

# *Etude De Mécanisme d'Adsorption Du Colorant d'Indigo Carmin (IC) Sur Du Charbon Actif A Base De Coques De Noix De Coco (CACC)*

Tahina Randrianantoandro<sup>1</sup>, Herizo Ramanantsoa<sup>1</sup>

Laboratoire de Chimie de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo - Madagascar



**Résumé – Contexte :** Les effluents issus des industries textiles génèrent des charges chimiques importantes, ce qui pose un vrai problème à l'homme et à l'environnement. A Antananarivo, quelques industries textiles déversent leurs eaux usées fortement colorées dans la rivière Ikopa, avec ou sans traitement préalable. Cependant, ces eaux usées ont des impacts majeurs, directs ou indirects, sur la ressource en eau, car elles affectent la qualité de la rivière et les activités des riverains environnants. **Objectif :** L'objectif de cette étude est d'élaborer une méthode écologique pour éliminer le colorant d'indigo carmin (IC) qui est déversé directement dans la rivière Ikopa après le traitement de jeans (lavage et délavage) d'une entreprise franche. La décoloration a été réalisée par adsorption du colorant sur du charbon actif à base de coques de noix de coco (CACC). **Méthode :** L'adsorption est effectuée par mise en contact de l'indigo carmin / charbon actif (CACC) en poudre avec une vitesse d'agitation de 120 tr.min<sup>-1</sup>. Les influences des paramètres liés aux conditions d'adsorption tels que le temps de contact, la quantité de l'adsorbant, la concentration du colorant ont été examinés. Après les différentes opérations, les échantillons sont ensuite filtrés, centrifugés et sont analysés par un spectrophotomètre UV-Vis à une longueur d'onde de 610 nm. Pour décrire les propriétés du mécanisme d'adsorption, on a aussi déterminé les modèles cinétiques et les modèles d'isotherme d'adsorption du colorant sur le CACC. **Résultats :** Le colorant d'indigo peut être éliminé à 98,04 % pour une quantité optimum de 750 mg de charbon actif en poudre dans une solution expérimentale de 100 ml. La quantité de colorant adsorbée par le charbon est de 6,47 mg g<sup>-1</sup>. Le temps d'équilibre exact est obtenu en 40 minutes. On constate que la capacité d'adsorption augmente avec la masse de charbon grâce à la disponibilité des sites libres. En appliquant les équations cinétiques, on observe que le modèle de pseudo second-ordre décrit davantage l'adsorption de l'indigo carmin sur le CACC avec un coefficient de corrélation élevé ( $R^2= 0,9998$ ) et de  $q_{e,calc} = 6,85$  mg g<sup>-1</sup>. Le modèle de Freundlich est représentatif du processus d'adsorption du colorant IC, c'est-à-dire que l'adsorption est en multicouche et que la surface de l'adsorbant est hétérogène.

**Mots clés –** Effluent textile, indigo carmin, adsorption, rivière Ikopa, Antananarivo

## I. INTRODUCTION

Les industries textiles se sont développées au cours des dernières décennies. La plupart des procédés industriels conduisent à des rejets polluants à cause de l'utilisation intensive d'additifs et de colorants chimiques. L'indigo carmin est le colorant le plus couramment utilisé sur les toiles de jean. Après le lavage et délavage de jeans, les rejets colorés déversés dans la nature peuvent altérer l'environnement aquatique et l'équilibre écologique. Les rejets textiles contenant des colorants organiques présentent une forte teneur en DBO et en DCO [1]. Il est estimé que près de 20% des colorants appliqués sur les tissus ne sont pas fixés et se retrouvent dans les eaux usées [2]. Les colorants de synthèse sont parfois difficilement biodégradables et très toxiques. Leur élimination dans des eaux usées est donc nécessaire. Plusieurs techniques d'élimination des colorants des eaux usées ont été réalisées par divers auteurs, à savoir les méthodes biologiques, chimiques et physiques. La coagulation – floculation [3], la filtration sur membrane [4], l'échange d'ions, la boue activée et l'adsorption [5,6,7] sont les plus utilisés dans le système de traitement classique. La technique de l'adsorption est considérée comme la méthode efficace et simple pour l'élimination des colorants. Le charbon actif est l'un des matériaux adsorbants les plus utilisés actuellement [8]. Dans une optique d'écologie industrielle et de valorisation des déchets, nos recherches sont axées à l'utilisation d'un adsorbant écologique, disponible

localement, fabriqué à partir de déchets de coco, à noter que ce matériau est moins cher et renouvelable par rapport au charbon actif commercial [9]. Dans cet article, nous avons optimisé l'utilisation d'un charbon actif de coques de coco en poudre pour l'élimination d'un colorant d'indigo carmin et pour la recherche d'un meilleur rendement par rapport aux autres méthodes couramment utilisées. Après, on a évoqué des modèles cinétiques et d'isothermes à partir des résultats obtenus. Cette méthode est normalement réalisable pour le traitement en grande quantité et sans utilisation d'installations spécifiques ou sophistiquées.

## **II. MATERIELS ET METHODES**

### **2.1. Préparation du charbon**

L'adsorbant utilisé dans cette étude a été préparé à partir d'endocarpe de noix de coco. Il s'agit d'un charbon biologique artisanal dont la fabrication se fait localement.

Après la collecte des déchets, l'endocarpe doit passer par des prétraitements préliminaires avant les processus de carbonisation et activation :

- le triage : éliminer les éléments étrangers ;
- le séchage : il s'agit d'un séchage à l'air libre pendant quelques jours afin de réduire l'humidité et de faciliter le broyage ;
- le broyage : réduire la taille de l'endocarpe ;
- le tamisage : débarrasser des petits résidus ;
- le pesage : peser la quantité de l'endocarpe à carboniser.



Photo 1. Charbon actif de coques de noix de coco en poudre

#### **2.1.1. La carbonisation**

Pour cette étape, on a besoin d'un fourneau, d'un ventilateur électrique (utilisé pour le soufflage), d'un creuset (contenant le produit à carboniser) et d'un thermomètre (pour contrôler la température).

La mode opératoire se fait comme suit :

- on prépare le fourneau
- les produits à carboniser sont versés et enfermés dans le creuset.
- ce dernier est ensuite posé dans le fourneau préalablement chauffé, à une température de 650°C à 700°C pendant 3 heures, par la combustion du charbon de bois accélérée par le ventilateur électrique.
- le produit carbonisé sera déchargé du creuset après refroidissement.

#### **2.1.2. Activation physique**

L'activation du matériau permet de développer la structure poreuse du charbon et de rendre son pouvoir d'adsorption plus élevé. Pour l'activation, on traite le charbon à une température pouvant atteindre 800 à 1000°C pendant 3 heures. L'accélération par le ventilateur électrique permet d'augmenter la combustion pour que la température évolue jusqu'à 1000°C. Après refroidissement, on a récupéré le charbon activé dans le creuset et on a pesé le produit obtenu. Pour avoir la poudre, on a broyé,

puis tamisé le charbon brut afin de séparer les poudres des grains.

Pour 500 g d'endocarpe, après la carbonisation à 650°C pendant 3 heures, on a obtenu 212 g de charbon. Et après activation à 1000°C pendant 3 heures, on obtient au final 140 g de charbon actif.

## 2.2. Préparation de la solution d'adsorbat

La solution mère de l'IC 50 mg l<sup>-1</sup> est préparée par dissolution du colorant d'indigo carmin dans 1 litre d'eau distillée. Le colorant est une famille d'indigoïde dont la structure est représentée à la Fig. 1. Les solutions filles sont préparées par dilutions successives de la solution mère pour obtenir les concentrations à tester. Les solutions colorées sont ensuite analysées par spectrophotomètre UV à une longueur de 610nm. On a établi ainsi la droite d'étalonnage représentant l'absorbance (A) en fonction de la concentration (C) selon la loi de Beer-Lambert. La Fig. 2 représente la courbe d'étalonnage de l'indigo carmin.

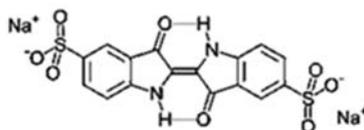


Fig. 1. Structure de l'indigo carmin ( $M=466,36 \text{ g mol}^{-1}$ )

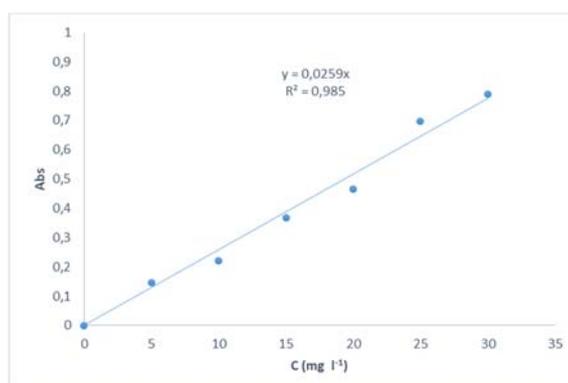


Fig. 2. Courbe d'étalonnage de l'indigo carmin

## 2.3. Description des essais d'adsorption

L'adsorption est effectuée par mise en contact de solutions aqueuses de composés organiques (indigo carmin) avec des quantités croissantes de charbons dans des béchers de 250ml. Le temps d'agitation pour obtenir l'équilibre a été déterminé. Les échantillons sont ensuite filtrés sous vide, centrifugés et analysés par spectrophotomètre UV. Les concentrations sont alors déduites à partir de la loi de Beer-Lambert  $A = \epsilon LC$

Avec : A : absorbance de la solution ;  $\epsilon$  coefficient d'absorption molaire de la substance;  $\ell$  : longueur du chemin optique et C : la concentration de la substance.

## 2.4. Essai d'adsorption

### 2.4.1. Effet de la masse de charbon

Pour les essais d'adsorption en fonction de la masse du charbon, on a préparé cinq (05) échantillons d'une solution d'IC de 100mL, de concentrations 50mg l<sup>-1</sup>, avec différentes masses de charbon (250mg, 500mg, 750mg, 1000mg, 1250mg), sous une agitation magnétique et à la température ambiante pendant 60 min. Le pH des solutions mesuré est égal à 4,70.

Après agitation (120 tr.min<sup>-1</sup>), la solution est filtrée et centrifugée. Le filtrat est analysé par le spectrophotomètre UV visible. Le rendement d'élimination en % par adsorption de l'IC est donné par la relation suivante :

$$R = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

Avec  $C_0$  : Concentration initiale du colorant ( $\text{mg l}^{-1}$ ) et  $C_e$  : Concentration du colorant à l'instant  $t$  ( $\text{mg l}^{-1}$ )

### 2.4.2. Effet du temps d'adsorption

Pour définir le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de l'adsorption de l'indigo carmin sur le charbon, nous avons préparé cinq béchers de 250 ml. Chaque bécher contient la masse idéale de charbon actif que nous avons obtenue dans l'expérience précédente et 100 ml de solution l'indigo carmin de concentration  $50 \text{ mg l}^{-1}$ , sous une agitation magnétique et à la température ambiante. On a mesuré l'absorbance de la solution après 20 min, 40 min, 60 min, 80 min, 90 min et 100 min après d'opération. Après la séparation par filtration sous vide et par centrifugation, le filtrat est analysé par le spectrophotomètre UV visible. La capacité d'adsorption du charbon a été calculée selon la formule :

$$q_t = (C_0 - C_e) \times \frac{v}{m}$$

Avec  $q_t$  : quantité adsorbée à l'instant  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ;  $C_0$  : concentration initiale en colorant ( $\text{mg l}^{-1}$ ) ;  $C_e$  : concentration en colorant à l'instant  $t$  ( $\text{mg l}^{-1}$ ) ;  $v$  : volume de la solution (ml) et  $m$  : quantité de l'adsorbant en solution (g).

### 2.4.3. Effet de la concentration

On a aussi fait varier la concentration initiale de l'adsorbant en vue de déterminer les isothermes d'adsorption. On a préparé cinq échantillons de 100 ml de solution de l'IC de concentration  $20 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $40 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $60 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $80 \text{ mg l}^{-1}$  et  $100 \text{ mg l}^{-1}$  sous une agitation à température ambiante avec la masse de charbon actif et le temps de contact optimum des expériences précédentes. Après la filtration sous vide et la centrifugation, on a mesuré l'absorbance des solutions obtenues.

### 2.5. Modélisation cinétique d'adsorption

La modélisation de la cinétique d'adsorption de l'IC sur le charbon de coco est faite à l'aide des modèles cinétiques de la réaction de surface. On va présenter deux modèles cinétiques les plus importants : le modèle pseudo premier ordre et le modèle pseudo-second ordre [10].

- *Le modèle de pseudo-premier ordre (PPO):*

L'équation utilisée est le Modèle de pseudo-ordre 1 ou modèle de Lagergren :

$$dq/dt = K_1(q_e - q_t)$$

Avec  $K_1$  : constante de vitesse de réaction de premier ordre de l'adsorption ( $\text{min}^{-1}$ );  $q_e$  : quantité adsorbée à l'équilibre en ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ;  $q_t$  : quantité adsorbée à l'instant  $t$  en ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ;  $t$  : temps de contact en (min).

Après intégration avec les conditions initiales  $q_t = 0$  à  $t = 0$ , l'équation devient :

$$q_t = q_e (1 - e^{-K_1 t})$$

La linéarisation de l'équation précédente donne :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t$$

On trace  $\ln(q_e - q_t) = f(t)$ , on obtient une droite qui donne  $K_1$  et  $q_e$ . Ce modèle permet de décrire les phénomènes ayant lieu lors des premières minutes du processus de l'adsorption [8, 10]

- *Le modèle pseudo-second-ordre (PSO):*

Le modèle pseudo-second-ordre (PSO) est donné par l'expression suivante :

$$dq/dt = K_2(q_e - q_t)^2$$

Avec  $K_2$ , constante de vitesse de réaction de second ordre d'adsorption de l'IC sur le charbon de coco ( $\text{L mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) ;  $q_e$ , quantité adsorbée à l'équilibre en ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ;  $q_t$ , quantité adsorbée au temps  $t$  en ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ;  $t$ , temps de contact en (min).

Après intégration on obtient :

$$t/q_t = 1/K_2 \cdot q_e^2 + (1/q_e) \cdot t$$

On trace  $t/q_t = f(t)$ , on obtient une droite qui donne  $K_2$  et  $q_e$ . Contrairement au modèle de premier ordre, le modèle de pseudo second ordre est applicable à un intervalle de temps plus large (généralement l'ensemble du processus d'adsorption) [10].

## 2.6. Isotherme d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est la courbe reliant la concentration résiduelle du soluté ( $C_r$ ) et la quantité adsorbée ( $q$ ). Dans notre cas, la courbe a été obtenue en étudiant l'adsorption de l'IC sur le CACC. On a utilisé 100ml de solutions de colorant (IC) de différentes concentrations : 20 mg l<sup>-1</sup> à 100 mg l<sup>-1</sup> traitées avec une masse de 750 mg de charbon, masse optimale déterminée expérimentalement.

## 2.7. Modélisation des isothermes d'adsorption

Il existe de nombreux modèles théoriques pour décrire les isothermes d'adsorption mais nous nous sommes intéressés aux modèles de Langmuir et Freundlich [11]

### - Le modèle de Langmuir

Il est décrit par l'expression suivante :

$$1/q_e = (1/K_L \cdot q_m) \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

Avec  $q_e$  : quantité de substance adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant – capacité d'adsorption (mg/g) ;  $q_m$  : Capacité d'adsorption à la saturation (mg/g) ;  $C_e$  : Concentration du substrat en adsorbât à l'équilibre (mg l<sup>-1</sup>),  $K_L$  : la constante de Langmuir.

En portant  $1/q_e$  en fonction de  $1/C_e$ , cette équation permet de calculer les paramètres  $q_m$  et  $K_L$ , à partir de l'ordonnée à l'origine et de la pente, respectivement.

### - Modèle de Freundlich

L'équation linéaire de Freundlich est donnée par :

$$\ln q_e = \ln(K_F) + (1/n) \cdot \ln(C_e)$$

Avec  $q_e$  : quantité adsorbée par gramme du solide ;  $C_e$  : concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption ;  $K_F$  : constantes de Freundlich caractéristique de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné. En portant  $\ln q_e$  en fonction de  $\ln C_e$ , cette équation permet de calculer les paramètres  $K_F$  et  $1/n$  à partir de l'ordonnée à l'origine et de la pente respective.

## III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### 3.1. Effet de la masse de charbon à base de coco

Dans le cas de charbon en poudre à base de noix de coco, 100 ml de la solution d'indigo carmin (50 mg l<sup>-1</sup>) sont mis en contact avec différentes masses de charbon pendant 60 minutes.

La Fig. 3 montre une diminution de la concentration du colorant lorsque la masse du charbon augmente. En augmentant la quantité du charbon, le rendement d'élimination du colorant s'accroît également (Fig. 4). Cette expérience montre qu'à partir de 750 mg de charbon utilisé, le pourcentage d'élimination demeure pratiquement constant jusqu'à 1250 mg. Le rendement maximum obtenu est de 98,04 %.

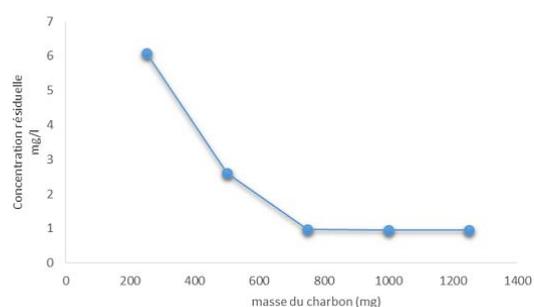


Fig. 3. Variation de la concentration résiduelle de l'indigo carmin

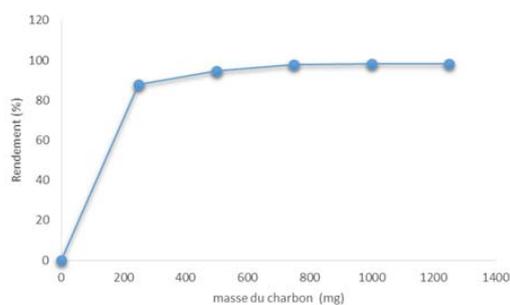


Fig. 4. Influence de la quantité du charbon actif sur le rendement d'élimination de l'IC

### 3.2. Effet de temps d'adsorption

La Fig. 6 montre que la quantité de colorant adsorbée par le charbon en poudre est de 6,47 mg/g. Le temps d'équilibre exact est obtenu en 40 minutes. Au-dessus de cette valeur, la quantité absorbée reste constante (Fig. 5). Les courbes de la cinétique d'adsorption se subdivisent en deux zones :

- La première zone, située entre 5min et 40 min, montre que l'adsorption commence très rapidement.
- La deuxième zone, située entre 40 et 60 min, présente une forme d'un plateau et montre clairement la saturation de l'adsorbant.

Les courbes montrent que l'adsorption de l'indigo carmin sur le CACC est plus rapide au début de la réaction jusqu'à la saturation du matériau adsorbant.

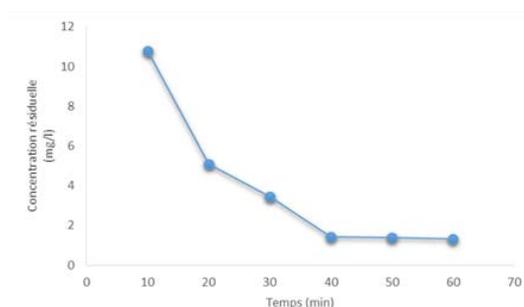


Fig. 5. Variation de la concentration résiduelle de l'indigo carmin

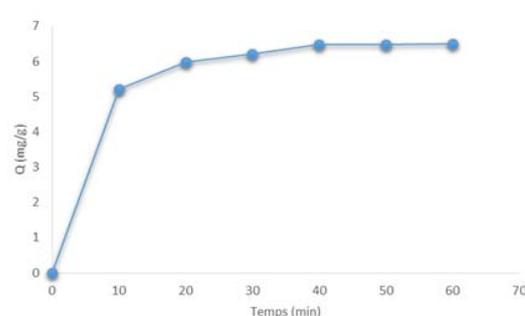


Fig. 6. Effet de temps de contact sur l'adsorption de l'indigo carmin sur biocharbon en poudre à base de coque coco

### 3.3. Effet de la concentration

L'étude de l'isotherme d'adsorption du colorant IC (Fig. 7) montre une concavité tournée vers le bas. Ceci représente une allure d'isotherme de type L. A faible concentration en soluté, ce phénomène traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Théoriquement, ce mécanisme d'adsorption reflète une grande affinité entre l'adsorbé et l'adsorbant. L'isotherme est caractéristique d'un matériau microporeux dont l'adsorption se modélise suivant le modèle de Freundlich dans le premier temps, mais du modèle Langmuir dans l'ensemble du processus. Dans certaines conditions, on peut avoir aussi une éventuelle compétition entre ces deux modèles. [8, 12, 13, 14].

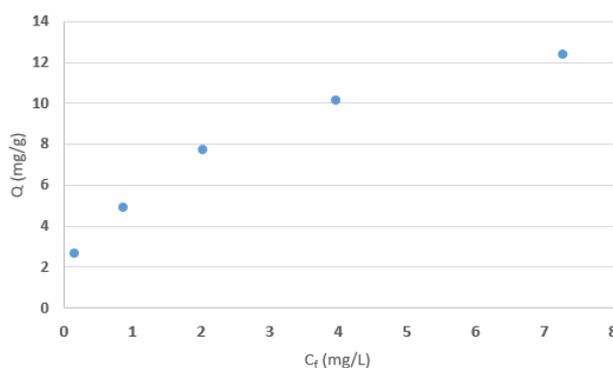


Fig. 7. Isotherme d'adsorption de l'indigo carmin sur le CACC

### 3.4. Modélisation des résultats :

#### 3.4.1. Modélisation des cinétiques :

Les modèles cinétiques du pseudo-premier ordre et pseudo-seconde ordre ont été déterminés pour déterminer les mécanismes d'adsorption de l'IC sur un adsorbant CACC. A partir (Fig. 8 et 9) des équations, on obtient les tracés linéaires correspondantes aux deux modèles étudiés. A partir de ces droites, nous déterminons les constantes cinétiques K, les coefficients de corrélation  $R^2$  ainsi que les quantités théoriques adsorbées à l'équilibre  $q_e$  [14].

Les données cinétiques obtenues à partir des figures sont synthétisés dans le tableau ci-après :

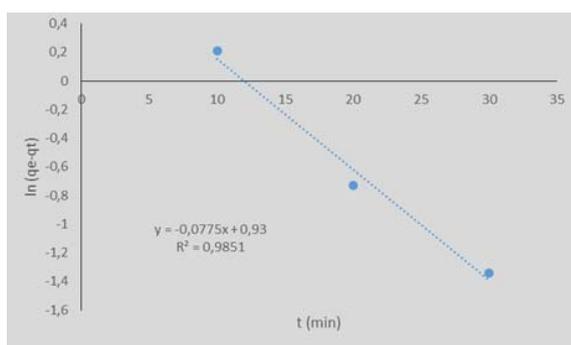


Fig. 8. Le modèle de pseudo premier-ordre de l'adsorption de l'IC sur le CACC

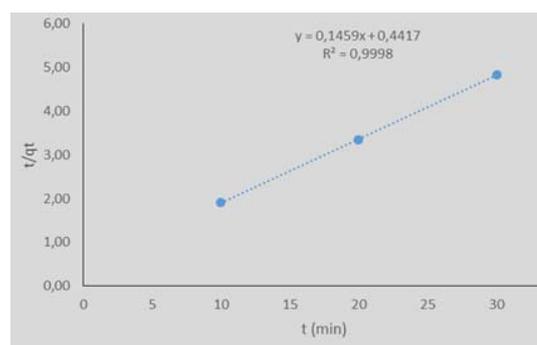


Fig. 9. Le modèle de pseudo second-ordre de l'adsorption de l'IC sur le CACC.

TABLE I. DONNEES CINETIQUES D'ADSORPTION DE L'IC POUR LE MODELE DU PSEUDO-PREMIER ORDRE ET DU PSEUDO-SECOND ORDRE

	$K_{1,2}$	$q_{e,calc}(mg\ g^{-1})$	$R^2$
Modèle 1 <sup>ère</sup> ordre	0,077	2,53	0,9851
Modèle 2 <sup>ème</sup> ordre	0,048	6,85	0,9998

Au vu de ces résultats, on observe que le processus d'adsorption du colorant IC sur le CACC suit le modèle cinétique de pseudo-second ordre, avec un coefficient de corrélation très élevé  $R^2=0,9998$ . En comparant les quantités calculées du colorant adsorbé à l'équilibre, la  $q_e = 6,85\ mg\ g^{-1}$  du modèle pseudo-second ordre présente un résultat satisfaisant avec une capacité d'adsorption élevée.

#### 3.4.2. Modèle des isothermes

Les tracés des isothermes de Langmuir et Freundlich à l'équilibre d'adsorption du colorant IC ont été élaborées (Fig. 10 et

11) avec les différents paramètres caractéristiques pour chaque isotherme.

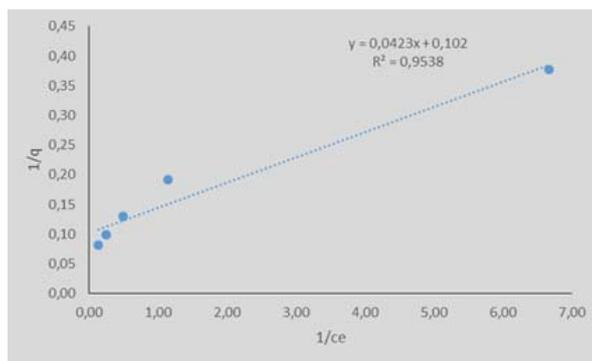


Fig. 10. Modèle de Langmuir de l'adsorption de l'IC sur CACC

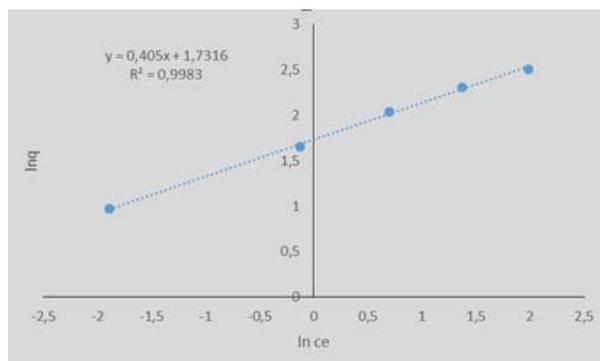


Fig. 11. Modèle de Freundlich de l'adsorption de l'IC sur le CACC

TABLE II. CONSTANTES DE LANGMUIR- FREUNDLICH ET COEFFICIENTS DE CORRELATIONS DES MODELES D'ISOTHERME

Modèle de Langmuir			Modèle de Freundlich		
Q <sub>m</sub> (mg/g)	K <sub>L</sub>	R <sup>2</sup>	K <sub>F</sub>	1/n	R <sup>2</sup>
9,803	2,41	0,9538	5,64	0,405	0,9983

En comparant les différents paramètres des deux modèles, on peut définir le modèle de mécanisme d'adsorption approprié au colorant d'IC. On observe que le coefficient de corrélation du modèle de Langmuir ( $R^2=0,9538$ ) est inférieur à celui du modèle de Freundlich ( $R^2=0,9983$ ). Ceci confirme que l'adsorption du colorant IC suit plutôt le modèle de Freundlich. De plus, la valeur numérique de  $1/n$  qui est comprise entre 0 et 1 indique que l'adsorption de colorant est favorable pour ce même modèle [12].

#### IV. CONCLUSION

Dans cette étude, on a l'objectif d'utiliser des matières biologiques (charbon actif à base de la coque de coco ou CACC) pour éliminer le colorant indigoïde (Indigo carmin ou IC) dans des eaux usées colorées issues du délavage de jeans. En faisant varier les différents paramètres d'adsorption et les différents modèles mathématiques, on arrive à décrire le mécanisme d'adsorption du colorant d'indigo carmin et à obtenir les valeurs optimums. Après la variation de la quantité de charbon utilisé, on observe que la quantité optimum de CACC pour traiter une solution d'IC ( $50 \text{ mg l}^{-1}$ ) dans une solution de 100 ml est de 750 mg. Après 40 min d'équilibre, le rendement obtenu est d'environ 98,04%. Cette capacité d'adsorption est favorisée par le temps de contact adsorbant-adsorbât jusqu'à la saturation. La capacité maximale d'adsorption obtenue expérimentalement est de  $6,47 \text{ mg g}^{-1}$ . Les études cinétiques effectuées montrent que le processus d'adsorption du colorant IC suit le modèle de pseudo-second ordre avec un coefficient de corrélation élevé ( $R^2=0,9998$ ) et la quantité théorique adsorbée à l'équilibre de  $6,85 \text{ mg g}^{-1}$ . Ainsi, le mécanisme d'adsorption obéit au modèle de Freundlich avec une valeur numérique de  $1/n \ll 1$ , c'est-à-dire que l'adsorption du colorant est en multicouche. Avec ce rendement élevé et sans utilisation de produits chimiques, on peut dire que l'utilisation du biochar à base de coco dans les traitements des eaux colorées est une méthode écologique et économique. Dans une vision du développement durable et de transition écologique, l'utilisation de charbons biologiques vise à réduire les émissions polluantes intentionnelles et non-intentionnelles dans les eaux usées et de limiter les impacts des activités industrielles sur les différentes ressources naturelles : eau, sol et l'écosystème.

#### REFERENCES

[1]. Madhura C., Priyanka S., Charmi N., Sunil K., Sonali D., 2014, Removal of dye by adsorption on various adsorbents, International Journal Sciences Engineer And Technology.,vol. 3, pp. 835-840.

- [2]. Zidane F., Ohazzar A., Blais J.F., Ayoubi K., Bensaid J., Basri S.E., Kaba N., Fakhreddine Q., Lekheif B., 2011, Contribution à la dépollution des eaux usées de textile par électrocoagulation et par adsorption sur des composés à base du fer et d'aluminium. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, pp. 1727-1745
- [3]. Sbai G., Oukili k. et Loukili M., 2016, study of the degradation of the colouring agents of textile application on the methylene blue, *international Journal of Innovation and Applied Studies*, vol.16, pp. 273-279
- [4]. Berradi M., Essamri A., Al Harfi A., 2016, Discoloration of water loaded with vat dyes by membrane process of ultrafiltration. *Journal Scientifique.*, vol. 7, pp. 1098-1106.
- [5]. Rangabhashiyam S., Anu N., Selvaraju N., 2013, Sequestration of dye from textile industry waste water using agricultural waste products as adsorbents. *J. of Envir. Chem. Engin*, vol.1, pp. 629-641.
- [6]. Gumuchian D., 2014, Etude de la dégradation par ozonation de deux colorants, Th. Doc., Université Pierre et Marie Curie, 257p
- [7]. Sami G., Mohamed G., 2000, Elimination d'un colorant des effluents de l'industrie textile par adsorption, *Annales de Chimie Science des matériaux*, vol. 25, Issue 8, pp. 615-625
- [8]. Sahel M., Ferrando-Dusart, 1993, Adsorption dynamique en phase liquide sur charbon actif : comparaison et simplification de différents modèles, *Journal of Water Science*, Volume 6, numéro 1, pp. 63-80
- [9]. Cazetta A. L., Vargas A. M.M., Nogami E. M., Kunita M. H., Guilherme M. R., Martins A. C., Silva T. L., Moraes J. C. G. and Almeida V. C., 2011, NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption, *Chemical Engineering Journal*, pp. 117-125.
- [10]. Fayoud N., Alami Younssi S., Tahiri S. et Albizane A., 2015, Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of methylene blue on wood ashes), *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (11), pp. 3295-3306
- [11]. Kifuani K.M.A., 2013, Adsorption des composés organiques aromatiques sur charbon actif à base des déchets agroindustriels. Th. Doc, Université de Kinshasa, 265 p
- [12]. Merle T, 2009, Couplage des procédés d'adsorption et d'ozonation pour l'élimination de molécules bio-récalcitrantes, Th. Doc, Université de Toulouse, 178 p
- [13]. Giles H. et Smith D., 1974, A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm, I. Theoretical », *Journal of Colloid and Interface Science*, 47(3), p. 755-765
- [14]. Masson S., Reinert L., Guittonneau S., Duclaux L., 2015, Cinétique et isothermes d'adsorption de micropolluants sur un tissu et un feutre de carbone activé, *Revue Scientifique de l'Eau*, vol. 28, pp.179-247