

**INFLUENCE DE LA MASSE DE L'ADSORBANT, DU TEMPS DE CONTACT ET DE LA CONCENTRATION INITIALE DE LA SOLUTION METALLIQUE AU COURS DE L'ADSORPTION DES IONS  $\text{Cu}^{2+}$  ET  $\text{Mn}^{2+}$  SUR LES CHARBONS ACTIFS D'ACACIA *AURICULAEFORMIS* ET D'ACACIA *MANGIUM*.**

**N'Da Arsène KOUADIO<sup>1</sup>, Grah Patrick ATHEBA<sup>2\*</sup>, Drissa Ouattara KRA<sup>2</sup> et Albert TROKOUREY<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire de Bioénergie, Centre National de Recherche Agronomie (CNRA), 08 BP 881 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Laboratoire de Chimie Physique, Université Felix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

---

\*Correspondance, e-mail : [grahpatrick.atheba@gmail.com](mailto:grahpatrick.atheba@gmail.com)

## **RÉSUMÉ**

L'étude a été réalisée en vue d'évaluer la capacité d'adsorption des ions  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$  par les charbons actifs d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium*. Il en résulte que les masses optimales de charbon actif d'*Acacia auriculaeformis* pour adsorber une quantité optimale d'ions  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$  sont de 1 et 2 g, respectivement. Concernant le charbon actif d'*Acacia mangium*, ces masses sont de 2 g pour  $\text{Cu}^{2+}$  et de 1 g pour  $\text{Mn}^{2+}$ . En outre, le taux d'adsorption des ions décroît quand la concentration initiale de la solution métallique croît. Enfin, dans l'intervalle de temps considéré, le taux d'adsorption des ions métalliques croît en fonction du temps de contact avec le charbon actif d'*Acacia*.

**Mots-clés :** *charbon actif, adsorption, dépollution, éléments traces métalliques, bois d'acacia.*

## **ABSTRACT**

**Influence of the mass of the adsorbent, the contact time and the initial concentration of the metal solution during the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  ions on activated carbons of *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium***

The study is carried out for the evaluation of the adsorption capacity of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  ions by the activated charcoals of *Acacia auriculae formis* and

*Acacia mangium*. As a result, the optimum masses of *Acacia auriculae formis* activated carbon necessary for the adsorption of an optimum amount of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  ions are 1 and 2 g, respectively. Concerning the activated carbon of *Acacia mangium*, these masses are 2 g for  $\text{Cu}^{2+}$  and 1 g for  $\text{Mn}^{2+}$ . In addition, the rate of ion adsorption decreases as the initial concentration of the metal solution increases. Finally, in the time interval considered, the rate of adsorption of the metal ions increases as a function of the contact time with the activated carbon of *Acacia*.

**Keywords :** *activated charcoal, adsorption, depollution, heavy metal, acacia wood.*

## I - INTRODUCTION

Les eaux souterraines des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) contiennent des éléments métalliques tels que le plomb, le cuivre, le manganèse et le zinc [1]. Le caractère non biodégradable de ces éléments fait d'eux des sources potentielles de danger. La pollution métallique des eaux qu'ils pourraient provoquer aurait pour conséquences des effets chroniques ou aigus sur l'organisme humain, par le biais de la chaîne alimentaire. Par ailleurs, les charbons actifs ont fait l'objet de travaux scientifiques en raison de leurs propriétés adsorbantes. Ils peuvent être répartis en trois groupes, tenant compte de l'origine du précurseur utilisé pour leur fabrication : minérale [2, 3], végétale [4 - 9] ou industrielle [10, 11]. Selon les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour la qualité de l'eau de boisson, la concentration limite de cuivre dans l'eau potable est de 2 mg / L ; celle du manganèse est de 0,4 mg / L [12].

Bien que le niveau des teneurs en éléments trace métalliques dans les eaux souterraines d'Abidjan ne soit pas alarmant, il convient, toutefois, de prendre des initiatives en vue d'anticiper sur les moyens de lutte contre le danger. Plusieurs études menées sur l'élimination des éléments traces métalliques ont montré l'efficacité des charbons actifs [13 - 15]. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude qui vise à éliminer des ions métalliques ( $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$ ) en solution aqueuse à l'aide de charbons actifs produits à partir de précurseurs disponibles en Côte d'Ivoire : *Acacia auriculae formis* et *Acacia mangium*. Les effets de la masse de l'adsorbant, du temps de contact et de la concentration initiale de la solution métallique sur la capacité d'adsorption des charbons actifs d'*Acacia* ont été déterminés.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II-1. Matériel

Le matériel végétal est constitué des charbons actifs issus de bois d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium* de la tranche d'âge de 8-9 ans. L'activation des charbons a été réalisée par la voie chimique à l'aide d'une solution (10 %) de  $H_3PO_4$  à  $800^\circ C$ , pendant 6 heures [16]. Les produits finaux sont désignés par CA<sub>a6/800</sub> pour le charbon actif d'*Acacia auriculaeformis* et CAM<sub>6/800</sub> pour celui d'*Acaciayangium*. Les solutions aqueuses de sulfate de cuivre penta hydraté ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) et de sulfate de manganèse mono hydraté ( $MnSO_4 \cdot H_2O$ ) ont été utilisées comme polluants métalliques au cours de l'étude. Un spectromètre d'absorption atomique à flamme de marque VARIAN a servi pour la détermination de la concentration métallique résiduelle des différentes solutions.

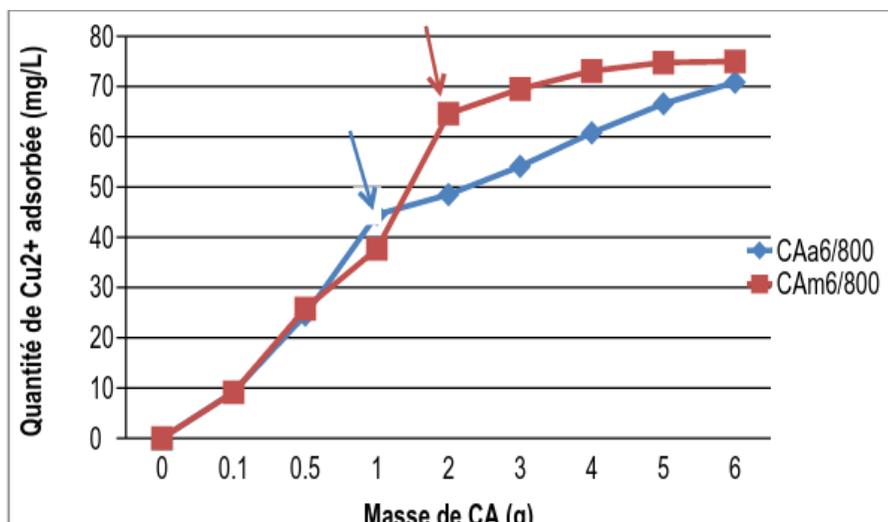
### II-2. Méthodes expérimentales

Pour la détermination de l'effet de la masse de l'adsorbant, différentes masses de charbon actif des deux espèces d'*Acacia* (0,1 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 g) sont mises en contact avec 50 mL de solution métallique de concentration 300 mg / L. Les solutions sont agitées à 500 tours par minute pendant 60 min et filtrées. La concentration résiduelle en cuivre ou en manganèse est déterminée par lecture directe (électronique) au spectromètre d'absorption atomique aux longueurs d'onde de 324,8 nm pour le cuivre et de 279,48 nm pour le manganèse. Pour connaître l'influence du temps de contact et de celle de la concentration initiale sur le processus d'adsorption, une masse de charbon actif est mise en contact avec 50 mL de solution métallique. Deux concentrations initiales de solution métalliques ont été utilisées : 300 et 800 mg / L. Pour chaque concentration initiale de solution métallique, la concentration résiduelle est déterminée, après agitation à 500 tours par minute pendant une heure, par lecture au spectromètre d'absorption atomique à différents temps : 10, 20, 30, 45, 60, 90 min.

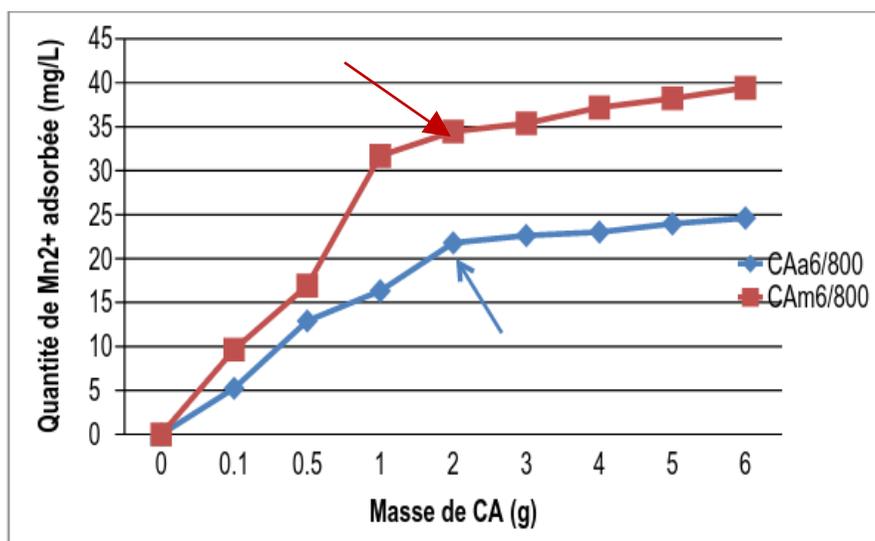
## III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

### III-1. Effet de la masse du charbon activé

L'objectif visé est de déterminer la masse optimale de charbon activé pour adsorber une quantité maximale d'ions  $Cu^{2+}$  et  $Mn^{2+}$  en solution. Les résultats obtenus sont illustrés par les *Figures 1 et 2*.



**Figure 1 :** Effet de la masse de CAa<sub>6/800</sub> et CAm<sub>6/800</sub> sur l'adsorption des ions Cu<sup>2+</sup>



**Figure 2 :** Effet de la masse de CAa<sub>6/800</sub> et CAm<sub>6/800</sub> sur l'adsorption des ions Mn<sup>2+</sup>

avec, CAa<sub>6/800</sub> : charbon d'Acacia auriculaeformis activé à 800°C pendant 6 heures ; CAm<sub>6/800</sub> : charbon d'Acacia mangium activé à 800°C pendant 6 heures.

L'observation de la **Figure 1** indique que la courbe représentative de l'adsorption des ions Cu<sup>2+</sup> connaît une montée rapide pour les masses de

charbon actif CAa<sub>6/800</sub> inférieures à 1 g. On observe une phase de croissance plus lente au-delà de cette masse. Le pourcentage d'adsorption passe de 30,65 % (0,5 g de CA) à 55,66 % (1 g de CA) puis 56,95 % (2 g de CA). Concernant l'adsorption des ions Cu<sup>2+</sup> sur CA<sub>m6/800</sub>, le palier est atteint avec la masse de 2 g de charbon actif. Le pourcentage d'adsorption des ions métalliques est, alors, de 64,6 % (37,68 % avec 1g de CA). La **Figure 2** permet de noter que pour le charbon activé CA<sub>m6/800</sub>, le palier est atteint avec une masse de 1 g (taux d'adsorption de 34,46 %). Au-delà de cette masse, le processus d'adsorption de Mn<sup>2+</sup> est ralenti. Pour le charbon actif CAa<sub>6/800</sub>, l'adsorption de Mn<sup>2+</sup>, rapide au début du processus, est ralentie pour les masses de l'adsorbant au-delà de 2 g. De ce qui précède, on peut retenir que les masses optimales de charbon actif CAa<sub>6/800</sub> nécessaires pour éliminer les quantités maximales d'ions Cu<sup>2+</sup> ou Mn<sup>2+</sup> en solution sont de 1 et 2 g, respectivement. Concernant CA<sub>m6/800</sub>, les masses optimales sont de 2 g pour l'élimination de Cu<sup>2+</sup> et de 1 g pour l'adsorption des ions Mn<sup>2+</sup>.

Au-delà de ces masses, on assiste à un ralentissement de l'adsorption qui pourrait être dû à la saturation progressive des pores. En outre, les résultats de l'étude suggèrent une adsorption préférentielle des ions Cu<sup>2+</sup> sur le charbon CAa<sub>6/800</sub> alors que le charbon CAa<sub>6/800</sub> semble mieux capter les ions Mn<sup>2+</sup>. Les résultats ci-dessus relatifs à l'augmentation du taux d'adsorption en fonction de la masse de l'adsorbant sont en accord avec ceux obtenus par [17, 18]. Selon ces auteurs, la rétention des cations (Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> et Zn<sup>2+</sup> dans leur cas) est influencée par la masse de charbon activé de coco. Cette relation de proportionnalité entre le taux d'adsorption et la masse de l'adsorbant pourrait s'expliquer par le fait que l'augmentation de la masse de charbon activé entraîne une augmentation des sites disponibles pour l'adsorption des ions métalliques. [18] précisent que leurs résultats sont en accord avec ceux obtenus par [19, 20]. Ces derniers auteurs sont arrivés aux mêmes conclusions à l'issue de l'extraction de métaux (Plomb, Nickel et Cadmium), présents dans les rejets industriels, par l'adsorption sur des sous-produits du cocotier et du théier, respectivement.

### **III-2. Effet de la concentration initiale en ions métalliques et du temps de contact sur la capacité d'adsorption des charbons actifs d'*Acacia***

L'étude vise à déterminer l'influence de la concentration initiale en ions Cu<sup>2+</sup> et en ions Mn<sup>2+</sup> (300 et 800 mg / L) et du temps de contact sur la capacité d'adsorption des charbons actifs d'*Acacia auriculaeformis* (CAa<sub>6/800</sub>) et d'*Acaci mangium* (CA<sub>m6/800</sub>). Les résultats sont présentés dans les **Tableaux 1, 2, 3 et 4**.

**Tableau 1 :** Effet de la concentration initiale de la solution métallique au cours de l'adsorption des ions  $\text{Cu}^{2+}$  par  $\text{CAa}_{6/800}$ 

Temps		0 min	10 min	20 min	30 min	60 min	90 min
Concentration							
$C_0 = 300 \text{ mg / L}$	$C_r \text{ Cu}^{2+} (\text{mg / L})$	52,75	43,69	34,56	22,60	16,60	14,49
	$Q_{\text{ads}} (\text{mg / L})$	0	9,06	18,19	30,15	36,15	38,26
	% $\text{Cu}^{2+}$ adsorbé	0	17,17	34,48	57,16	68,53	72,53
$C_0 = 800 \text{ mg / L}$	$C_r \text{ Cu}^{2+} (\text{mg / L})$	116,5	107,44	89,37	76,37	53,15	49,78
	$Q_{\text{ads}} (\text{mg / L})$	0	9,06	27,13	40,13	63,35	66,72
	% $\text{Cu}^{2+}$ adsorbé	0	7,78	23,29	34,45	54,38	57,27

**Tableau 2 :** Effet de la concentration initiale de la solution métallique au cours de l'adsorption des ions  $\text{Cu}^{2+}$  par  $\text{CAm}_{6/800}$ 

Temps		0 min	10 min	20 min	30 min	60 min	90 min
Concentration							
$C_0 = 300 \text{ mg / L}$	$C_r \text{ Cu}^{2+} (\text{mg / L})$	65,52	40,19	35,14	29,56	22,37	19,27
	$Q_{\text{ads}} (\text{mg / L})$	0	25,33	30,38	35,96	43,15	46,25
	% $\text{Cu}^{2+}$ adsorbé	0	38,66	46,37	54,88	65,86	70,59
$C_0 = 800 \text{ mg / L}$	$C_r \text{ Cu}^{2+} (\text{mg / L})$	206,95	171,12	164,23	147,95	139,61	132,31
	$Q_{\text{ads}} (\text{mg / L})$	0	35,83	42,72	59	67,34	74,64
	% $\text{Cu}^{2+}$ adsorbé	0	17,31	20,64	28,51	32,54	36,07

**Tableau 3 :** Effet de la concentration initiale de la solution métallique au cours de l'adsorption des ions  $\text{Mn}^{2+}$  sur le charbon actif  $\text{CAa}_{6/800}$ 

Temps		0 min	10 min	20 min	30 min	60 min	90 min
Concentration							
$C_0 = 300 \text{ mg / L}$	$C_r \text{ Mn}^{2+} (\text{mg / L})$	98,99	84,39	82,54	81,85	80,33	78,51
	$Q_{\text{ads}} (\text{mg/L})$	0	14,6	16,45	17,14	18,66	20,48
	% $\text{Mn}^{2+}$ adsorbé	0	14,75	16,62	17,31	18,85	20,69
$C_0 = 800 \text{ mg / L}$	$C_r \text{ Mn}^{2+} (\text{mg / L})$	255,21	243,78	241,66	241,44	235,38	231,11
	$Q_{\text{ads}} (\text{mg / L})$	0	11,43	13,55	13,77	19,83	24,21
	% $\text{Mn}^{2+}$ adsorbé	0	4,48	5,31	5,39	7,77	9,49

**Tableau 4 :** Effet de la concentration initiale de la solution métallique au cours de l'adsorption des ions  $Mn^{2+}$  sur le charbon actif  $CA_{m6/800}$ 

Concentration		Temps					
		0 min	10 min	20 min	30 min	60 min	90 min
$C_0 = 300$ mg / L	$C_r Mn^{2+}$ (mg / L)	101,61	75,13	67,13	65,19	63,83	60,61
	$Q_{ads}$ (mg / L)	0	26,48	34,48	36,42	37,78	41
	% $Mn^{2+}$ adsorbé	0	26,06	33,93	35,84	37,18	40,35
$C_0 = 800$ mg / L	$C_r Mn^{2+}$ (mg / L)	267,59	238,63	235,21	233,62	231,63	229,66
	$Q_{ads}$ (mg / L)	0	28,96	32,38	33,97	35,96	37,93
	% $Mn^{2+}$ adsorbé	0	10,82	12,10	12,69	13,43	14,17

Le **Tableau 1** relatif à l'adsorption des ions métalliques sur le charbon  $CA_{a6/800}$ , permet de dire que la quantité d'ions  $Cu^{2+}$  adsorbée ( $Q_{ads}$ ) croît en fonction du temps de contact pour atteindre 38,26 mg / L (72,53 %) et 66,72 mg / L (57,27 %), au bout de 90 minutes, respectivement pour les concentrations initiales de 300 mg / L et de 800 mg / L. Pour les mêmes concentrations en ions  $Cu^{2+}$ , le **Tableau 2** donne des taux d'adsorption sur le charbon  $CA_{m6/800}$  de 70,59 et 36,07 % au bout du même temps de contact. Le **Tableau 3**, quant à lui, renseigne sur l'adsorption des ions  $Mn^{2+}$  sur les charbons d'Acacia. Les taux d'adsorption des ions  $Mn^{2+}$  sur  $CA_{a6/800}$  sont de 20,69 et 9,49 %, respectivement, pour les solutions de concentrations initiales de 300 mg / L et 800mg / L au bout de 90 minutes de contact. A la lecture du **Tableau 4**, ces taux deviennent, pour le même temps de contact avec le charbon  $CA_{m6/800}$  : 40,35 et 14,18 %, respectivement. L'analyse de l'ensemble des résultats permet de dire que l'adsorption des ions métalliques (cationiques) est favorable sur les charbons actifs d'Acacia.

De plus, pour les deux charbons actifs, dans l'intervalle de temps de l'étude, on peut retenir que le taux d'adsorption des ions métalliques croît en fonction du temps de contact avec le charbon actif d'Acacia. En outre, l'on note que plus la concentration initiale de la solution métallique croît, plus le taux d'adsorption des ions sur les charbons actifs d'Acacia décroît. On observe, également, que l'adsorption des ions  $Cu^{2+}$  est plus favorable sur le charbon actif d'Acacia *auriculaeformis*, alors que celle des ions  $Mn^{2+}$  est plus favorable sur l'adsorbant à base d'Acacia *mangium*. Enfin, l'on peut retenir que, quelle que soit l'espèce d'Acacia dont est issu le charbon actif, l'adsorption de  $Cu^{2+}$  est plus favorable que celle des ions  $Mn^{2+}$ . Le caractère préférentiel de l'adsorption des ions métalliques sur l'un ou l'autre des adsorbants pourrait s'expliquer par la porosité des deux charbons actifs : les particules de cuivre (diamètre = 0,026 Å) s'adsorbent plus facilement sur le charbon  $CA_{a6/800}$  majoritairement microporeux alors que l'adsorption des

ions  $Mn^{2+}$  (diamètre = 1,17 Å) serait plus favorable sur CA<sub>m6/800</sub> méso ou macroporeux. Une analyse complète de la porosité des deux charbons pourrait permettre de tirer des conclusions plus appropriées. [20] indique que l'adsorption préférentielle du  $Cu^{2+}$  sur les CA pourrait s'expliquer par l'utilisation de l'acide phosphorique comme agent activant. Il précise que l'oxydation par l'air des charbons activés avec l'acide phosphorique conduit à la modification de la surface chimique des charbons les rendant plus attractifs pour les métaux, en particulier pour le cuivre. Concernant l'influence du temps de contact sur le processus d'adsorption pour une concentration initiale de la solution métallique (le plomb dans son cas), [21] explique que le taux de rétention sur l'adsorbant croît avec le temps de contact, atteint un plateau indiquant que l'adsorbant est saturé.

La période de saturation, selon lui, est indépendante de la concentration initiale de plomb. [22], dans l'étude relative à l'élimination des ions métalliques de plomb, de cuivre et de mercure arrivent à la conclusion que la masse de métal adsorbé augmente avec le temps de contact jusqu'au temps d'équilibre estimé à 3 heures. Par ailleurs, [21] indique que l'accroissement de la concentration initiale du plomb (à une température donnée) réduit le pourcentage de rétention de l'ion métallique. A l'issue des études qu'ils ont réalisées, [23] expliquent cette situation par le fait qu'à concentration initiale élevée, le rapport « nombre initial de moles de plomb par surface spécifique disponible » est grand. [24] arrivent à la même conclusion ; à savoir que le pourcentage d'adsorption du Cr (VI) décroît avec l'augmentation de la concentration initiale de la solution métallique.

Il en est de même pour [25], à l'issue des tests d'adsorption du cuivre sur des charbons actifs à base de sous-produits agricoles qu'ils ont réalisés. Concernant l'effet de la concentration initiale de la solution métallique sur le taux d'adsorption, [22], arrivent à la conclusion que la quantité de cuivre adsorbé sur les charbons actifs de coque de coco passe de 11,92 à 36,40 mg / g quand la concentration initiale de la solution métallique passe de 25 à 100 mg / L avec 2 g / L de charbon actif. A l'issue des expérimentations conduites avec divers mélanges de charbons de grignons d'olive et de noyaux de datte, [26] indique que la capacité d'adsorption du chrome augmente avec la concentration initiale de la solution métallique. Les résultats de ces deux derniers auteurs qui sont donnés en termes de « quantité de métal adsorbée » ne peuvent être valablement comparés à ceux de notre étude que s'ils sont convertis en « taux d'adsorption ».

#### IV - CONCLUSION

L'adsorption des ions métalliques (cationiques) est favorable sur les charbons actifs d'*Acacia*, à l'instar du bleu de méthylène, colorant cationique. Il convient de noter l'adsorption préférentielle des ions  $\text{Cu}^{2+}$  sur les charbons actifs CAA<sub>6/800</sub> à base d'*Acacia auriculaeformis*. Les ions  $\text{Mn}^{2+}$  semblent, quant à eux, s'adsorber plus facilement sur les charbons à base d'*Acacia mangium* (CAM<sub>6/800</sub>). De plus, pour les deux charbons actifs, plus la concentration de la solution métallique est grande, plus faible est le pourcentage d'ions métalliques adsorbés sur les charbons actifs d'*Acacia*.

#### RÉFÉRENCES

- [1] - E. K. AHOUSSE, N. SORO, A. M. KOUASSI, G. SORO, Y. B. KOFFI et S. P. ZADE, Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des métaux lourds ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Pb}^{2+}$ ) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (5) (2010) 1753 - 1765
- [2] - J. ALCANIZ-MONGE et M. I. ILAN-GOMEZ, Insight into hydroxides activated coals : chemical or physical activation? *Journal of colloid and Interface Science*, 318 (2008) 35 - 41
- [3] - D. CUHADAROGLU et O. A. UYGUN, Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation; *African journal of Biotechnology*, 7 (20) (2008) 3703 - 3710
- [4] - M. L. SEKERIFA et M. HADJ-MAHAMMED, Etude comparative de la capacité adsorbante d'un charbon issu de noyaux de dattes et d'un charbon actif commercial ; *Sciences et Technologies B*, 23 (2005) 55 - 59
- [5] - M. DANISH, R. HASHIM, M. N. MOHAMAD IBRAHIM, M. RAFATULLAH, T. AHMAD et O. SULAIMAN, Characterization of *Acacia mangium* based carbons prepared in the presence of basic activating agents. *BioResources*, 6 (3) (2011) 3019 - 3033
- [6] - P. H. K. OUATTARA, I. M. GOULI BI, U. KOUAKOU, A. DEMBELE, A. J. YAPO et A. TROKOUREY, Preparation and characterization of activated carbons based on peanut shell (*Arachis hypogaea*), green soya shell (*Vigna radiate*); *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3 (7) (2014)
- [7] - D. BAMBA, B. DONGUI, A. TROKOUREY, G. E. ZORO, G. P. ATHEBA, D. ROBERT et J. V. WEBER, Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 028 (2009) 41 - 52

- [8] - J. AVOM, J. M. KETCHA, M. R. L. MATIP et P. GERMAIN, Adsorption isotherme de l'acide acétique par des charbons d'origine végétale ; *African Journal of Science and Technology (AJST). Science and Engineering Series*, 2 (2) (2001) 1 - 7
- [9] - K. M. KIFUANI, W. M. MUKANA et V. NOKI, Adsorption de bleu de méthylène en solution aqueuse sur charbon actif obtenu à partir des sciures végétales. Préparation et caractérisation du charbon actif. *Revue Congolaise des Sciences Nucléaires*, 20 (1/2) (2004) 215 - 224
- [10] - L. MELJAC, Etude d'un procédé d'imprégnation de fibres de carbone activées : Modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène ; Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne et de l'Université Jean Monnet de Saint Etienne, Spécialité : Génie des Procédés, (Décembre 2004)
- [11] - S. LAUTRETTE, Utilisation des Fibres de Carbone Activé comme catalyseurs de O- et N-glycosylation : Application à la synthèse d'analogues de saponines et de nucléosides ; Thèse de doctorat de l'Université de Limoges, France ; (26 novembre 2004)
- [12] - ANONYME, Guidelines for drinking-water quality; 4<sup>th</sup> edition, World Health Organization, (2011)
- [13] - G. SIMOES DOS REIS, M. A. ADEBAYO, E. C. LIMA, C. H. SAMPAIO et L. D. T. PROLA, Activated Carbon from Sewage Sludge for Preconcentration of Copper; *Analytical Letters*, 49(4) (2016) 541 - 555
- [14] - A. ABBAS, A. AL-AMER, T. LAOUI, M. AL-MARRIC, S. M. NASSER, M. KHRAISHED, M. A. ATIEH, Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications Ihsanullah. *Separation and Purification Technology*, 157 (2016) 141 - 161
- [15] - X. MA, X. LIU, D. P. ANDERSON, P. R. CHANG, Modification of porous starch for the adsorption of heavy metal ions from aqueous solution. *Food Chem*, 181 (2015) 133 - 139
- [16] - D. O. KRA, N. A. KOUADIO, G. P. ATHEBA, B. COULIBALY, N. B. ALLOU, K. G. GBASSI and A. TROKOUREY, Modélisation des propriétés adsorbantes de charbons activés issus de deux variétés d'Acacia (*auriculiformis* et *mangium*). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, ISSN 2351-8014, Vol. 13, No. 2 (Feb. 2015) 542 - 553 p.
- [17] - N. SEDIRA, Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes ; Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER en chimie physique et analytique, Option : Environnement et traitement des eaux. Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras. Algérie ; Année universitaire 2012 - 2013
- [18] - S. GUEU, B. YAO, K. ADOUBY, G. ADO, Heavy metals removal in aqueous solution by activated carbons prepared from coconut shell and seed shell of palm tree. *Journal of applied sciences*, 6 (13) 2789 - 2793, ISSN 1812-5654, (2006)
- [19] - K. A. KRISHNAN and T. S. ANIRUDHAN, Removal of cadmium (II) from solutions by steam-activated sulphurised carbon prepared from sugar cane bagasse pith : Kinetics and equilibrium studies; *Water S.*

- A.; Vol. 2, (2003) 147 - 156
- [20] - A. H. MAHVI, D. NAGHIPOUR, F. VAEZI and S. NAZMARA, Teawaste as an adsorbent for heavy metal removal from industrial wastewaters; *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 2, (1) (2005) 372 - 375
- [21] - S. GUEU, Traitement de la pollution métallique et organique par les charbons actifs des coques de noix de coco et des graines de palmiste ; Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Spécialité : Chimie-Physique, Université de Cocody, (2007)
- [22] - T. S. ANIRUDHAN and S. S. SREEKUMARI, Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons. *Journal of Environmental Sciences*, 23 (12) (2011) 1989 - 1998
- [23] - M. K. SREEDHAR, A. MADHUKUMAR, T. S. ANIRUDHAN, Evaluation of an adsorbent prepared by treating coconut husk with polysulphide for removal of mercury from wastewater; *Indian Journal of Engineering and Material Science*, Vol. 6 (5) (1999) 279 - 285
- [24] - P. C. MANE, A. B. BHOSLE, P. D. DESHMUKH, C. M. JANGAM, Chromium adsorption onto activated carbon derived from Tendu (*Diospyros melanoxylon*) leaf refuse : Influence of metal / carbon ratio, time and pH; Pelagia Research Library; *Advances in Applied Science Research*, 1 (3) (2010) 212 - 221
- [25] - J. T. NWABANNE and P. K. IGBOKWE, Mechanism of copper (II) removal from aqueous solution using activated carbon prepared from different agricultural materials. *International journal of multidisciplinary sciences and engineering*, Vol. 3, N° 7 (July 2012)
- [26] - A. HAMOUCHE, Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels; Thèse de doctorat en Génie des Procédés, option Génie de l'environnement. Université M'Hamed Bougara-Boumerdes ; Algérie, (2013)