

Étude de l'adsorption du colorant orange de méthyle sur charbons actifs en milieu aqueux : influence de la concentration de l'agent chimique d'activation

Kouassi Narcisse ABOUA^{1*}, Donafologo Baba SORO¹, Moussa DIARRA²,
David Léonce KOUADIO², Kouadio DIBI¹, Kossonou Roland N'GUETTIA¹, Ladjji MEITE¹,
Kouassi Benjamin YAO³ et Karim Sory TRAORE¹

¹ Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Laboratoire des Sciences de l'Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

² Université Jean Lorougnon GUEDE, UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

³ Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire de Procédés Industriels, de synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : aboua_n@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de la concentration de l'agent activant sur l'élimination de l'orange de méthyle par des charbons actifs issus de la coque de graines de palmiste. La préparation des charbons actifs est faite par le procédé d'activation chimique à l'acide orthophosphorique (H_3PO_4) 10 % et 30 %. Le temps et la température d'activation sont respectivement de 3 heures et 400 °C. Les différents tests d'adsorption sont effectués en système batch en faisant varier le temps, la dose de charbon, le pH et la concentration de la solution de colorant. Les charbons actifs obtenus à l'issue du processus de fabrication sont notés CA10 % et CA30 %. Les résultats de la cinétique d'adsorption indiquent que le temps d'équilibre est de 50 min et 70 min respectivement pour CA30 % et CA10 %. L'adsorption serait donc plus rapide pour le charbon obtenu à partir l'agent chimique le plus concentré (H_3PO_4 30 %). En outre, la modélisation de la cinétique obéit au modèle de pseudo second ordre pour les deux types de charbon. Par ailleurs, le taux d'adsorption croît avec la masse des charbons actifs et le pH optimal d'élimination est de $pH = 2$. En définitive, les deux types de charbon présentent de bonnes capacités d'adsorption de l'orange de méthyle avec plus de 80 % d'élimination et un temps d'équilibre plus court pour CA30 %. Ces performances indiquent qu'il est possible de valoriser les déchets agricoles en matériaux poreux pour l'élimination de colorants des milieux aqueux.

Mots-clés : *charbon actif, adsorption, cinétique, colorant anionique.*

Abstract

Adsorption of methyl orange on activated carbons in aqueous solutions : influence of activating chemical agent concentration

The aim of this study is to determine influence of concentration of the activating agent on removal of methyl orange from activated carbons obtained from the hull of palmist. Production of activated carbons is made by chemical activation with orthophosphoric acid (H_3PO_4) 10 % and 30 %. Time and activation temperature are

respectively 3 hours and 400 °C. Adsorption tests are carried out in a batch system by varying reaction time, carbon dose, pH and concentration of the dye solution. Activated carbons obtained are denoted CA10 % and CA30 %. Results of adsorption kinetics indicate that equilibrium time is 50 min and 70 min respectively for CA30 % and CA10 %. Adsorption is therefore faster for the carbon obtained from the most concentrated chemical agent (H₃PO₄ 30 %). In addition, kinetic modeling follows the pseudo-second order model for both types of activated carbons. Moreover, adsorption rate increases with the mass of activated carbons and optimal pH of elimination is pH = 2. Finally, both types of carbon have good adsorption capacity of methyl orange with more than 80 %. These performances indicate that it is possible to valorize agricultural waste for removing dyes from wastewater.

Keywords : *activated carbon, adsorption, kinetics, anionic dye.*

1. Introduction

L'utilisation de plus en plus croissante des colorants synthétiques dans divers domaines (industries textiles, imprimeries, cosmétiques, etc.) constitue des facteurs de risques pour la santé et des nuisances pour l'environnement. En effet, l'hétérogénéité de la composition de ces substances chimiques fait qu'une fois dans les eaux usées, ils sont difficilement biodégradables et le manque ou l'insuffisance de systèmes de traitement mène ainsi à leurs accumulations dans le cycle de l'eau [1]. Par ailleurs, la protection de l'environnement, préoccupation majeure de notre société, encourage donc le développement de procédés pour l'amélioration des méthodes de dépollution respectueuses de l'environnement. Ainsi, la nécessité de comprendre les mécanismes intervenant dans ces processus a conduit à de nombreux travaux de recherches tant au niveau fondamental qu'appliqué [2]. Des procédés complémentaires de traitement (adsorption, oxydation avancée, filtration membranaire, etc.) sont donc actuellement développés pour le traitement des eaux usées du fait de l'inefficacité des traitements classiques pour certains micropolluants comme les colorants. Parmi ceux-ci, l'adsorption sur charbon actif est particulièrement intéressante du fait de sa simplicité de mise en œuvre, sa flexibilité, son coût et son efficacité [3 - 5]. Les charbons actifs peuvent être produits à partir d'une variété de substances naturelles et synthétiques mais les matériaux lignocellulosiques sont l'un des précurseurs les plus utilisés [6].

Les travaux sur l'élimination de ces polluants émergents par des charbons actifs issus des déchets agricoles ont donné des taux d'abattement intéressants [7, 8]. Ainsi, ces précurseurs provenant de l'agriculture constituent des matériaux alternatifs, à la fois économiques et moins polluants, pour la production de charbons [9, 10] pour les pays agricoles. En effet, d'énormes quantités de déchets sont généralement disponibles au niveau des exploitations agricoles et des installations agro-industrielles de nombreux pays comme la Côte d'Ivoire, où les résidus de l'agriculture représentent notamment une part importante non mise en valeur. De plus, la production de charbons actifs de bonne qualité dépend outre du précurseur, de divers facteurs (durée de calcination, température de calcination, nature et concentration de l'agent activant, etc.) dont la compréhension et la maîtrise s'avèrent nécessaires [11]. Dans ce travail, les charbons actifs ont été produits à partir des coques de graines de palmiste en utilisant le procédé d'activation chimique pour l'élimination de l'orange de méthyle. L'agent chimique utilisé à cet effet est l'acide phosphorique. L'orange de méthyle, polluant à éliminer, utilisé comme indicateur coloré, est un colorant anionique qui sert surtout pour l'impression de la coloration des textiles. L'objectif donc est de déterminer l'influence de la concentration de l'agent d'activation chimique utilisé lors de la préparation de ces charbons sur la capacité d'adsorption de l'orange de méthyle.

2. Méthodologie

2-1. Produits utilisés

L'acide phosphorique (H_3PO_4) de pureté 55 %, est le produit utilisé pour faire l'imprégnation au cours de l'activation chimique. L'acide acétique (CH_3COOH) de pureté 98 %, l'iode de pureté 100 %, l'acide chlorhydrique (HCl) 0,1N de pureté 98 % ; le thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$) de pureté 100 %, l'acide sulfurique (H_2SO_4) de pureté 95-98 % ont été utilisés pour les tests de caractérisation du charbon. Il s'agit des produits commerciaux (Suvchem, prolabo, expertise chimique, Panreac Quimica S. A. U.)

2-2. Préparation des charbons actifs

Le protocole utilisé pour la préparation comporte les étapes suivantes :

- La coque de grain de palmiste, utilisée comme précurseur, est lavée à l'eau de robinet puis séchée à l'étuve à $110^{\circ}C$ pendant 3 jours ;
- Après séchage, le matériau est broyé puis tamisé pour homogénéiser la taille des particules ;
- Le précurseur broyé est ensuite imprégné par l'agent chimique (H_3PO_4) pendant 24 heures ;
- Après les 24 heures, les échantillons imprégnés sont séchés à l'étuve à $110^{\circ}C$ jusqu'à évaporation complète du liquide d'imprégnation ;
- Les échantillons séchés sont mis dans des creusets et portés dans un four pour être carbonisés à la température de $400^{\circ}C$ pendant 3 heures ;
- Après refroidissement, les échantillons sont lavés à l'eau distillée sous agitation jusqu'à ce que le pH de l'eau de rinçage soit compris entre 6,5 et 7. Ils sont enfin séchés à l'étuve à $110^{\circ}C$ pendant 24 heures et conditionnés dans des bocaux en verre prêts à l'emploi.

2-3. Étude de la cinétique d'adsorption de l'orange de méthyle

2-3-1. Effet du temps de contact

Pour mettre en évidence l'influence du temps de contact sur l'adsorption, on met en contact dans un erlenmeyer une masse de 10 g/L de charbon actif avec 25 mL de l'orange méthyle de concentration 5 mg/L. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique à la température de $25^{\circ}C$ à la vitesse de 150 rpm pour des temps allant de 10 min à 120 min. Des prélèvements sont effectués à intervalle de 10 min. Ces échantillons, après centrifugation sont analysés pour déterminer la concentration résiduelle de l'orange de méthyle à l'aide de spectrophotomètre UV-Visible (spectrophotomètre AL800 Aqualitic). L'absorbance a été mesurée à la longueur d'onde $\lambda = 465nm$. La quantité de colorant adsorbée à l'équilibre (Q_e) et le taux d'adsorption (TA) ont été calculés selon les *Équations (1) et (2)* :

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

$$TA = \frac{(C_o - C_r) \times 100}{C_o} \quad (2)$$

Q_e étant la quantité de colorant adsorbée à l'équilibre (mg/g), TA le taux d'adsorption (%), m la masse de l'échantillon (g), C_o et C_r les concentrations initiales et à l'équilibre de colorant (mg/L).

2-3-2. Modélisation de la cinétique d'adsorption de l'orange de méthyle.

La modélisation de la cinétique d'adsorption de l'orange de méthyle sur les charbons actifs a été faite à l'aide des équations cinétiques du pseudo-premier-ordre et du pseudo-second-ordre [12 - 15]. La conformité entre les données expérimentales et les valeurs prédites par le modèle est estimée à partir du coefficient de corrélation R^2 . L'étude de la cinétique de pseudo-premier-ordre est faite en exploitant **l'Équation (3)** suivante.

$$\log(Q_e - Q_t) = \log(Q_e - \frac{k_1}{2,303}t) \quad (3)$$

Q_e et Q_t étant les quantités de colorant adsorbées à l'équilibre et à l'instant t (mg/g), k_1 la constante d'adsorption de pseudo-premier ordre (en min^{-1}).

Le modèle cinétique de pseudo-second ordre permet de caractériser les cinétiques d'adsorption en prenant en compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible. Cette cinétique est décrite en exploitant **l'Équation (4)** suivante.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{h} + \frac{t}{Q_e} \quad (4)$$

Q_e et Q_t étant les quantités de colorant adsorbées à l'équilibre et à l'instant t (mg/g), h le taux d'adsorption initial qui est défini par $2k_2(Q_e)^2$ (en $\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$) avec k_2 la constante du taux d'adsorption (en $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

2-4. Détermination des conditions optimales d'adsorption de l'orange de méthyle

Il s'agit de déterminer l'influence de la dose de charbon actif, du pH, de la concentration initiale de colorant sur l'adsorption de la molécule sur les charbons actifs.

2-4-1. Influence de la dose du charbon actif

Pour ce test, on prélève différentes masses d'adsorbant allant de 2 g/L à 25 g/L. Chaque masse d'adsorbant est mise en contact avec 25 mL de la solution de l'orange de méthyle de concentration 5 mg/L dans un erlenmeyer. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique à la vitesse de 150 rpm pendant les temps d'équilibre prédéterminés. La concentration résiduelle de l'orange de méthyle est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (spectrophotomètre AL800 Aqualitic).

2-4-2. Influence du pH

Dans un erlenmeyer, on met en contact la dose optimale d'adsorbant avec 25 mL de la solution de l'orange méthyle d'une concentration de 5 mg/L. La température de la solution est de 25°C et on fait varier le pH de 2 à 11. La solution est agitée pendant le temps nécessaire à l'équilibre à l'aide d'un agitateur magnétique à la vitesse de 150 rpm. L'acidification et l'alcalinisation des solutions sont effectuées en ajoutant des solutions d'acide fort (acide sulfurique (H_2SO_4)) ou de base forte (soude (NaOH)) 0,1N. La concentration résiduelle de l'orange de méthyle est déterminée au spectrophotomètre UV-Visible.

2-4-3 Influence de la concentration initiale de l'orange de méthyle

Les expériences ont été réalisées en mettant en contact, dans un erlenmeyer, la dose optimale d'adsorbant obtenue précédemment avec différentes concentrations du colorant allant de 15 mg/L à 60 mg/L. On maintient

le pH à sa valeur optimale obtenue précédemment et la température à 25°C. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique à la vitesse de 150 rpm pendant le temps optimal obtenu. La concentration résiduelle de l'orange de méthyle est déterminée au spectrophotomètre UV-Visible.

3. Résultats et discussion

3-1. Pouvoir adsorbant des charbons préparés

Deux types de charbons CA10 % et CA30 % ont été obtenus respectivement avec l'imprégnation avec H₃PO₄ 10 % et avec H₃PO₄ 30 %. Le nombre d'iode et la surface spécifique des deux types de charbons ont été déterminés afin d'apprécier leur pouvoir adsorbant. Les différents résultats sont consignés dans le **Tableau 1**. On note que la capacité d'adsorption des charbons croit avec la concentration de l'agent chimique d'activation. En effet, le passage de H₃PO₄ 10 % à H₃PO₄ 30 % entraîne une augmentation de plus de 25 % le nombre d'iode et de près de 17 % la surface spécifique. La concentration de l'agent chimique joue donc un rôle important dans la production de charbons de bonne capacité d'adsorption.

Tableau 1 : Pouvoir adsorbant des charbons préparés

Paramètres	CA10 %	CA30 %
Nombre d'iode (mg/g)	609,6	762
Surface spécifique (m ² /g)	58,20	67,84

3-2. Cinétique d'adsorption de l'orange de méthyle

3-2-1. Influence du temps de contact

La **Figure 1** présente l'évolution du taux d'adsorption de l'orange de méthyle sur les charbons en fonction du temps. On remarque aussi bien pour la CA10 % que pour le CA30 %, une évolution rapide de l'adsorption allant respectivement de 0 à 30 min et de 0 à 10 min. Elle est suivie d'une phase d'adsorption lente avant d'atteindre la phase d'équilibre.

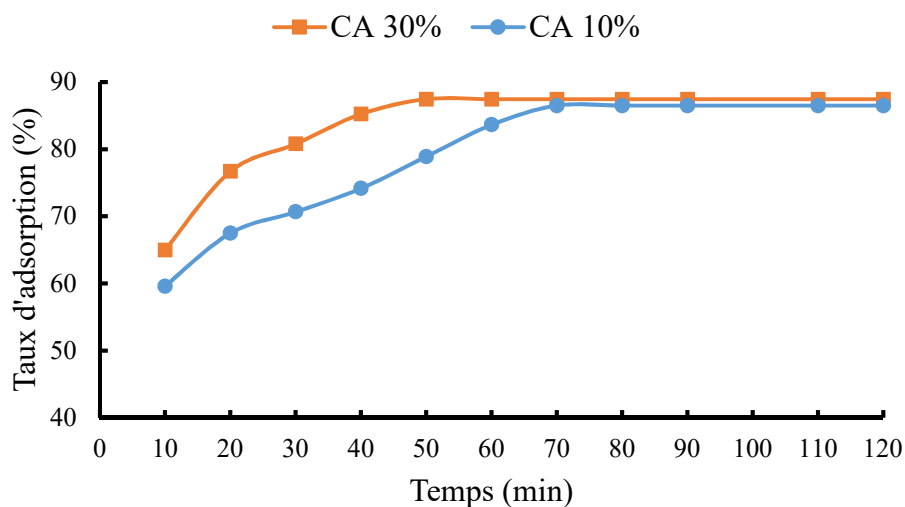


Figure 1 : Influence du temps de contact sur l'adsorption de l'orange de méthyle

On note, par ailleurs, que l'adsorption avec le CA30 % est plus rapide qu'avec le CA10 %. En effet, au bout de 10 min de réaction, le taux d'adsorption est de 65 % pour CA30 % et de 34 % pour CA10 %. Selon [16], l'adsorption rapide du colorant observée en début de contact pourrait s'expliquer par la présence d'un nombre important de sites disponibles sur l'adsorbant. Mais cela pourrait aussi être lié aux caractéristiques physico-chimiques du matériau et surtout à la nature de la porosité du matériau [17]. Au niveau de la phase lente qui suit et qui conduit à l'équilibre, elle traduirait l'occupation graduelle des sites d'adsorption sur les charbons les rendant ainsi de moins en moins disponibles. Il s'en suit par conséquent, une diffusion vers les sites moins accessibles ralentissant la vitesse d'adsorption avant d'atteindre l'état d'équilibre [18]. Ainsi, l'équilibre est atteint au bout de 50 min et 70 min respectivement pour le CA30 % et le CA10 % avec un taux d'adsorption de plus de 87 %. Cette différence au niveau du temps d'équilibre pourrait s'expliquer par la nature des pores à la surface des charbons actifs engendrés lors de la préparation. En effet, selon [19], la taille des pores dans le charbon actif final est déterminée par le degré d'imprégnation ; plus celui-ci est élevé, plus le diamètre des pores est grand. On pourrait donc en déduire que la concentration de l'agent activant a une influence sur le développement de la porosité à la surface du charbon.

3-2-2. Modélisation de la cinétique d'adsorption

Les représentations graphiques des équations de pseudo-premier ordre et de pseudo-second ordre sont respectivement données par les **Figures 2a et 2b** pour le CA10 % et les **Figures 3a et 3b** pour le CA30 %.

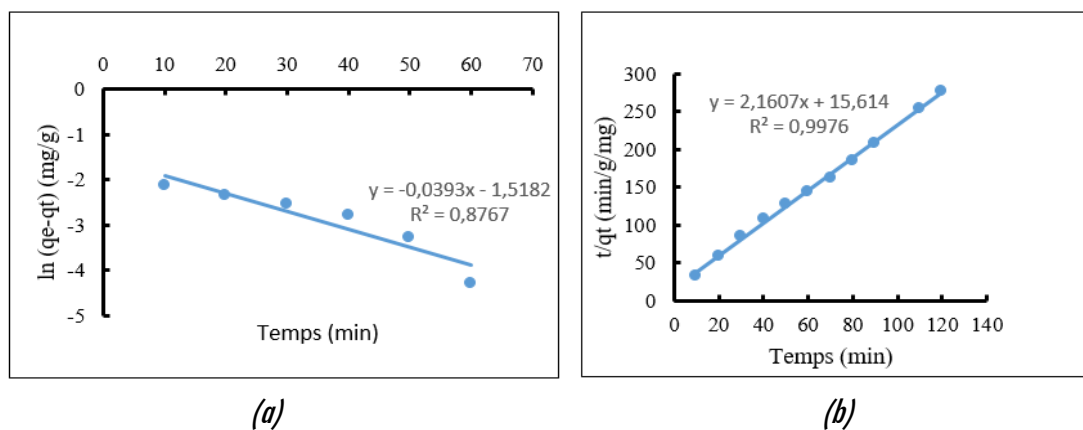


Figure 2 : Modélisation de cinétique d'adsorption de l'orange de méthyle sur CA10 %

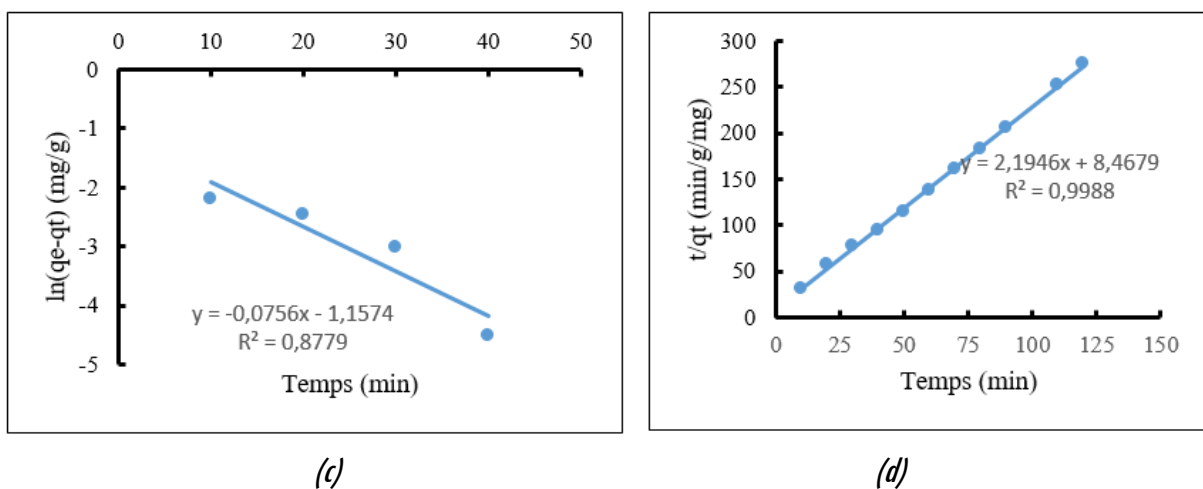


Figure 3 : Modélisation de cinétique d'adsorption de l'orange de méthyle sur CA30 %

Les différents paramètres des représentations graphiques des équations de pseudo-premier ordre et pseudo-second ordre obtenus sont résumés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Paramètres des cinétiques d'adsorption de l'orange de méthyle

	Pseudo-premier-ordre					Pseudo-second-ordre			
	Q _{e,exp} (mg/g)	Q _{e,cal} (mg/g)	K ₁ (min)	R ²	Ecart relatif (%)	Q _{e,cal} (mg/g)	K ₂ (g/mg/min)	R ²	Ecart relatif (%)
CA10 %	0,432	0,219	0,039	0,877	49,31	0,463	0,299	0,997	7,17
CA30 %	0,437	0,314	0,075	0,878	28,15	0,455	0,568	0,998	4,12

L'analyse des résultats du **Tableau 2** montre que les coefficients de corrélation (R²) des représentations linéaires de l'équation de pseudo-second ordre (supérieurs à 0,990) sont plus élevés que ceux de l'équation de pseudo-premier ordre (inférieurs à 0,880) aussi bien pour le charbon CA10 % que pour le charbon CA30 %. De plus, les écarts relatifs entre les valeurs d'adsorption maximale (Q_m) déterminées expérimentalement et celles déterminées théoriquement à l'aide de l'équation de pseudo-premier ordre sont plus élevés que ceux de l'équation de pseudo-second ordre. En effet, les valeurs des écarts relatifs de l'équation de pseudo-second ordre sont inférieures à 8 % alors que celle de l'équation pseudo-premier ordre sont supérieures à 28 %. Par conséquent, la loi cinétique d'ordre 2 est bien adaptée pour simuler l'évolution temporelle de la concentration en colorant de la solution. Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs tels que, [20, 21] lors de l'étude de l'adsorption de micropolluants sur des charbons actifs.

3-3. Détermination des conditions optimales d'adsorption de l'orange de méthyle

3-3-1. Influence de la dose de CA10 % et de CA30 %

La **Figure 4** présente l'évolution du taux d'adsorption de l'orange de méthyle en fonction de la dose de charbons.

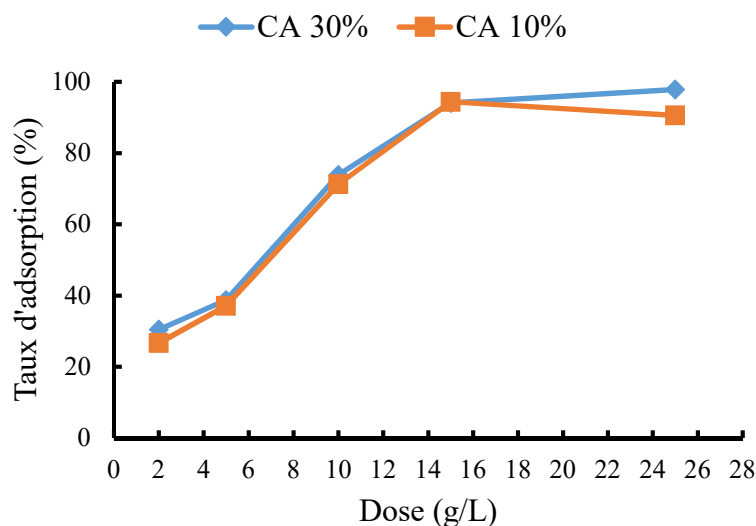


Figure 4 : Influence de la dose du charbon actif sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Les résultats montrent que le taux d'adsorption du colorant croit avec la dose de charbon. Ainsi, on observe une évolution rapide lorsque la dose du charbon actif passe de 1 g/L à 15 g/L. Durant cette variation, le taux

d'adsorption augmente de 30,47 % à 94,08 % et de 26,67 % à 93,13 % respectivement pour le CA30 % et le CA10 %. Au-delà de 15 g/L, on observe un ralentissement de l'adsorption du composé qui tend vers un état quasi-stable avec un taux d'adsorption de 97,88 % pour CA30 % et de 93,13% CA10 %. La masse du charbon actif a donc une influence sur la capacité d'adsorption de l'orange de méthyle. Ce même constat est rapporté par divers auteurs [22, 23]. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que l'augmentation de la dose entraîne une augmentation de la surface d'échange précisément la disponibilité des sites d'adsorption. Les travaux de [19] effectués sur l'élimination de colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture en solution aqueuse ont conduit à des résultats similaires.

3-3-2. Influence du pH sur l'adsorption

L'étude de l'influence du pH sur l'adsorption a été réalisée et les résultats sont présentés sur la **Figure 5**.

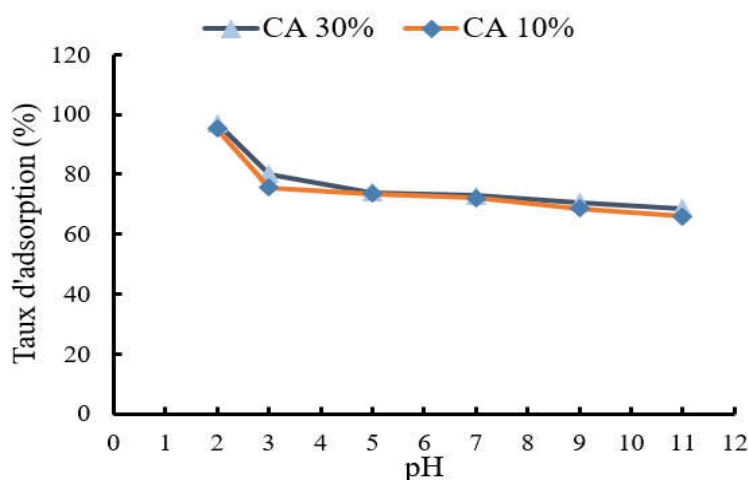


Figure 5 : Influence du pH sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Les résultats indiquent pour les deux types de charbon, que le taux d'adsorption du colorant atteint les valeurs maximales en milieu acide notamment à $\text{pH} = 2$ avant de décroître et quasiment se stabiliser à partir de $\text{pH} = 5$ jusqu'à $\text{pH} = 11$. Ces résultats sont confortés par ceux obtenus par [23, 24] portant sur l'élimination de colorants en solution aqueuse sur du charbon actif préparé à partir de la biomasse. Selon ces auteurs, le charbon actif présenterait à sa surface des charges positives. Ainsi, aux pH acides, le nombre de sites chargés positivement augmente favorisant l'adsorption des anions par le phénomène d'attraction électrostatique. C'est le cas probablement de l'orange de méthyle qui est un colorant anionique. La diminution du taux d'adsorption avec l'augmentation de la valeur du pH en milieu alcalin pourrait s'expliquer par un excès d'ions OH^- dans le milieu qui entraîne une compétition avec ce colorant anionique sur les sites d'adsorption du charbon actif. En effet, la forte concentration et la grande mobilité des ions OH^- favoriseraient leur adsorption par rapport au colorant [25]. Le pH optimal permettant une adsorption maximale de l'orange de méthyle sur les deux charbons est $\text{pH} = 2$ dans les conditions d'étude.

3-3-3. Influence de la concentration initiale de l'orange de méthyle

Les résultats de l'étude de l'influence de la concentration de l'orange de méthyle sont présentés dans la **Figure 6**. Pour les deux types de charbon, on observe une évolution similaire du taux d'élimination de l'orange de méthyle. En effet, lorsque la concentration du colorant augmente 0,5 mg/L à 15 mg/L, le taux d'adsorption diminue de 96,34 % à 49,60 % pour le CA10 % et de 97,16 % à 54,31 % à CA30 %.

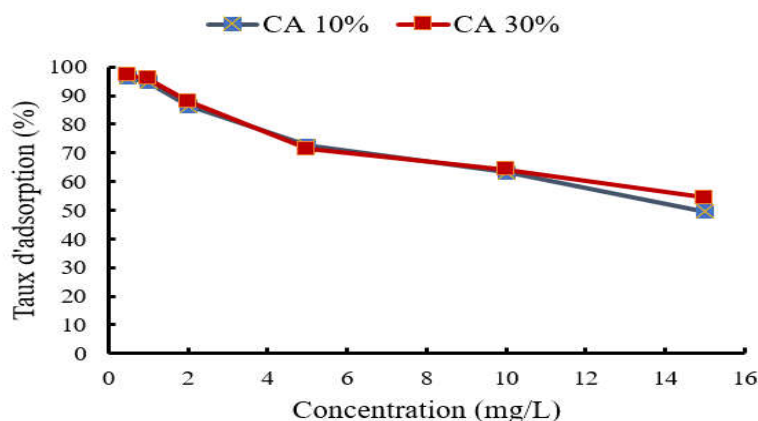


Figure 6 : Influence de la concentration initiale sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Cette variation pourrait s'expliquer par le fait que l'augmentation de la concentration initiale entraîne un accroissement du nombre de moles de colorant pendant que la surface spécifique du charbon reste constante. La quantité de colorants adsorbée par le charbon demeurant la même, le taux d'élimination chute lorsque la concentration initiale du colorant augmente [17, 26].

4. Conclusion

Cette étude porte sur l'adsorption de l'orange de méthyle sur charbon actif préparé à partir de coques des grains de palmiste, un déchet agricole abondant et facile d'accès en Côte d'Ivoire. Deux types de charbons actifs (CA10 % et CA30 %) ont été obtenus par la méthode de préparation chimique dont l'agent chimique utilisé est l'acide phosphorique (H_3PO_4) à 10 % et à 30 %. Les résultats de la cinétique d'adsorption indiquent que le temps d'équilibre d'adsorption de l'orange de méthyle diffère d'un charbon à l'autre. Ainsi, l'équilibre est atteint au bout de 50 min et 70 min respectivement pour CA30 % et CA10 % avec 87,43 % d'élimination. De plus, l'étude de la modélisation a montré que l'adsorption du colorant sur les deux charbons actifs se fait selon le modèle cinétique de pseudo-second-ordre. Par ailleurs, l'étude des paramètres pouvant influencer l'adsorption de l'orange de méthyle a montré que pour une dose de 10 g/L de charbon, à pH = 2, le taux d'adsorption d'une solution d'orange de méthyle de concentration 5 mg/L est de plus de 80 % pour les deux types de charbons CA10 % et CA30 %. En définitive, les charbons obtenus à partir des grains de palmiste imprégnés dans de l'acide orthophosphorique 10 % et 30 % sont efficaces pour le traitement des eaux contaminées par l'orange de méthyle. L'augmentation de la concentration de l'agent d'activation permet de réduire le temps de l'équilibre d'adsorption de l'orange de méthyle sur le charbon actif obtenu.

Références

- [1] - S. HAMMAMI, "Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels", Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Est et Tunis El Manar, (2008) 153 p.
- [2] - A. KHALFAOUI, "Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels : Application aux Peaux d'Orange et de Banane", Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine, Algérie, (2012) 143 p.
- [3] - C. ABEGGLEN and H. SIEGRIST, Office fédéral de l'environnement, Berne, Connaissance de l'environnement, N° 1214 (2012) 87 p.

- [4] - M. BOEHLER, B. ZWICKENPFLUG, J. HOLLENDER, T. TERNES, A. JOSS and H. SIEGRIST, *International Water Association*, London, Royaume-Uni, 66 (10) (2012) 2115 - 2121
- [5] - J. MARGOT, C. KIENLE, A. MAGNET, M. WEIL, L. ROSSI, L. F. DE ALENCASTRO, C. ABEGGLEN, D. THONNEY, N. CHÈVRE, M. SCHÄRER and D. A. BARRY, *Science of the Total Environment*, 461 - 462 (0) (2013) 480 - 498
- [6] - E. I. EL-SHAFFEY, S. N. F. ALI, S. AL-BUSAFI and H. A. J. AL-LAWATI, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (4) (2016) 2713 - 2724
- [7] - M. J. AHMED and S. K. DHEDAN, *Fluid Phase Equilib*, 317 (2012) 9 - 14
- [8] - C. PALMA, L. LIORET, A. PUEN, M. TOBAR and E. CONTRERAS, *Journal of Chemical Engineering*, 24 (2016) 521 - 528
- [9] - D. MOHAN, K. P. SINGH and V. K. SINGH, *Journal of Hazardous Materials*, 135 (2006) 280 - 295
- [10] - M. ZENGİN, S. V. YERLİ, M. DAĞTEKİN and Ö. İ. AKPINAR, *Sempozyum Özel Sayısı*, 8 (2) (2012) 10 - 24
- [11] - K. N. ABOUA, B. K. YAO, S. GUEU and A. TROKOUREY, *Research Journal of Biological Sciences*, 06 (06) (2010) 665 - 670
- [12] - S. LAGERGREN, *Handlingar Band*, 24 (4) (1898) 1 - 39
- [13] - S. K. SRIVASTAVA, R. TYAGI, N. PANT, *Water Research*, 23 (1989) 1161 - 1165
- [14] - Y. S. HO, G. MCKEY, *Water Research*, 34 (4) (2000) 735 - 742
- [15] - S. L. TSENG, F. C. WU, R. S. JAUNG, *Carbon*, 41 (2003) 487 - 495
- [16] - P. ATHEBA, N. B. ALLOU, P. DROGUI and A. TROKOUREY, *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 8, (2018) 39 - 57
- [17] - K. N. ABOUA, "Optimisation par le plan factoriel complet des conditions de productions de charbon actif et son utilisation pour l'élimination des colorants et métaux lourds en solution aqueuse", Thèse unique, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2013) 164 p.
- [18] - C. TCHEKA, M. HAROUNA, G. S. S. FADEUNE, M. MBARKI, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1) (2015) 101 - 108
- [19] - J. OSNICK, "Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, (2009) 206 p.
- [20] - F. O. P. TATIANNE, "Etude d'un procédé de dépollution basé sur le couplage ozone/charbon actif pour l'élimination des phthalates en phase aqueuse", Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans, France, (2016) 214 p.
- [21] - K. S. GBAMELE, G. P. ATHEBA, B. K. DONGUI, K. DROGUI, R. DIDIER, D. O. KRA, S. KONAN, G. G. M. DE BOUANZI and A. TROKOUREY, *Afrique Science*, 12 (5) (2016) 229 - 245
- [22] - D. O. KRA, N. A. KOUADIO, G. P. ATHEBA, B. COULIBALY, N. B. ALLOU, K. G. GBASSI and A. TROKOUREY *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13 (2015) 542 - 553
- [23] - K. N. ABOUA, Y. A. YOBOUET, K. B. YAO, D. L. GONE and A. TROKOUREY, *Journal of Environment Management*, 156 (2015) 10 - 14
- [24] - N. LAMRI, "Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption", Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine, Algérie, (2010) 122 p.
- [25] - S. CHEN, J. ZHANG, C. ZHANG, Q. YUE, Y. LI and C. LI, *C. Desalination*, 252 (2010) 149 - 156
- [26] - H. KARIMI, S. MOUSAVI, B. SADEGHIAN, *Indian Journal of Science and Technology*, 5 (3) (2012) 2346 - 2353