

ÉLIMINATION D'UN COLORANT DE TEXTILE SUR DES ADSORBANTS ISSUS DE DÉCHETS AGRICOLES

Ahou Florentine KOKORA^{1*}, Leonce David KOUADIO²,
Donafologo Baba SORO¹, Kossonou Roland N'GUETTIA³,
Ardjouma DEMBELE³ et Karim Sory TRAORE¹

¹Laboratoire des Sciences de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua,
02 BP 802 Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences de l'Environnement, Université Jean Lorougnon
Guédé, 12 BP V 25 Daloa 12 Daloa, Côte d'Ivoire

³Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA)
Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE), 04 BP 612
Abidjan, Côte d'Ivoire

*Correspondance, e-mail : kokoraaflorentine@gmail.com

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de montrer des techniques de valorisation des déchets agricoles dans le domaine du traitement des eaux usées contenant les colorants. Des déchets de coques de cacao, de café et de pelures de banane ont été utilisés pour des tests d'adsorption du colorant jaune. Des paramètres physiques et chimiques ont été déterminés. Les taux d'humidité et de matières sèches sont respectivement environ 10 % et 90 %. Par contre les valeurs des taux de gonflement sont relativement élevées pour les coques de cacao et de banane comparativement aux coques de café dans les conditions de travail. L'analyse élémentaire a montré que ces déchets agricoles sont composés majoritairement de carbone (15 à 17 %), de calcium (15 à 25 %) et d'oxygène (52 à 57 %). Les groupements fonctionnels acides carboxyliques sont les plus prédominants à leur surface. Avant d'être utilisé au cours des tests d'adsorption de l'acide Yellow 11, les biosorbants ont été subi une activation thermique et chimique. Les tests d'adsorptions réalisées avec les coques activés thermiquement ont montré une phase forte d'élimination du colorant sur les coques brutes de café. Par contre, ceux effectués avec les coques de cacao et de pelures de bananes, ont montré une phase d'adsorption suivie d'une désorption. Par activation chimique, en milieu acide (H₂SO₄) ou en milieu basique (NaOH), les tests d'adsorption ont montré une plus grande efficacité d'élimination du colorant.

Mots-clés : *adsorption de colorant, déchets agricoles, NaOH, H₂SO₄.*

ABSTRACT

Elimination of a textile dye on adsorbents from agricultural waste

The aim is to show techniques for recovering agricultural waste in the field of wastewater treatment containing dyes. Cocoa shell, coffee and banana peel waste were used for adsorption tests of the yellow dye. Physical and chemical parameters were determined. Humidity and dry matter contents are approximately 10 % and 90 % respectively. On the other hand, swelling rate values are relatively high for cocoa and banana shells compared to coffee shells in working conditions. Elemental analysis has shown that these agricultural wastes consist mainly of carbon (15 to 17 %), calcium (15 to 25 %) and oxygen (52 to 57 %). The carboxylic acid functional groups are the most predominant on their surface. Before being used in Yellow 11 acid adsorption tests, the biosorbents have been thermally and chemically activated. The adsorptions tests carried out with the thermally activated shells showed a strong phase of elimination of the dye on the raw shells of coffee. On the other hand, those made with cocoa husks and banana peels, showed an adsorption phase followed by desorption. By chemical activation, in acidic medium (H_2SO_4) or in basic medium (NaOH), the adsorption tests showed a greater efficiency of elimination of the dye.

Keywords : *adsorption of dye, agricultural waste, NaOH, H_2SO_4 .*

I - INTRODUCTION

Les colorants sont des composés organiques utilisés dans de nombreuses industries : papeteries, cosmétiques, agroalimentaires, textiles, produits pharmaceutiques, ainsi que dans des diagnostics médicales [1]. Les eaux usées textiles sont un mélange de colorants, de composés organiques, de métaux lourds, de solides dissous totaux, de surfactants, de sels, de composés chlorés, de demande chimique en oxygène (DCO) et de demande biologique en oxygène (DBO) [2, 3]. Leur élimination représente un des principaux problèmes dans le processus de traitement des rejets liquides. Plusieurs colorants ne sont pas biodégradables car ces composés sont très toxiques pour certains microorganismes [4 - 6]. De multiples procédés abiotiques contribuent à l'élimination de ces substances organiques dans les rejets liquides industriels [7]. Parmi les différentes techniques disponibles, l'adsorption est la plus largement employée pour l'élimination des colorants des eaux usées en raison de la souplesse de fonctionnement et de l'absence de génération de sous-produits dangereux [8]. L'adsorption est donc l'un des procédés de traitement les plus efficaces de traitement des eaux usées [9] en plus d'être une méthode simple et peu coûteuse [10]. Dans l'adsorption, le charbon actif est l'adsorbant le plus utilisé à cause de sa grande surface spécifique, de sa structure microporeuse, de

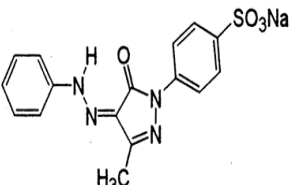
sa bonne réactivité de surface et de sa capacité d'adsorption qui peut être améliorée [11]. Parmi toutes les techniques d'adsorption, la biosorption semble présenter un grand intérêt. Actuellement, une multitude d'adsorbants de nature diverse ont été proposés pour l'élimination de colorants dans les eaux usées [12]. En général, le coût de l'adsorbant est l'une des principales contributions à l'impact économique global du procédé et, pour cette raison, la recherche est directement orientée vers des adsorbants à faible coût. Dans ce scénario, les déchets agricoles locaux peuvent être utilisés en tant que adsorbants pour l'élimination des colorants textiles. Les biosorbants à base de déchets agricoles ont été choisis comme matière première pour la synthèse d'adsorbants dans le présent travail grâce à sa disponibilité répandue dans la nature [13]. Par conséquent, l'adsorption par déchets agricoles utilisés pour l'élimination de différents polluants s'est avérée efficace pour éliminer de nombreux types de polluants tels que les métaux lourds [14, 15], la (DCO) [16, 17], le phénol [18], les gaz [19] et colorants [20]. Ces biosorbants tels que les pelures de mandarine [21], des fibres de noix de coco vertes [22], la coque d'arachide [23] et de la tourbe [24] pour l'élimination des colorants [26, 27]. Notre étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets agricoles locaux pour l'élimination du colorant jaune Yellow 11.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Produits chimiques

Tous les produits chimiques utilisés sont de qualité et de pureté supérieure à 95 %. Le Jaune direct 11 a été fourni par Sigma-Aldrich (Steinheim, Allemagne). L'hydroxyde de sodium et l'acide sulfurique ont été obtenus Carlo Erba (Gliwice, Pologne). Le **Tableau 1** présente les caractéristiques physiques et chimiques de l'acide direct yellow 11.

Tableau 1 : *Caractéristiques physiques et chimiques de l'acide Direct Yellow 11*

Numéro de CAS	Formule moléculaire	Structure chimique	Absorbance UV	Solubilité dans l'eau
6359-82-6	C ₁₆ H ₁₃ N ₄ NaO ₄ S		465nm	0,5 g / mL

II-2. Préparation des biosorbants

Les biosorbants natifs proviennent de déchets agricoles de coques de cacao, de coques de café et de pelures de bananes. Les différents échantillons ont été séchés à l'étuve à 50° C jusqu'à l'obtention de masse constante. Ils ont été broyés séparément dans un broyeur de type *Romer Labs*, équipé de lames amovibles de 1, 4 et 10 mm. La poudre obtenue est tamisée à l'aide d'une tamiseuse électrique de marque *RETSCH-AS 200* pour obtenir des échantillons de différents diamètres. Ces biosorbants ont été prétraités pour être blanchis.

II-3. Activation des charbons

L'activation des charbons a été réalisée thermiquement et chimiquement. L'activation chimique a consisté à imprégner les biosorbants bruts dans une solution de d'hydroxyde de sodium (NaOH) de concentration ou de l'acide chlorhydrique (H₂SO₄) de concentration 1 mol/L chacune pendant 24 h. Ensuite, les biosorbants ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures puis carbonisés au four à 450 °C. Les charbons obtenus ont été rincés dans l'eau ultra pure pour enlever les résidus de base et d'acide. Quant à l'activation thermique, elle s'est déroulée au four à 450 °C pendant également 1 h.

II-4. Tests d'adsorption

Des tests d'adsorption ont été réalisés dans plusieurs réacteurs contenant des charbons activés thermiquement et chimiquement. 100 ml de solution de l'Acide Direct Yellow 11 ont été mis en présence de ces biosorbants pendant 3 heures. 3 ml de colorants ont été prélevés à des instants 0 ; 10 30 ; 50, 70, 90, 120, 135, 150, 160, 170 et 180 minutes pour être lus au spectrophotomètre (chaque temps de prélèvement correspond à un volume de 100 mL).

II-5. Techniques analytiques

Les taux d'humidité, de cendres, de matières sèches ont été obtenus à l'aide d'un four. Les teneurs en carbone (C), hydrogène (H), azote (N), soufre (S) et phosphore (P) exprimées en pourcentage de masse des biosorbants bruts ont été mesurées par microscopie électronique à balayage (MEB) de type FEG Supra 40 VP Zeiss, couplé à un détecteur de rayon-X (OXFORD Instruments) X-MAX SDD. Cet ensemble est relié à une plateforme de microanalyseur EDS (Inca Dry Cool, sans Azote liquide). Les compositions élémentaires quantitatives et qualitatives des supports ont été confirmées par microanalyse X et les groupements fonctionnels par les tests de Boehm. Les absorbances ont été lu au spectrophotomètre visible (AQUA LYTIC 800).

II-6. Expression des cinétiques et taux d'adsorption

Les cinétiques d'adsorption du colorant ont été établies à l'aide du modèle de transfert de masse à la surface des biosorbants. Pour établir les équations de ce modèle, on a considéré comme un système de traitement instantané avec une concentration C_0 , un volume v et la masse m du solide. La relation entre la quantité adsorbée pendant le temps des expériences est donnée par la relation suivante (*Équation 1*)

$$q_t = \frac{v}{m} (C_0 - C_r) \quad (1)$$

q_t étant la quantité adsorbée, $\frac{v}{m}$ le coefficient de transfert, C_0 la concentration initiale de colorant, C_r Concentration de chaque colorant à l'instant t , m la masse du lit d'argile et v le volume de la solution (1L)

Les taux d'adsorption de colorants adsorbés ont été déterminés par la suivante (*Équation 2*).

$$\text{Taux d'adsorption (\%)} = \frac{(C_0 - C_r) \times 100}{C_0} \quad (2)$$

C_0 étant la concentration de chaque médicament à l'instant $t = 0$ et C_r la concentration résiduelle de chaque médicament à l'instant t .

III - RÉSULTATS

III-1. Humidité, matières sèches, cendres et matières volatiles des biosorbants brutes

L'humidité, la matière sèche, le taux de cendres et les matières volatiles des différents biosorbants sont illustrés sur le *Tableau 2*. Les résultats sont exprimés en pourcentage de masse. Les résultats ont montré que tous les biosorbants présentent des taux de matières sèches et de matières volatiles supérieures à 90 %. Tandis que les taux d'humidité et de cendres des biosorbants sont relativement plus faibles (environ 10 %) et presque identiques.

Tableau 2 : Taux d'humidité, de matières sèches de Cendres et de Matières volatiles des cabosses séchées de cacao

Biosorbants	Humidité	Matières sèches	Cendres	Matières volatiles
Cacao	9,53	90,47	7,2	92,8
Café	7,73	92,27	5,73	94,27
Banane	6,73	93,3	9,33	90,67

III-2. Gonflement et capacité de rétention en eau (CRE)

Les valeurs moyennes de gonflement sont représentées dans le *Tableau 3* en fonction des biosorbants. Ces valeurs ont été obtenues après trois essais. Nous avons remarqué que les biosorbants issus des coques de cacao et des pelures de banane présentent des taux de gonflement relativement supérieurs à ceux des coques de café. Quant à la capacité de rétention en eau (CRE) des biosorbants, les valeurs ont montré que les coques de cacao et les pelures de banane ont des teneurs en eau plus importantes par rapport aux coques de café.

Tableau 3 : Valeurs du gonflement en eau des biosorbants

Biosorbants bruts	Cacao	Café	Banane
Gonflement (g.g ⁻¹)	2,4	1,4	3,2
Capacité de rétention en eau (g.g ⁻¹)	3,7	0,87	7,7

III-3. Surfaces spécifiques des matériaux

Les valeurs des surfaces spécifiques des biosorbants bruts sont reportées dans le *Tableau 4*. Les surfaces spécifiques des biosorbants varient de 1 à 5 m²/g.

Tableau 4 : Surfaces spécifiques des biosorbants

Biosorbants bruts	Surfaces spécifiques (m ² /g)
Coques de Cacao	4,7
Coques de Café	5,06
Pelures de banane	1,81

III-4. Propriétés microscopiques de surface et texturales

Les images réalisées au microscope électronique à balayage des biosorbants bruts de coques de cacao, de coques de café et de pelures de banane sont illustrées sur les *Figures 1, 2 et 3*. Les images indiquent une morphologie distincte en fonction des différents biosorbants. Il apparaît que les biosorbants issues des coques de cacao et pelures de banane présentent moins de structures poreuses avec des diamètres plus réduits. Par contre, ces structures sont plus denses sur la surface des coques de café.

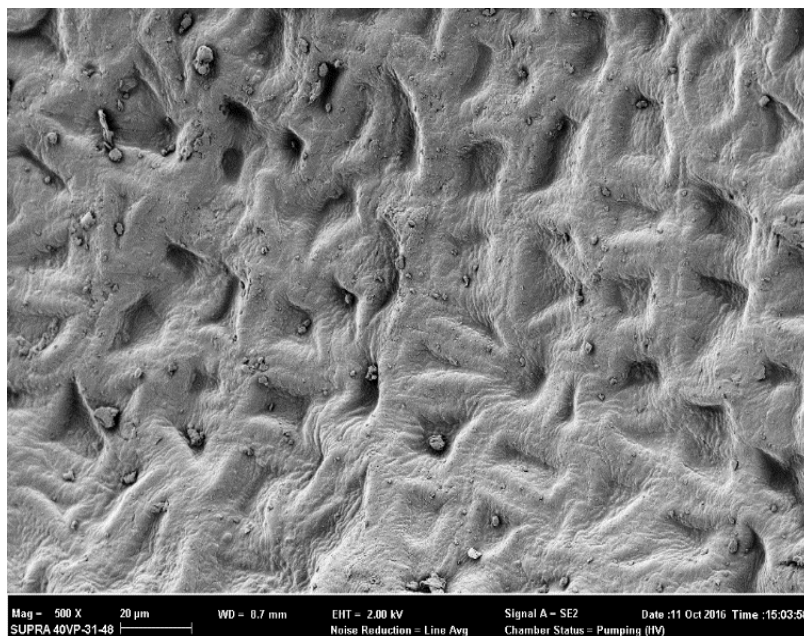


Figure 1 : Image des biosorbants issues des coques de cacao brutes au microscope électronique à balayage (500 x 20 µm x 8,7 mm)

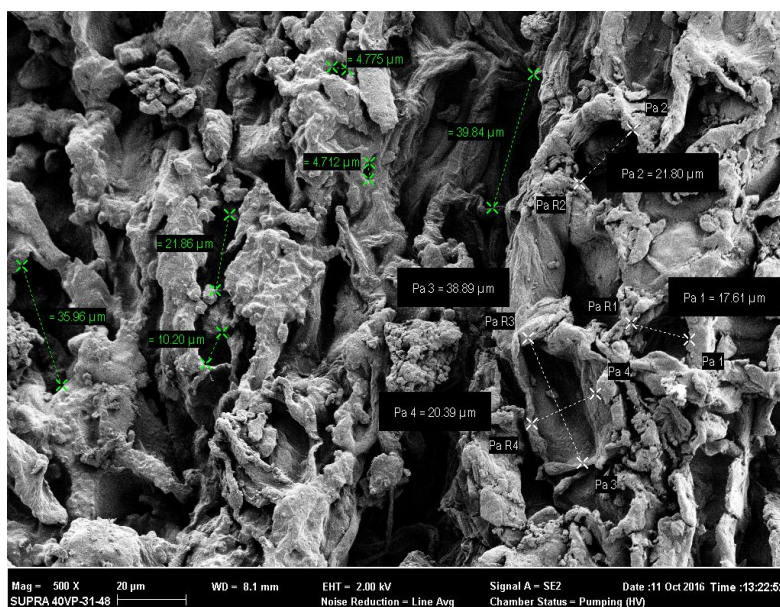


Figure 2 : Image des biosorbants des coques de café brutes au Microscope électronique à balayage (500 x 20 µm x 8,1 mm)

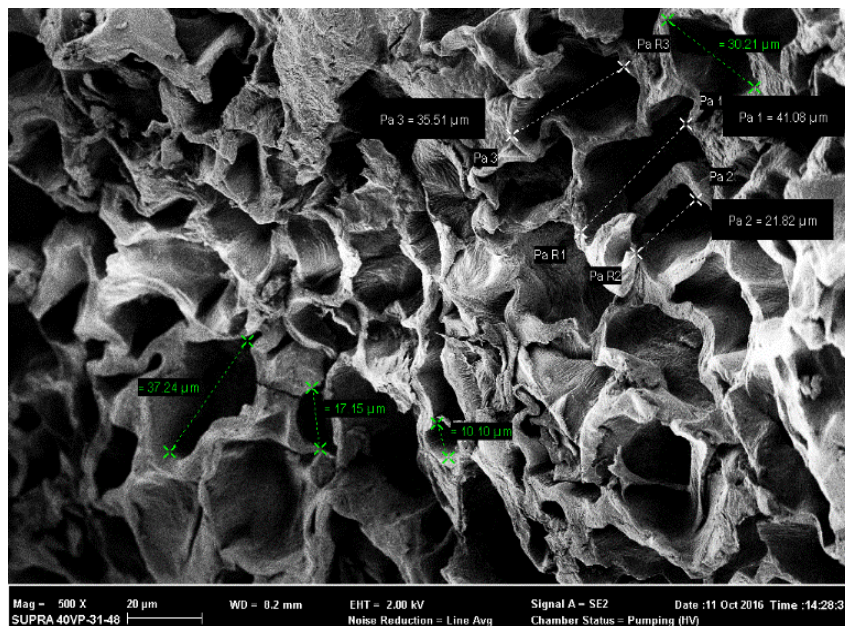


Figure 3 : Image des biosorbants de pelures de banane brutes brutes au Microscope électronique à balayage (500 x 20 µm x 8,2 mm)

III-5. Composition élémentaire des biosorbants bruts

Le **Tableau 5** illustre la composition élémentaire de chaque biosorbant brut de coques de cacao, de coques de café et de pelures de bananes. Ces données ont été obtenus à partir des cendres de chaque biosorbant au cours de l'analyse par spectrométrie à dispersion d'énergie R-X. Les proportions des atomes varient de 15 à 17 % pour les atomes de carbone, de 15 à 25 % pour les atomes de calcium et 52 à 57 % pour les atomes d'oxygène. On note une prédominance des atomes de carbone (C) et d'oxygène (O) et des atomes de calcium.

Tableau 5 : Composition élémentaires des charbons bruts

Charbons bruts	Composition élémentaire des charbons bruts (%)				
	Carbone	Magnesium	Soufre	Calcium	Oxygène
Coques de Cacao	15,39	0,92	0,05	21,05	52,69
Coques de Café	16,09	0,42	0,04	24,29	53,81
Pelures de banane	16,94	3,02	0,85	15,27	56,98

III-6. Groupements fonctionnels des biosorbants bruts

Les groupes chimiques présents sur la surface des différents charbons ont été déterminés par titrage de Boehm. Cette méthode fournit des informations

qualitatives et quantitatives concernant la quantité totale de groupes fonctionnels basiques et les quantités de groupes fonctionnels acides tels que carboxyliques, lactoniques et phénoliques. Le dosage des groupements fonctionnels des biosorbants par la méthode de Boehm a donné des teneurs qui sont réparties dans le **Tableau 6** pour chaque biosorbant brut. Les concentrations des groupements fonctionnels carboxyliques forts sont 1,14 mmol/g et celles des carboxyliques faible sont d'environ 1,05 mmol/g. Des groupements basiques uniquement dans les coques de cacao (1,14 mmol/g) et de café (1,03 mmol/g) sont observés à la surface des charbons.

Tableau 6 : Principaux groupements fonctionnels de surfaces des différents matériaux bruts

Biosorbants	Carboxyliques fortes (mmol/g)	Carboxyliques faibles et lactones (mmol/g)	Groupes basiques (mmol/g)
Coques de Cacao	1,17	1,03	1,14
Coques Café	1,14	1,07	1,03
Pelure de banane	1,14	1,02	00
Total	3,45	3,12	2,17

III-7. Tests d'adsorption des colorants par adsorption

III-7-1. Choix de la masse de charbon

Des tests d'adsorption ont été réalisés pour déterminer la masse optimum. Les expériences ont été effectuées avec les charbons issues des coques de café. Différentes masses de ce charbon exprimées en gramme (1, 2 et 5 g) ont été utilisées pour la réalisation des essais d'adsorption. Chacun des tests a duré 160 minutes, temps correspondant au temps d'équilibre. Le **Tableau 7** présente les taux d'adsorption obtenus en faisant varier la masse de charbon. Les taux d'adsorption sont 79,30 %, 93,20 % et 93,85% respectivement pour 1, 2 et 5 g de charbon de coque de café. Pour les tests d'adsorption, la masse de 2 g a été retenue.

Tableau 7 : Taux d'adsorption de colorant en fonction de la masse de charbons de café

Masse de biosorbant (g)	Taux adsorption (%)
1 g	79,30
2 g	93,20
5 g	93,85

III-7-2. Adsorption du colorant jaune sur les charbons activés

Pour effectuer les tests d'adsorption, les biosorbants ont été activés thermiquement (soit la calcination à 450 °C) et chimiquement (soit par imprégnation dans de l'acide sulfurique ou de l'hydroxyde de sodium). Les **Figures 4, 5 et 6** présentent les quantités maximales adsorbées sur les charbons issus de chaque biosorbant pour chaque type d'activation. Nous avons observé deux phases au cours des tests d'adsorption pour les charbons de coques cacao et de pelure de banane activés thermiquement. D'abord, une phase d'adsorption rapide du colorant sur les charbons de cacao et de pelures de banane. Cette phase d'adsorption est suivie d'une désorption du colorant sur les charbons de cacao et de pelures de banane. Par contre pour les charbons de coques de café, on note une forte élimination du colorant jusqu'à atteindre l'adsorption maximale qui correspond au palier. Les quantités de colorant éliminées sont de 20 mg/g. Les tests en milieu acide (H_2SO_4) ou basique (NaOH) ont montré une amélioration de la vitesse d'adsorption du colorant par comparaison à l'activation thermique pour toutes biosorbants. Les quantités maximales adsorbées sont de 21,27 mg/g en milieu acide (H_2SO_4) et 21,92 mg/g en milieu basique (NaOH) pour les coques de cacao. Pour ce concerne les charbons de pelures de banane activés chimiquement, nous avons obtenus 18,28 mg/g pour les charbons imprégnés dans du H_2SO_4 et 11,08 mg/g dans du NaOH. Les quantités maximales sont 21,36 mg/g et 22,73 mg/g respectivement pour les charbons de coques imprégnés dans du H_2SO_4 et en dans du NaOH pour le café. Dans ce cas, nous n'avons pas observé de désorption de colorants sur les différents charbons.

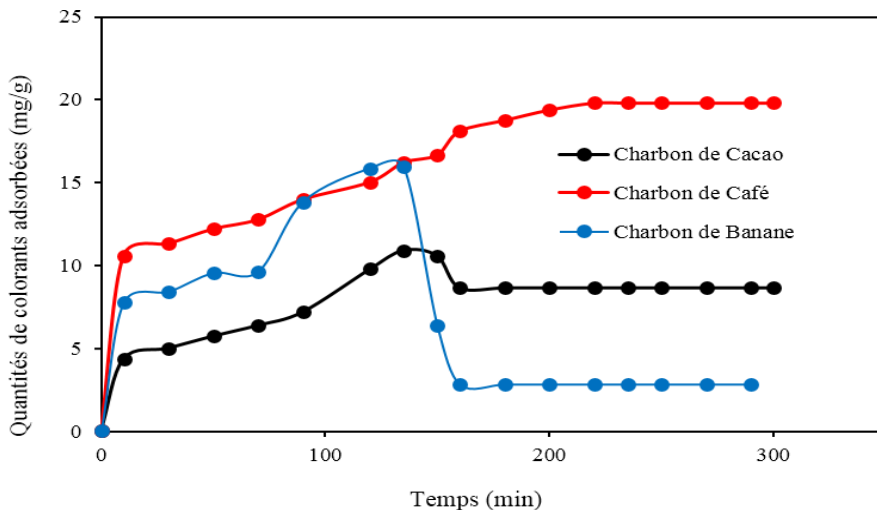


Figure 4 : Cinétiques d'adsorption du colorant jaune sur des charbons activés thermiquement

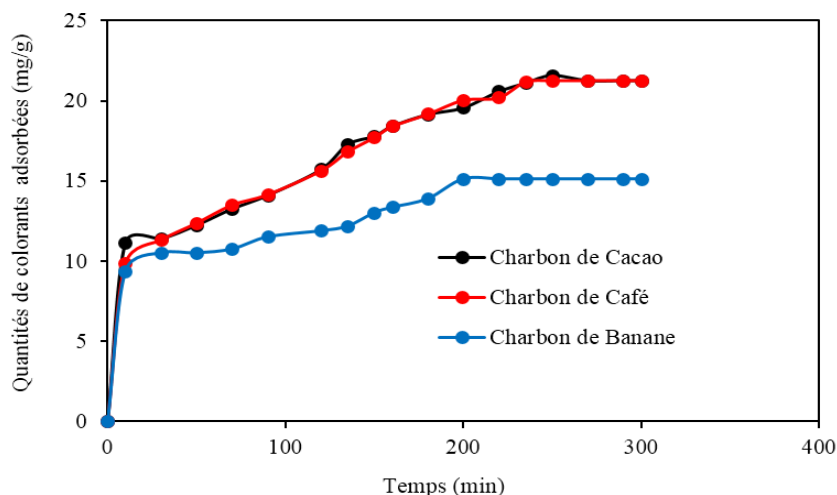


Figure 5 : *Cinétiques d'adsorption du colorant jaune sur des charbons activés dans de l'acide sulfurique*

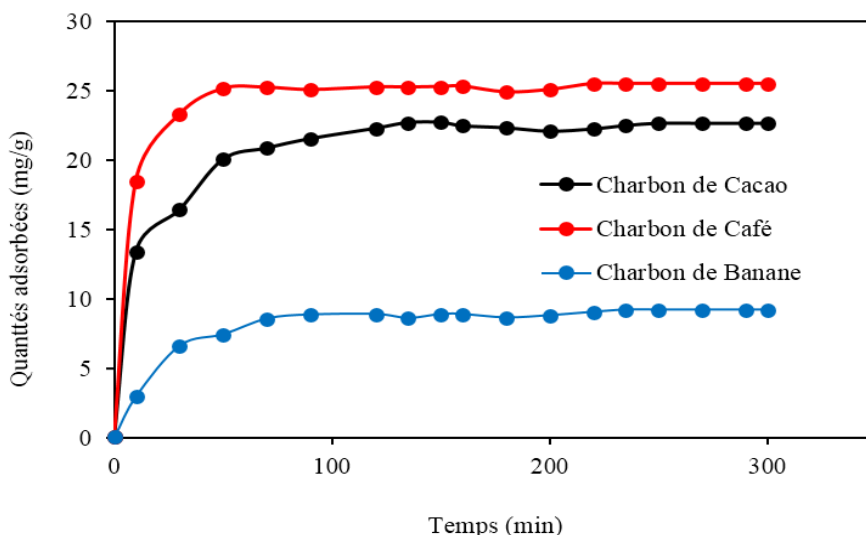


Figure 6 : *Cinétiques d'adsorption du colorant jaune sur des charbons activés dans de l'hydroxyde de sodium*

IV - DISCUSSION

Les taux de matières représentent environ 90 % et les taux de cendres 10 % de la masse de biosorbants calcinés. Ces valeurs montrent que ces biomatériaux pourraient permettre une bonne production de charbons actifs. Nos observations sont en cohérence avec ceux de [28, 29]. Ces auteurs ont utilisé

des écorces d'orange bruts utilisés comme charbon actif avec des taux de cendres et de matière sèche de 8 % et 92 %. En outre, [29] ont montré que de faible taux teneurs en cendres des déchets organiques est pas car elle réduit la résistance mécanique et par conséquent la capacité d'adsorption de colorants sur les charbons [30]. Au regard des valeurs élevées du gonflement pour les coques de cacao ou de pelures de bananes, ces résultats indiquent que ces matériaux contiennent une forte quantité d'eau. Cela serait synonyme de l'augmentation de leur surface spécifique en milieu aqueux. Mais cette augmentation de la surface spécifique pourrait aussi être un facteur limitant quant à leur capacité d'adsorption des colorants car elle causerait des effets de colmatage pour la granulométrie considérée dans cette étude ($1 \text{ mm} < \phi < 2 \text{ mm}$). Les coques de cacao et des pelures de banane ne seraient pas aptes à être utilisés comme adsorbats bruts pour les tests d'adsorption. Par contre, nous avons observé que les coques de café présentent des valeurs de gonflement relativement faibles.

Ces coques de café présenteraient une forte probabilité de meilleur adsorbat par rapport aux autres car ces faibles valeurs du gonflement indiquent que les effets de colmatage seraient évités au cours des tests d'adsorption [7, 24]. Les résultats de la composition chimique ont montré que ces matériaux agricoles ont presque la même composition élémentaire. Les atomes majoritaires sont le carbone, l'oxygène et de calcium. La présence principalement du carbone et de l'oxygène pourrait affecter la charge de surface et par conséquent leur capacité d'adsorption selon le pH des eaux comme l'ont montré les travaux de [31]. Les tests de Bohem ont indiqué une prédominance des groupements fonctionnels carboxyliques pour les différents biosorbants étudiés. Ces résultats sont en cohérence avec ceux [32] relatifs aux biosorbants de coques de café. Ces auteurs ont montré que la surface du café était composée de groupements carboxyliques 0,94 mmol/g et des bases 0,91 mmol/g, suivis par les phénoliques 0,16 mmol/g et lactoniques (0,12 mmol/g).

Quant à [33], ces auteurs ont trouvé que les groupes fonctionnels présents à la surface des biosorbants de café étaient principalement phénoliques (2,24 mmol/g) et lactoniques (1,05 mmol/g), carboxyliques (0,60 mmol/g) et des groupes basiques (0,49 mmol/g). Tous ces résultats indiquent clairement la différenciation de la chimie de surface des biosorbants. Cette différenciation pourrait être directement liée au traitement avant leur utilisation dans les procédés d'adsorption [34]. Pour le choix de la masse optimum, les résultats ont indiqué que le taux d'adsorption de colorant augmente en fonction de la masse de charbon jusqu'à atteindre l'équilibre. Ces résultats traduiraient un accroissement des pores en fonction de la masse de charbon comme l'ont montré également [35]. En effet, ces auteurs ont remarqué que les taux d'adsorption augmentent avec la masse de charbon. Cela révèle une grande disponibilité de sites disponibles sur des adsorbats. Mais au-delà d'une certaine

masse (dans notre étude, cette masse est 2 g), cette croissance semble ralentir. Ce ralentissement met en évidence la saturation des pores. Pour cela, les tests d'adsorption dans cette étude ont été réalisés avec des doses optimales de charbon qui est de 2 g. Les résultats qui précèdent ont révélé que certains biosorbants pourraient ne pas être efficaces au cours des tests d'adsorption. Palier à cette insuffisance, ces propriétés adsorbantes pourraient être améliorées par activation thermique ou chimiques. Au cours de l'activation thermique, l'allure des cinétiques d'adsorption a montré une très bonne adsorption du colorant sur les coques de café. Par contre avec les charbons de coques de cacao et de pelures de banane, nous avons observé deux phases : une phase de forte adsorption suivie d'une phase de désorption du colorant. Cette désorption pourrait être due à la forte saturation en colorant (peu de pores). En outre, les résultats ont indiqué que les surfaces spécifiques sont très faibles comme tous les biosorbants bruts en général.

Par exemple la surface des copeaux de bois ou le zeste d'orange et même des feuilles de bambou, varient dans une gamme de 3,41 à 25,97 m²/g [27]. En outre, la faible adsorption pourrait être due aux interactions solvant-biosorbant. Les travaux de [29] ont montré que l'eau n'est pas forcément un bon solvant qui favoriserait une meilleure adsorption de certains colorants comme le bleu de méthylène sur certains matériaux. Cette faible adsorption pourrait s'expliquer également par la présence de résidus de carbonisation présents dans les pores. En effet, au cours de la carbonisation, une décomposition pyrolytique du précurseur se produit avec l'élimination simultanée de nombreuses espèces élémentaires non carbonées (H, N, O et S) [36]. Les substances volatiles de faible poids moléculaire sont d'abord libérées, suivies par les composés aromatiques légers et enfin, l'hydrogène gazeux [37], le produit résultant étant un solide carboné fixe. Les pores formés lors de la carbonisation sont remplis de résidus de pyrolyse goudronneuse et nécessitent une activation pour les développer [38].

Pour éliminer ces résidus goudronneux dans les pores, le traitement acide ou alcalin est considéré comme l'une des techniques largement utilisées. Au cours de l'activation chimique en milieu acide ou basique, les résultats ont montré une augmentation de l'efficacité de l'adsorption principalement sur les charbons de cacao, de café et de pelure de banane. Cette amélioration de l'adsorption a été favorisée grâce à un développement des pores des différents charbons. Nos résultats sont en cohérence avec ceux de [39, 40]. En effet, [39] ont étudié l'adsorption du rémazol dans des conditions acides et basiques. Les résultats ont indiqué que l'activation de charbons avec du NaOH (1 N) a permis une augmentation du taux d'adsorption du colorant de l'adsorbant d'environ 80 %. Quant à [40], ces auteurs ont étudié l'utilisation de charbons traitées par du H₂SO₄ pour l'élimination du bleu de méthylène d'une solution aqueuse. Leurs résultats ont montré que le traitement des charbons au H₂SO₄ augmente la surface spécifique et le volume des pores, tout en diminuant le diamètre moyen des pores.

V - CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer des techniques de valorisation des déchets que sont les coques de cacao, de café et de pelures de banane pour la dépollution des eaux usées. Ces déchets agricoles sont d'excellentes matières premières dans la production de charbons actifs. Cependant certains paramètres tels que les valeurs de gonflement et de rétention en eau sont une limite dans nos conditions d'étude en ce qui concerne les coques de cacao et pelures de banane. Cette restriction pourrait être évitée en activant chimiquement ou thermiquement les charbons issus de ces matériaux biologiques. Les tests d'adsorption des charbons activés thermique ont montré une faible adsorption des charbons issus des coques de cacao et pelures de banane. Par contre pour les charbons issus de coque de café, une forte décoloration des eaux a été observée. En activant les charbons chimiquement (milieu acide ou basique), les résultats ont révélé ont une grande efficacité de l'adsorption du colorant. Les déchets issus des milieux agricoles pourraient être valorisés en les utilisant pour le traitement des eaux usées de textiles.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Laboratoire National et d'Appui au Développement Agricole pour leur contribution technique à la réalisation de ces travaux.

RÉFÉRENCES

- [1] - G. ANNADURAI, R.-S. JUANG, and D.-J. LEE, *J. Hazard. Mater.*, 92 (3) (2002) 263 - 274
- [2] - C. DJILANI, R. ZAGHDOUDI, A. MODARRESSI, M. ROGALSKI, F. DJAZI and A. LALLAM, *Chem. Eng. J.*, 189, (2012) 203 - 212
- [3] - R. BACCAR, J. BOUZID, M. FEKI and A. MONTIEL, *J. Hazard. Mater.*, 162 (2-3) (209) 1522 - 1529
- [4] - R. A. DAMODAR, K. JAGANNATHAN and T. SWAMINATHAN, *Sol. Energy*, 81 (1) (2007) 1 - 7
- [5] - L. FERRANDO-CLIMENT, S. RODRIGUEZ-MOZAZ and D. BARCELO, *Environ. Pollut.*, (193) (2014) 216 - 223
- [6] - F. ORIAS and Y. PERRODIN, *Actual. Chim.*, 381 (2014) 18 - 24
- [7] - M. M. AYAD and A. A. EL-NASR, *J. Phys. Chem. C*, 114 (34) (2010) 14377 - 14383
- [8] - Y. ZHOU, L. ZHANG and Z. CHENG, *J. Mol. Liq.*, 212 (2015) 739 - 762
- [9] - M. T. YAGUB, T. K. SEN, S. AFROZE and H. M. ANG, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 209 (2014) 172 - 184
- [10] - N. F CARDOSO, E. C LIMA and I. S PINTO, *J. Environ. Manage.*, 92 (4) (2011) 1237 - 1247

- [11] - C. A. P. ALMEIDA, A. DOS SANTOS, S. JAERGER, N. A. DEBACHER and N. P. HANKINS, *Desalination*, 264 (3) (2010) 181 - 187
- [12] - V. K. Gupta, *J. Environ. Manage.*, 90 (8) (2009) 2313 - 2342
- [13] - A. BHATNAGAR, M. SILLANPÄÄ and A. WITEK-KROWIAK, *Chem. Eng. J.*, 270 (2015) 244 - 271
- [14] - M. KHALFAOUI, S. KNANI, M. A. HACHICHA AND A. B. LAMINE, *J. Colloid Interface Sci.*, 263 (2) (2003) 350 - 356
- [15] - J. ANWAR, U. SHAFIQUE, M. SALMAN A. DAR and S. ANWAR, *Bioresour. Technol.*, (101), (6) (2010) 1752 - 1755
- [16] - F. GRITTI and G. GUIOCHON, *J. Chromatogr. A*, 1217 (35) (2010) 5584 - 5594
- [17] - M. KHALFAOUI, M. H. V. BAOUAB, R. GAUTHIER and A. B. LAMINE, *J. Colloid Interface Sci.*, 296 (2) (2006) 419 - 427
- [18] - J. PALOMAR, J. LEMUS, M. A. GILARRANZ and J. J. RODRIGUEZ, *Carbon*, 47 (7) (2009) 1846 - 1856
- [19] - M. AL BAHRI, L. CALVO, J. LEMUS, M. A. GILARRANZ, J. PALOMAR and J. J. RODRIGUEZ, *Chem. Eng. J.*, 198 (2012) 346 - 354
- [20] - G. SCHÜRER and W. PEUKERT, *Adsorption*, 11 (1) (2005) 43 - 47
- [21] - F. A. PAVAN, Y. GUSHIKEM, A. C. MAZZOCATO, S. L. Dias and E. C. LIMA, *Dyes Pigments*, 72 (2) (2007) 256 - 266
- [22] - R. O CRISTOVÃO, A. P. M. TAVARES and A. I. BRIGIDA, *J. Mol. Catal. B Enzym.*, 72 (1-2) (2011) 6 - 12
- [23] - R. GONG, M. LI, C. YANG, Y. SUN and J. CHEN, *J. Hazard. Mater.*, 121 (1-3) (2005) 247 - 250
- [24] - S. J. ALLEN, G. MCKAY and J. F. Porter, *J. Colloid Interface Sci.*, 280 (2) (2004) 322 - 333
- [25] - Z. ABDEEN and S. G. MOHAMMAD, *Open J. Org. Polym. Mater.*, 4 (1) (2013) 16 -20
- [26] - S. M. YAKOUT and A. A. M. DAIFULLAH, *Desalination Water Treat.*, 51 (34 - 36) (2013) 6711 - 6718
- [27] - B. CHEN, M. YUAN and H. LIU, *J. Hazard. Mater.*, 188 (1-3) (2011) 436 - 442
- [28] - M. A. M. SALLEH, D. K. MAHMOUD, W. A. W. A. KARIM and A. IDRIS, *Desalination*, 280 (1-3) (2011) 1 - 13
- [29] - A. F. HASSAN and H. ELHADIDY, *J. Environ. Chem. Eng.*, 5 (1) (2017) 955-963, [30] - C. MORENO-CASTILLA, F. CARRASCO-MARIN, M. V. LOPEZ-RAMON and M. A. ALVAREZ-MERINO, *Carbon*, 39 (9) (2011) 1415 - 1420
- [30] - E. K. PUTRA, R. PRANOWO, J. SUNARSO, N. INDRASWATI and S. ISMADJI, *Water Res.*, 43 (9) (2009) 2419 - 2430
- [31] - G. Z. KYZAS, N. K. LAZARIDIS and A. C. MITROPOULOS, *Chem. Eng. J.*, 189 (2012) 148 - 159
- [32] - L. S. OLIVEIRA, A. S. FRANCA, T. M. ALVES and S. D. ROCHA, *J. Hazard. Mater.*, 155 (3) (2008) 507 - 512
- [33] - I. ANASTOPOULOS, M. KARAMESOUTI, A. C. MITROPOULOS and G. Z. KYZAS, *J. Mol. Liq.*, 229 (2017) 555 - 565
- [34] - K. BELAID and S. KACHA, *Rev. Sci. L'eau Journal Water Sci.*, 24 (2) (2011) 131 - 144

- [35] - E. FITZER, K. MUELLER and W. SCHAEFER, *Chem. Phys. Carbon*, 7 (1971) 237 - 383
- [36] - D. HUCKNALL, "Chemistry of hydrocarbon combustion". Springer Science & Business Media, (2012) 415 p.
- [37] - I. C. LEWIS, *Carbon*, 20, (6) (1982) 519 - 529
- [38] - P. SATHISHKUMAR, M. ARULKUMAR and T. PALVANNAN, *J. Clean. Prod.*, 22 (1) (2012) 67 - 75
- [39] - J. X. LIN, S. L. ZHAN, M. H. FANG, X. Q. QIAN and H. YANG, *J. Environ. Manage.*, 87 (1) (2008) 193 - 200