

Adsorption d'un colorant basique sur colonne à lit fixe des billes en argile

[Adsorption of a basic dye on a fixed bed column of clay beads]

Soro Donafologo Baba¹, N'Guettia Kossonou Roland¹, Diarra Moussa², Aboua Kouassi Narcisse¹, Meite Ladji¹, N'Zue Yao Jean Vianney¹, Mamadou Koné¹, and Traore Karim Sory¹

¹Environmental Science Laboratory of University NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Environmental Science and Technology Laboratory of University Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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: Effluents from the textile industry and artisanal dyeing contaminate water resources. The objective of this work is to eliminate the dye safranin from the aqueous medium by adsorption on natural materials. The clay used comes from Daloa in the center-west of Côte d'Ivoire. It is ground and then dry sieved on a column of sieves with a diameter of between 45 μm and 2 mm. The balls are made with the diameter fraction between 45 and 125 μm . Thus, 40 mL of distilled water is added to 100 g of clay powder. The balls obtained (approximately 0.5 cm in diameter) are dried in an oven at 60°C for 24 hours, then calcined in the oven at 500°C for 2 hours. The experimental device is a glass column 64.4 cm high and 2.9 cm inside diameter surmounted by a separating funnel containing the solution to be treated. The samples from the adsorption tests are analyzed using an AQUALYTIC 800 brand UV-visible spectrophotometer. Mathematical models are applied to model the breakthrough curves. The results showed that breakthrough time and adsorption capacity increase with bed height (60, 240 and 420 min respectively for 8, 16 and 24 cm) and decrease with flow rate (240, 90 and 30 min respectively) for 2, 3 and 4 mL/min. The modeling of the different breakthrough curves shows that the models applied are able to describe the entire dynamic behavior of the column.

KEYWORDS: Safranin, clay beads, adsorption, modeling.

RESUME: Les effluents de l'industrie textile et de la teinturerie artisanale contaminent les ressources en eau. L'objectif de ce travail est d'éliminer le colorant safranine du milieu aqueux par adsorption sur des matériaux naturels. L'argile utilisée provient de Daloa au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Elle est broyée puis tamisée à sec sur une colonne de tamis de diamètre compris entre 45 μm et 2 mm. Les billes sont confectionnées avec la fraction de diamètre compris entre 45 et 125 μm . Ainsi, 40 mL d'eau distillée sont ajoutés à 100 g de poudre d'argile. Les billes obtenues (environ 0,5 cm de diamètre) sont séchées à l'étuve à 60 °C pendant 24 h, puis calcinées au four à 500 °C pendant 2 h. Le dispositif expérimental est une colonne en verre de hauteur 64,4 cm et de diamètre intérieur 2,9 cm surmontée d'une ampoule à décanter contenant la solution à traiter. Les échantillons issus des tests d'adsorption sont analysés au spectrophotomètre UV-visible de marque AQUALYTIC 800. Des modèles mathématiques sont appliqués afin de modéliser les courbes de percée. Les résultats ont montré que le temps de percée et la capacité d'adsorption augmentent avec la hauteur du lit (60, 240 et 420 min respectivement pour 8, 16 et 24 cm) et diminuent avec le débit (240, 90 et 30 min respectivement pour 2, 3 et 4 mL/min). La modélisation des différentes courbes de percée montre que les modèles appliqués sont aptes à décrire l'ensemble du comportement dynamique de la colonne.

MOTS-CLEFS: Safranine, billes d'argile, adsorption, modélisation.

1 INTRODUCTION

Pour répondre aux besoins des industries du textile et d'autres industries telles que celles du papier, du caoutchouc, des plastiques, des peintures, des encres d'imprimerie, de l'art et l'artisanat, du cuir, de l'alimentation, des médicaments et des cosmétiques, la

production de colorants et de pigment s'est amplifiée [1]. En effet, ces industries utilisent plus de 10 000 colorants et pigments synthétiques pour obtenir l'aspect esthétique souhaité de leurs produits. Cependant, environ 15 % en poids de ces colorants sont rejetés dans l'environnement lors de la synthèse, du traitement ou de l'application sans traitement préalable [2], [3]. Les résidus de ces colorants affectent l'activité photosynthétique en empêchant la pénétration de la lumière dans la vie aquatique. Ils génèrent également des produits chimiques toxiques qui ont un effet néfaste sur la flore, la faune et les êtres humains [4].

En Côte d'Ivoire, les ressources en eau n'échappent pas à ce type de pollution. En effet, en plus des industries du textile, les teintureries artisanales du textile constituent une source de pollution avec les rejets d'eaux usées chargées en colorants, solvants et autres additifs. Du fait de l'inexistence de systèmes d'épuration de ces effluents et du mauvais état de fonctionnement des réseaux de collecte des eaux usées, ils sont entraînés directement vers les eaux de surface sans traitement préalable [5], [6], [7]. La présence des colorants dans l'environnement, même à de faibles concentrations, constitue un danger pour la santé humaine. Ces colorants non biodégradables ont des effets toxiques sur les espèces aquatiques et surtout des effets cancérogènes sur l'homme [8], [9].

Sur les quelques 900 000 tonnes de colorants produits annuellement dans le monde [10], plus de 70 % appartiennent au groupe azoïque [11] dont fait partie la safranine [12]. En effet, la safranine est un colorant basique synthétique qui a des effets dangereux et nocifs sur l'environnement et les êtres humains [13]. Sa présence dans l'eau peut provoquer des lésions de la conjonctive et de la cornée des yeux, ainsi que des irritations des voies respiratoires et de la peau [14].

La dépollution des eaux contaminées par les colorants s'avère nécessaire pour la protection de l'environnement biophysique. Des techniques de décontamination prometteuses et peu coûteuses des contaminants organiques et inorganiques de l'eau basées sur des matériaux naturels sont fortement recommandées. Dans cette perspective, l'adsorption a été reconnue comme un procédé efficace et économique pour le traitement des effluents chargés en colorants et a suscité un intérêt considérable. C'est dans ce contexte que se situe cette étude dont l'objectif est d'étudier la capacité d'adsorption de la safranine sur des billes d'argile en milieu aqueux.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 RÉACTIFS ET SOLVANTS

La safranine utilisée provient de la société Sigma-aldrich. L'hydroxyde de sodium (NaOH) de pureté 99,9 % et l'acide chlorhydrique (HCl) 0,1 N de pureté 37 % proviennent de la société Scharlau. Le chlorure de sodium (NaCl) de pureté 99,5 % provient de la société Suvchem. Ces produits ont été utilisés pour les tests de caractérisation de l'argile. L'acétone (C₃H₆O) de pureté 99,5% provient de la société Scharlau. Il a été utilisé pour le nettoyage de la verrerie. L'eau distillée a été utilisée pour la préparation des solutions et la confection des billes.

2.2 PREPARATION DES BILLES D'ARGILE

L'argile utilisée provient du sol de la ville de Daloa située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. L'argile brute prélevée a été acheminée au laboratoire et séchée pendant 4 jours. Dans le but d'obtenir une poudre relativement fine, elle a été broyée dans un mortier en porcelaine puis tamisée à sec sur une colonne de tamis de diamètre compris entre 45 µm et 2 mm. La fraction retenue pour la réalisation des billes est celle dont le diamètre est compris entre 45 et 125 µm. Pour la confection des billes d'argile, 40 mL d'eau distillée ont été ajoutés à une masse de 100 g de poudre d'argile. Des billes de masse comprise entre 0,12 et 0,28 g et d'environ 0,5 cm de diamètre ont été confectionnées à la main. Elles ont ensuite été séchées à l'étuve à 60 °C pendant 24 h, puis calcinées au four à 500 °C pendant 2 h.



Fig. 1. Billes d'argile calcinées au four à 500°C

2.3 CARACTÉRISATION DE L'ARGILE

2.3.1 TAUX D'HUMIDITÉ DE L'ARGILE

Le taux d'humidité est la quantité d'eau physiquement liée à l'argile. Pour sa détermination, une masse (m_1) de 1g d'argile a été pesée dans un creuset. Celle-ci est mise au four à 105°C pendant 24 heures. La masse (m_2) de l'argile après déshydratation a ensuite été pesée. Cette action a été répétée deux fois. Le taux d'humidité (H) est calculé par la formule proposée par **Chossat (2005) [15]**:

Avec:

m_1 : masse de l'argile avant séchage au four (g);

m_2 : masse de l'argile après séchage au four (g);

H: taux d'humidité (%).

2.3.2 FLUORESCENCE X

L'analyse chimique des échantillons d'argile brute et calcinée a été effectuée à l'aide d'un Spectromètre à fluorescence X de type MESA-50, X-Ray Fluorescence Analyzer.

2.3.3 SURFACE SPÉCIFIQUE

La surface spécifique d'un adsorbant représente la surface totale (porosité ouverte comprise) par unité de masse de ce produit, accessible aux atomes et aux molécules. Elle est exprimée en m^2/g ou cm^2/g . Deux méthodes sont généralement utilisées pour la détermination de la surface spécifique d'un solide à savoir la méthode BET (Brunauer, Emmett et Teller) et la méthode analytique. Dans ce travail, la méthode analytique a été utilisée pour déterminer la surface spécifique de l'adsorbant. Elle consiste à mettre dans 40 mL d'une solution d'acide chlorhydrique (0,1 N), une masse de 0,5 g de billes d'argile séchées. Un volume de 10 mL d'eau distillée a été ajouté à la solution qui a ensuite été agitée. L'hydroxyde de sodium NaOH (1N) a été utilisé pour ajuster le pH de la solution entre 3 et 3,5 puis une masse de 10 g de chlorure de sodium NaCl a été ajoutée. La solution obtenue a été titrée au moyen d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1N) jusqu'à l'obtention d'un pH = 4 qui est ensuite ajusté à 9. Le volume V correspond au volume nécessaire pour faire varier le pH de 4 à 9 [16]. La surface spécifique est déterminée par la relation:

Avec :

S: surface spécifique ($m^2.g^{-1}$);

V: volume de réactif titrant versé dans le bécher (ml).

2.4 PRÉPARATION DE LA SOLUTION MÈRE DE SAFRANINE

Une solution mère de safranine de concentration $C_0 = 250$ mg/L a été préparée dans une fiole de 1L. Ainsi, un volume de 50 ml de la solution commerciale à 0,5 % a été prélevé et complétée à 1 L avec de l'eau distillée. La solution obtenue a été homogénéisée et conservée à l'abri de la lumière. Les solutions utilisées pour les tests d'adsorption ont été préparées par dilution de cette solution.

2.5 APPAREIL D'ANALYSE

Un spectrophotomètre UV-visible de marque AQUA LYTIC 800 (AL 800) muni de cuves de trajet optique 1 cm a été utilisé pour la détermination de la concentration de safranine à une longueur d'onde de $\lambda = 520$ nm.

2.6 TESTS D'ADSORPTION

Le dispositif expérimental utilisé est une colonne en verre de hauteur 64,4 cm et de diamètre intérieur 2,9 cm surmontée d'une ampoule à décanter contenant la solution à traiter. Une masse de billes d'argile est introduite dans la colonne à la hauteur du lit désirée. La colonne est alimentée par le haut avec le débit souhaité.

Afin de déterminer la capacité d'adsorption de la safranine par les billes d'argile, plusieurs expériences ont été effectuées à des conditions opératoires différentes pour établir les courbes de percée et connaître l'effet de ces paramètres sur l'adsorption du polluant choisi.

2.6.1 INFLUENCE DE LA HAUTEUR DU LIT DE BILLES D'ARGILE

L'effet de la hauteur du lit sur la courbe de percée a été étudié en variant la hauteur de 8, 16 et 24 cm correspondant respectivement à 50, 100 et 150 g de billes d'argile. Le lit fixe d'argile est maintenu compact entre deux couches de laine de verre. Les tests d'adsorption ont été réalisés avec une solution de safranine de concentration 3 mg/L. L'écoulement de la solution s'est fait avec un débit constant de 2 ml/min.

2.6.2 INFLUENCE DU DÉBIT D'ALIMENTATION

Les essais sont réalisés avec différents débits (2, 3, et 4 ml/min) en utilisant la hauteur du lit optimale obtenue précédemment pour une concentration de 5 mg/L de safranine.

2.6.3 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION INITIALE DU POLLUANT

Les essais sont effectués dans les conditions optimales obtenues précédemment à différentes concentrations (3, 5 et 8 mg/L).

2.7 MODELISATION DES COURBES DE PERCÉE

Trois modèles mathématiques ont été utilisés pour prévoir le comportement dynamique de la colonne et pour estimer quelques coefficients cinétiques. Ces modèles sont représentés par les équations ci-dessous.

MODÈLE DE BOHART ET ADAMS:

Avec N_0 : capacité maximale d'adsorption ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); k_{BA} : Constante de Bohart et Adams ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$).

MODÈLE DE THOMAS:

Avec k_{TH} : Constante de vitesse du modèle de Thomas ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$); q_0 : Capacité d'adsorption ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).

MODÈLE DE YOON ET NELSON:

Avec K_{YN} : Constante de Yoon et Nelson (min^{-1}); τ : Temps correspondant à l'adsorption de 50% d'adsorbant (min).

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISATION DE L'ARGILE

3.1.1 TAUX D'HUMIDITÉ

Une valeur de 2,75 % a été obtenue comme taux d'humidité. Un résultat similaire (1,41 %) a été obtenu dans des travaux antérieurs [17]. Cette faible valeur explique le caractère non hygroscopique du matériau [15].

3.1.2 ANALYSE CHIMIQUE

La composition en oxydes (M_xO_y) des éléments chimiques contenus dans l'argile brute et l'argile calcinée exprimée en pourcentage massique est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Composition chimique en oxydes exprimée en pourcentage (%)

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Mn ₂ O ₃	TiO ₂	MoO ₃	V ₂ O ₅	CuO	Total
Argile brute	3,56	72,52	19,87	0,12	1,36	0,08	1,97	0,14	0,07	0,01	99,70
Argile calcinée	0,06	50,56	40,63	0,46	2,88	0,14	3,36	0,56	0,09	0,06	98,80

L'analyse des données du tableau montre une quantité importante d'oxydes d'alumine et de fer dans les deux échantillons d'argile comparativement aux autres oxydes présents. Le taux d'oxydes d'alumine est relativement plus élevé dans l'argile brute que l'argile calcinée. En revanche, la quantité d'oxydes de fer est plus élevée dans l'argile calcinée indiquant une fixation d'oxydes de fer sur l'argile brute. En outre, de faibles teneurs en oxydes de silice, de titane, de calcium, de potassium, de molybdène, de manganèse, de vanadium et de cuivre sont également notées.

3.1.3 SURFACE SPÉCIFIQUE

Pour cette étude, la surface spécifique de l'argile utilisée a été déterminée à l'aide de la méthode analytique sur des billes en poudre. La valeur de la surface spécifique obtenue est $183 \text{ m}^2/\text{g}$. Cette valeur élevée de la surface spécifique indique une importante ouverture des pores du matériau. Ce résultat est en accord avec celui de Miloudi [18] qui a obtenu $124 \text{ m}^2/\text{g}$ comme surface spécifique lors de la caractérisation des bentonites modifiées par l'acide sulfurique H_2SO_4 à 10%.

3.2 INFLUENCE DES PARAMÈTRES OPÉRATOIRES SUR LA COURBE DE PERCÉE

3.2.1 INFLUENCE DE LA HAUTEUR DU LIT DE BILLES D'ARGILE

La figure 2 présente l'effet de la hauteur du lit de billes d'argile sur l'adsorption de la safranine.

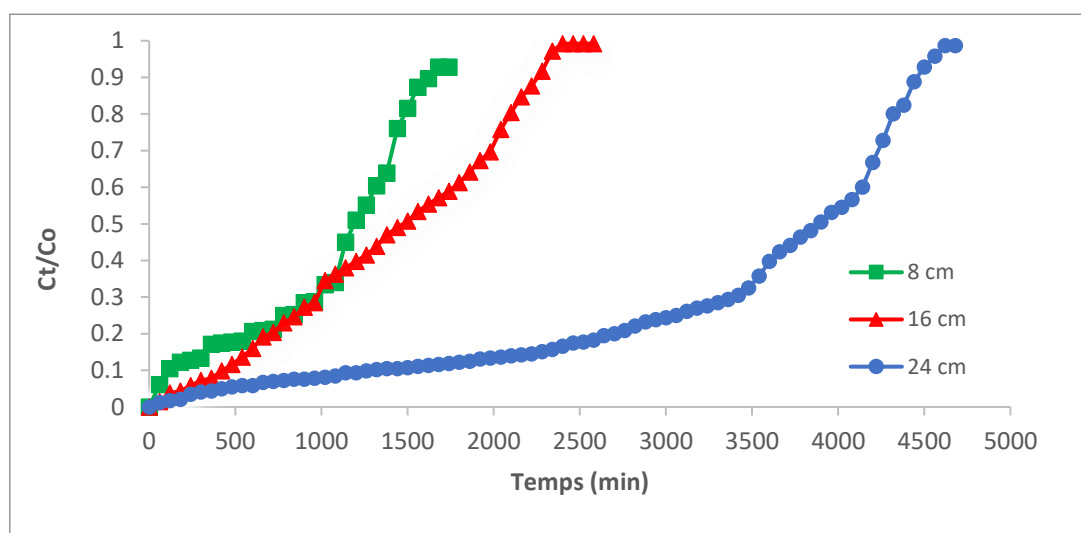


Fig. 2. Influence de la hauteur du lit de billes d'argile sur l'adsorption; $C_0 = 3 \text{ mg/L}$; $Q = 2 \text{ mL/min}$

L'allure des courbes de percée présente trois parties. La première partie caractérise la rétention. Cette partie correspond à l'efficacité maximale de l'adsorbant. A ce niveau, la concentration du soluté à la sortie de la colonne est nulle. La deuxième partie caractérise l'instant où le soluté commence à apparaître dans les effluents, c'est la fuite du soluté. La concentration du soluté est alors inférieure à C_0 . La troisième partie de la courbe caractérise la saturation du lit adsorbant ($C_t = C_0$). Il ressort que le temps nécessaire pour atteindre la saturation de la colonne augmente à mesure que la hauteur du lit augmente. Pour des hauteurs de 8, 16 et 24 cm, les temps de percée ont été respectivement 60, 210 et 440 min et les temps de saturation respectifs de 1680 min (26 h), 2400 min (38 h) et 4620 min (77 h). A ces temps de saturation, les taux d'adsorption correspondants ont été respectivement 93 %, 99 % et 99 %.

3.2.2 INFLUENCE DU DÉBIT D'ALIMENTATION

La figure 3 présente les courbes de percée obtenues à différents débits (2, 3, et 4 mL/min) pour une concentration initiale de 5 mg/L et une hauteur de lit de 16 cm.

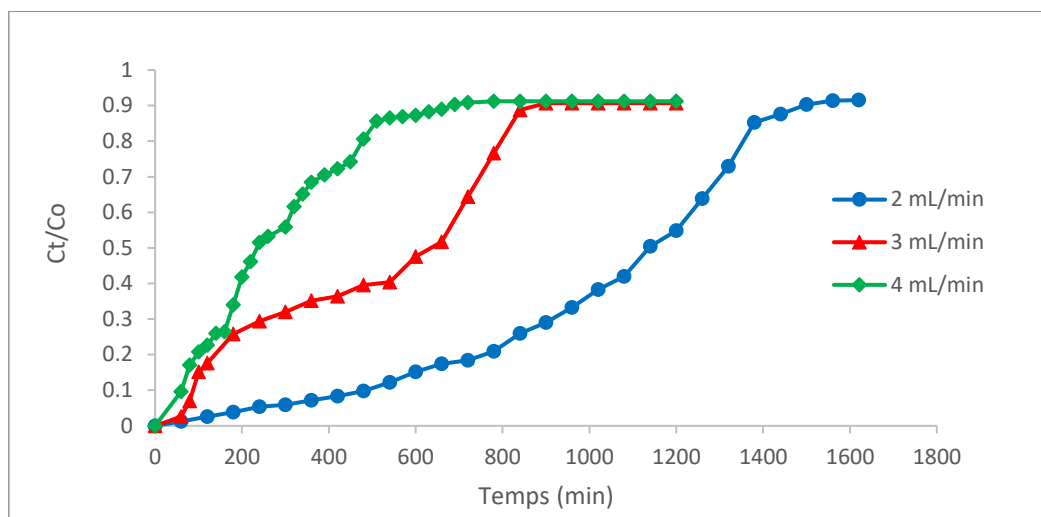


Fig. 3. Influence du débit sur l'adsorption en colonne; $C_o = 5 \text{ mg/L}$; $h = 16 \text{ cm}$

Les courbes de percée présentent la même allure que dans les cas précédents. Des temps de percée de 240 min, 90 min et 30 min ont été obtenus pour des débits respectifs de 2 mL/min, 3 mL/min et 4 mL/min. Les temps de saturation correspondant ainsi que les taux d'adsorption sont respectivement 1560 min (91 %), 900 min (90 %) et 780 min (91 %). Les temps de percée et de saturation diminuent avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant.

3.2.3 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION INITIALE DU COLORANT

Les courbes de percée obtenues à partir de la variation de la concentration initiale du colorant (3, 5 et 8 mg/L) à un débit fixe de 2 mL/min et une hauteur de lit constante de 16 cm sont présentées dans la figure 4.

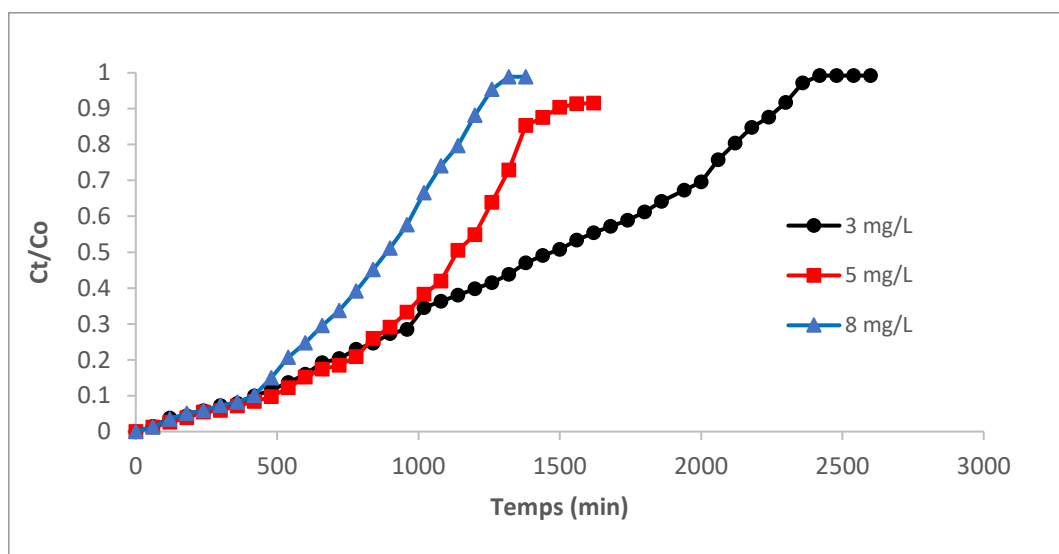


Fig. 4. Influence de la concentration initiale du colorant sur l'adsorption; $Q = 2 \text{ mL/min}$; $h = 16 \text{ cm}$

Les résultats indiquent que les courbes présentent la même allure que précédemment. La variation de la concentration initiale influe sur la courbe de percée dans la gamme de concentration utilisée. En effet, pour des concentrations de 3, 5 et 8 mg/L, les temps de percée obtenus ont été respectivement 300, 240 et 180 min tandis que la saturation a été atteinte à des temps respectifs de 2420 min (40 h), 1560 min (26 h) et 1320 min (22 h). Les taux d'élimination correspondants à ces différents temps de saturation ont été respectivement 99 %, 91 % et 99 %. Il ressort donc qu'une augmentation de la concentration de la safranine conduit à une diminution du temps de percée.

3.3 MODÉLISATION DES COURBES DE PERCÉE

Dans le but d'évaluer l'efficacité et l'applicabilité des modèles de colonne à grande échelle, des modèles mathématiques ont été proposés. Ces modèles permettent, à partir des études dynamiques réalisées sur le lit fixe de décrire, prédire et estimer les données expérimentales obtenues nécessaire pour concevoir un processus d'adsorption en colonne. Les paramètres calculés selon les modèles mathématiques appliqués sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2. Paramètres obtenus à partir du modèle de Bohart et Adams

Modèle de Bohart et Adams					
Q (mL/min)	Z (cm)	Co (mg/L)	$K_{BA} (L/min.mg) \times 10^{-4}$	$N_0 (mg/mL) \times 10^{-4}$	R ²
2	16	5	10,2	79	0,97
3	16	5	12,8	62	0,95
4	16	5	14,6	59	0,91
2	16	3	7,3	88,1	0,91
2	16	5	5,4	131,8	0,96
2	16	8	3,6	185,3	0,93
2	8	3	6	107,2	0,95
2	16	3	5,3	108,1	0,93
2	24	3	2,7	159,9	0,92

Tableau 3. Paramètres obtenus à partir du modèle de Thomas

Modèle de Thomas					
F (mL/min)	Co (mg/L)	Z (cm)	$K_{Th} (L/min.mg) \times 10^{-4}$	$q_0 (mg/g)$	R ²
2	5	16	13,4	0,07	0,92
3	5	16	19	0,06	0,93
4	5	16	20,4	0,05	0,96
2	3	16	8,7	0,08	0,95
2	5	16	7,4	0,11	0,97
2	8	16	7,1	0,13	0,94
2	3	8	9	0,08	0,91
2	3	16	7,7	0,09	0,96
2	3	24	3	0,15	0,92

Tableau 4. Paramètres obtenus à partir du modèle de Yoon et Nelson

Modèle de Yoon et Nelson					
Q (mL/min)	Co (mg/L)	Z (cm)	$K_{YN} (min^{-1}) \times 10^{-4}$	$\tau (min)$	R ²
2	5	16	67	683,2	0,92
3	5	16	95	410,9	0,93
4	5	16	102	257,9	0,96
2	3	16	26	1334,3	0,95
2	5	16	37	1100,3	0,97
2	8	16	57	790,1	0,94
2	3	8	28	1063,9	0,92
2	3	16	23	1405,4	0,96
2	3	24	9	3822,4	0,90

D'après le tableau 1, la capacité d'adsorption dynamique (N_0) augmente quand la concentration de l'effluent et la hauteur du lit augmentent et diminue avec l'augmentation du débit. Les valeurs du coefficient de détermination obtenues sont comprises entre 0,91

et 0,97. Ces résultats montrent que le modèle de Bohart et Adams décrit les courbes de percée obtenues et soutiennent l'applicabilité de ce modèle pour l'adsorption dynamique de la safranine [19]. Ces mêmes observations ont été faites lors d'une étude d'élimination de colorants binaires des effluents textiles [20].

En ce qui concerne les résultats présentés dans le tableau 2, pour une augmentation de la hauteur du lit, la constante de vitesse du modèle de Thomas (K_{TH}) diminue et la capacité d'adsorption (q_0) augmente. L'augmentation de la concentration initiale entraîne une augmentation de la capacité d'adsorption et une diminution de la constante de vitesse. Lorsque le débit passe de 2 à 4 mL/min, la constante de vitesse augmente de $13,4 \times 10^{-4}$ à $20,4 \times 10^{-4}$ L/min.mg et la capacité d'adsorption (q_0) diminue de 0,07 à 0,05 mg/g. Les valeurs du coefficient de détermination obtenues se situent entre 0,91 et 0,97. Ces résultats montrent que le modèle de Thomas est représentatif du système. Des résultats similaires ont été obtenus lors de l'adsorption dynamique du bleu de méthylène [21].

D'après les résultats du tableau 3, la constante de Yoon et Nelson (K_{YN}) augmente avec l'augmentation du débit et de la concentration initiale et diminue avec la hauteur du lit. Par contre, les valeurs de τ (temps pour une percée de 50 %) diminuent avec la diminution du débit et de la concentration initiale et augmentent avec l'augmentation de la hauteur du lit. Les valeurs du coefficient de détermination obtenues sont entre 0,90 et 0,97. Au vu de ces résultats, le modèle de Yoon et Nelson convient pour représenter le processus d'adsorption dynamique de la safranine sur les billes d'argile. Des études menées par Franco *et al.* [22] sur l'élimination par adsorption continue d'un colorant cationique ont abouti à la même conclusion.

4 CONCLUSION

Les résultats expérimentaux ont montré que l'élimination en mode dynamique de la safranine sur des billes d'argile est influencée par les paramètres opératoires. En effet, les temps de percée et de saturation diminuent avec l'augmentation du débit d'alimentation et de la concentration initiale du polluant et augmentent avec l'augmentation de la hauteur du lit adsorbant.

La modélisation des courbes de percée par trois modèles d'adsorption en mode dynamique a permis de montrer que ces modèles peuvent décrire l'adsorption dynamique de la safranine.

REFERENCES

- [1] Kaur S., Rani S., Mahajan R. K., Asif M. & Gupta V. K., Synthesis and adsorption properties of mesoporous material for the removal of dye safranin: kinetics, equilibrium, and thermodynamics, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 22, pp. 19-27, 2015.
- [2] Almeida E. J. R. & Corso C. R., Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*, *Chemosphere*, 112, pp. 317-322, 2014.
- [3] Roy C., Dutta A., Mahapatra M., Karmakar M., Roy J. S. D., Mitra M., Chattopadhyay P. K. & Singha N. R., Collagenic waste and rubber based resin-cured biocomposite adsorbent for high-performance removal (s) of Hg (II), safranin, and brilliant cresyl blue: A cost-friendly waste management approach, *Journal of Hazardous Materials*, 369, pp. 199-213, 2019.
- [4] Chowdhury S., Mishra R., Kushwaha P. & Saha P., Removal of safranin from aqueous solutions by NaOH-treated rice husk: thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption, *Journal of Chemistry and Engineering*, 7, pp. 236-249, 2012.
- [5] Koné B., Cissé G., Houenou P. V., Obrist B., Wyss K., Odermatt P. & Tanner M., Vulnérabilité et résilience des populations riveraines liées à la pollution des eaux lagunaires de la métropole d'Abidjan, Côte d'Ivoire, *Vertigo- Revue électronique en sciences de l'environnement*. <http://journals.openedition.org/vertigo/1828> (12 décembre, 2006).
- [6] Sangaré D., Impact du rejet des eaux usées industrielles sur l'environnement à Abidjan, Mémoire de DEA, Université Abobo-Adjamé, Abidjan, 72 p, 2009.
- [7] Dalogo K. A. P., Pollution du District d'Abidjan par les effluents de teinture artisanale: caractérisation et décontamination des eaux contenant les colorants par des procédés d'adsorption et d'oxydation avancée, Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA (Abidjan, Côte d'Ivoire), 190 p, 2015.
- [8] Mainya N. O., Tum P. & Muthoka T. M., Photodegradation and adsorption of methyl orange and methylene blue dyes on TiO₂, *International Journal Science and Research*, 4, pp. 3185-3189, 2013.
- [9] Sejie F. P. & Nadiye-Tabbiruka, M. S., Removal of methyl orange (MO) from water by adsorption onto modified local clay (kaolinite), *Physical Chemistry*, 6, pp. 39-48, 2016.
- [10] Carmen Z. & Daniela S., Textile organic dyes e characteristics, polluting effects and separation/elimination procedures from industrial effluents e a critical overview, In: Puzyn, T. (Ed.), *Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention e Environmental and Analytical Update*, pp. 55-86, 2012.
- [11] Balapure K., Bhatt N. & Madamwar D., Mineralization of reactive azo dyes present in simulated textile wastewater using down flow microaerophilic fixed film bioreactor, *Bioresource Technology*, 175, pp. 1-7, 2015.
- [12] Rawat D., Mishra V. & Sharma R. S., Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes, *Chemosphere*, 155, pp. 591-605, 2016.

- [13] Shaban M., Abukhadra M. R., Mohamed A. S., Shahien M. G. & Ibrahim S. S., Synthesis of mesoporous graphite functionalized by nitrogen for efficient removal of safranin dye utilizing rice husk ash; equilibrium studies and response surface optimization, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 28, pp. 279-294, 2018.
- [14] Abukhadra M. R., Adlii A., El-Sherbeeney A. M., Soliman A. T. A. & Abd Elatty E., Promoting the decontamination of different types of water pollutants (Cd²⁺, safranin dye, and phosphate) using a novel structure of exfoliated bentonite admixed with cellulose nanofiber, *Journal of Environmental. Management*, 273, pp. 111-130, 2020.
- [15] Chossat J. C., La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols: choix des méthodes, Ed. Tec & Doc, Londres, Paris, New York, 720 p, 2005.
- [16] Zahaf F., Etude Structurale des argiles modifiées Appliquées à l'adsorption des polluants, Thèse de Doctorat, Université Mustapha Stambouli de Mascara, Mascara, 243 p, 2017.
- [17] A. Qlihaa, S. Dhimni*, F. Melrhaka, N. Hajjaji, A. Srhiri, Caractérisation physico-chimique d'une argile Marocaine, *J. Mater. Environ. Sci.*, 7 (5), pp. 1741-1750, 2016.
- [18] Miloudi W. A., Etude de l'adsorption de colorants textiles (le bleu et le rouge Bezathren) par des bentonites actives, Mémoire de Master, Université abou-bekr belkaid, Tlemcen, 41 p, 2019.
- [19] Tamilselvi S. & Asaithambi M., Column mode adsorption studies of acid dye using a novel adsorbent, *Rasayan Journal of Chemistry*, 8, pp. 84-91, 2015.
- [20] Jayalakshmi R. & Jeyanthi J., Dynamic modelling of Alginate-Cobalt ferrite nanocomposite for removal of binary dyes from textile effluent, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, pp. 104-924, 2020.
- [21] Djelloul C. & Hamdaoui O., Dynamic adsorption of methylene blue by melon peel in fixed-bed columns, *Desalination and water treatment*, 56, pp. 2966-2975, 2015.
- [22] Franco D. S., Tanabe E. H. & Dotto G. L., Continuous adsorption of a cationic dye on surface modified rice husk: statistical optimization and dynamic models, *Chemical Engineering Communications*, 204, pp. 625-634, 2017.