Yaacoubi A., Bennouna C., "Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes". *Carbon*, vol. 39, no. 3, pp. 425 - 432, 2001.
- [19] Barka N., Nounah A., Assabbane A., "Evaluation du pouvoir adsorbant du phosphate naturel dans le traitement des rejets textiles : Comparaison avec le charbon actif", *CVAPHOS II*, Vol. 4, pp. 195- 203, 2006.
- [20] Giles C.H., Smith D., ALAN H., " A general treatment and classification of the adsorption isotherm", *Journal of colloid and interface Science*, vol. 47, no. 3 , pp. 755-765, 1974.
- [21] Kifuani K.M.A., Noki V.P., Ndelo D. P.J., "Adsorption de la quinine bichlorhydrate sur un charbon actif peu coûteux à base de bagasse de canne à sucre imprégnée de l'acide phosphorique", *In. J.BIOL.Chem.Sci.*, vol. 6, no. 3, pp.1337-1359, 2012