

## Influence de l'agent chimique sur quelques propriétés physico-chimiques du charbon actif issu du bois d'*Acacia auriculaeformis*

Ghislaine Gnoan Miezán DEBOUANZI<sup>1</sup>, N'da Arsène KOUADIO<sup>2</sup>, Grah Patrick ATHEBA<sup>1\*</sup>,  
Drissa Ouattara KRA<sup>1</sup> et Albert TROKOUREY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Félix Houphouët-Boigny, UFR SSMT, Laboratoire de Chimie-Physique, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> Laboratoire de Bioénergie, Programme Forêt et Environnement, Centre National de Recherche Agronomique, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

### Résumé

Des échantillons de charbon à base de bois d'*Acacia auriculaeformis* ont été activés selon la méthode chimique à l'aide de solutions d'acide phosphorique (CA<sub>a</sub>), de soude (CA<sub>b</sub>) et de sel de cuisine (CA<sub>s1</sub> et CA<sub>s2</sub>). Pour chaque charbon actif, ont été déterminés le degré d'activation, l'indice d'iode, l'indice de bleu de méthylène et les fonctions de surface. Tous les charbons activés ont un taux compris entre 26,25 et 48,87 %. Les charbons activés avec le sel possèdent un indice d'iode plus élevé (380,71 et 342,64 mg / g) que ceux activés avec l'acide phosphorique (304,57 mg / g) et la soude (190,35 mg / g). Les capacités d'adsorption du bleu de méthylène sont : 4,84 mg / g (CA<sub>a</sub>) ; 3,79 mg / g (CA<sub>b</sub>) ; 3,31 mg / g pour CA<sub>s1</sub> et 2 mg / g pour CA<sub>s2</sub>. Les analyses de Boehm effectués sur les charbons actifs ont révélé des fonctions de surface majoritairement acide (CA<sub>a</sub>), neutre (CA<sub>s1</sub>) et basique (CA<sub>b</sub> et CA<sub>s2</sub>).

**Mots-clés :** *charbon actif, adsorption, bleu de méthylène, isotherme, Acacia auriculaeformis.*

### Abstract

**Influences of some chemicals upon activated carbon (*Acacia auriculaeformis*-based) physico-chemicals properties**

Coal samples from *Acacia auriculaeformis* wood were activated by the chemical method using phosphoric acid solutions (CA<sub>a</sub>), soda (CA<sub>b</sub>) and cooking salt (CA<sub>s1</sub> and CA<sub>s2</sub>). Some experiments (Boehm titration, iodine and methylene blue analyses). The coals have activation rate lower than 50 % (26.25 to 48.87 %). Activated carbons with salt have a higher iodine index (380.71 and 342.64 mg / g) than those activated with phosphoric acid (304.57 mg / g) and sodium hydroxide (190.35 mg / g). Methylene blue adsorption capacities are 4.84 mg / g (CA<sub>a</sub>) ; 3.79 mg / g (CA<sub>b</sub>) ; 3.31 mg / g (CA<sub>s1</sub>) and 2.00 mg / g for CA<sub>s2</sub>. The Boehm titration reveal that activated carbons have acidic surface functions (CA<sub>a</sub>), neutral functions (CA<sub>s1</sub>) and basic functions (CA<sub>b</sub> CA<sub>s2</sub>).

**Keywords :** *activated carbon, adsorption, methylene blue, isotherm, Acacia auriculaeformis.*

## 1. Introduction

Le charbon actif a fait et continue de faire l'objet de nombreux travaux de recherche en raison de son utilisation dans plusieurs activités humaines pour ses propriétés adsorbantes [1]. On peut citer, entre autres secteurs d'activités le traitement des eaux [2], l'industrie métallurgique [3], l'industrie chimique [4], l'industrie agroalimentaire [5], la médecine [6]. Les polluants visés, les modes d'activation et les précurseurs utilisés sont divers. Concernant ces derniers, les critères de choix sont le taux de carbone qui doit être situé entre 72 et 90 % [7, 8], et leur faible coût d'acquisition afin que le produit final soit compétitif sur le marché. Les charbons actifs qui ont fait l'objet de travaux scientifiques peuvent être repartis en trois groupes, tenant compte de l'origine du précurseur utilisé pour leur fabrication [9], origine minérale [10], végétale ou industrielle [11]. Les précurseurs d'origine végétale sont à la base de plusieurs études relatives à l'activation. Il s'agit, en général, de sous-produits agricoles ou forestiers dont la valorisation par l'activation contribue à la lutte pour la préservation de l'environnement. A titre d'exemple, les sous-produits du dattier ont servi de précurseurs pour la production de charbon actif [12 - 15]. Les essais de transformation de coques d'arachide en charbon actif ont été réalisés par les Auteurs des références [16, 17].

Quant à [18, 19], ils ont utilisé des charbons actifs à base de coque de coco dans les tests d'extraction du diuron en solution aqueuse. Concernant le charbon actif à base de sciures de bois [20, 21]. Concernant les arbres de plantation, deux charbons actifs issus de *Triplochiton scléroxyton* et de *Terlimalia superba* ont été comparés par [22] à un charbon commercial. Comme autre précurseur ligno-cellulosique issu d'arbre de plantation, on peut citer le bois d'arganier dont s'est servi [23] pour fabriquer des charbons actifs et le bois de tamarin utilisé par [24]. Concernant l'Acacia, la littérature fait état de tests réalisés par [25] sur les charbons activés à base d'Acacia mangium préparés par imprégnation avec des agents chimiques basiques ou acides. De plus, l'activation au sel de cuisine n'a pas été utilisée. Il serait intéressant d'investiguer dessus afin d'en tirer des informations sur les propriétés adsorbantes des charbons actifs issus de cette expérience. Les charbons de bois à base d'Acacia auriculaeformis, essence à croissance rapide, disponibles en Côte d'Ivoire sont utilisés dans le cadre de la présente étude. L'objectif est de déterminer l'influence des agents activants ( $H_3PO_4$ , NaOH, Sel de Cuisine) sur les caractéristiques physico-chimiques des charbons activés.

## 2. Matériel et méthodes

Deux types de matériels ont été utilisés pour l'étude : le matériel biologique, les équipements et produits chimiques.

### 2-1. Matériel biologique

Le matériel biologique est composé de charbons d'Acacia auriculaeformis âgés de 8 à 9 ans et de poudre de charbons activés qui en sont issus.

### 2-2. Equipements et réactifs chimiques

Le charbon obtenu par pyrolyse dans un four cornue de laboratoire, est réduit en poudre par broyage à l'aide d'un broyeur BIOBLOCK Scientifique. Le produit est séché à l'étuve MEMMERT. Le traitement thermique de la poudre a lieu dans un four à moufle de marque NABATHERM 30-3000°C, après son imprégnation à l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) à 10 % (la solution mère est de pureté 85 %). La concentration résiduelle des différentes solutions est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre THERMO SCIENTIFIQUE type Helios OMEGA UV-VIS.

## 2-3. Méthodes expérimentales

### 2-3-1. Préparation des charbons actifs

La préparation des charbons activés se déroule en trois étapes comme décrit ci-dessous.

- *Imprégnation du charbon*

Une masse de 300 g de charbon concassé en petits morceaux (grossièrement 1 cm<sup>3</sup>) est imprégnée dans des solutions d'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), de soude (NaOH) ou de sel de cuisine, selon le cas. La solution d'acide phosphorique est préparée à partir de la dilution (10 %) d'un volume de 400 mL d'une solution commerciale (Ph. EUR, réactif PROLABO, pureté 85 %, densité 1,68 à 1,71). La solution de soude (NaOH) est obtenue d'une masse de 126 g de produit dissout dans 4 000 mL d'eau distillée. La solution salée est préparée à l'aide de sel de cuisine dissout dans 4 000 mL d'eau distillée jusqu'à la saturation totale de la solution (146 g environ). Les morceaux de charbon sont totalement immergés dans chacune des solutions pendant 24 heures. Ils sont retirés et séchés à 120 °C pendant 24 heures dans une étuve de marque MEMMERT.

- *Traitement thermique*

Un traitement préliminaire a consisté à broyer les échantillons de charbons séchés et à tamiser la poudre. La fraction de particules dont le diamètre est compris entre 0,5 et 2 mm est récupérée à l'aide d'un tamis AFNOR puis stockée à l'abri de l'humidité. Une masse de 50 g de ce charbon en grain est mise dans un creuset en porcelaine et fermée avec un couvercle. L'ensemble est soumis au traitement thermique dans un four à moufle (NABERTHERN 30-3000°C) pendant six heures, à 800°C.

- *Traitement final*

Le charbon sorti du four à la température ambiante, est d'abord abondamment lavé à l'eau distillée bouillante jusqu'à ce que le pH de l'eau filtrée soit compris entre 6,5 et 7. Le produit obtenu est séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures et conservé dans des bocaux hermétiquement fermés, après leur refroidissement effectué dans un dessiccateur.

### 2-3-2. Caractérisation des charbons actifs

Quatre propriétés des charbons actifs d'*Acacia auriculaeformis* ont été déterminées : le degré d'activation, l'indice d'iode, l'indice de bleu de méthylène et les fonctions de surface.

- *Degré d'activation*

Le degré d'activation ou rendement d'activation est une caractéristique quantitative importante pour les charbons actifs. Elle traduit la perte de masse lors du processus. L'expression du degré d'activation est donnée par la **Formule** suivante :

$$\text{Degré d'activation} = \frac{\text{masse initiale} - \text{masse finale}}{\text{masse initiale}} \times 100 \quad (1)$$

Les caractéristiques d'activation des charbons d'*Acacia auriculaeformis* sont données dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1 : Caractéristiques d'activation des charbons d'Acacia auriculaeformis**

Vitesse de montée en température (°C / min)	Agent activant	Température d'activation (°C)	Durée d'activation (heure)	Dénomination des charbons actifs
26	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	800	6	CA <sub>a</sub>
26	NaOH	800	6	CA <sub>b</sub>
26	Sel de cuisine	800	6	CA <sub>s,1</sub>
26	Sel de cuisine	800	6	CA <sub>s,2</sub>

CA<sub>a</sub> : charbon activé après imprégnation avec l'acide phosphorique ;

CA<sub>b</sub> : charbon activé après imprégnation avec la soude ;

CA<sub>s,1</sub> : charbon activé après imprégnation du précurseur avec du sel ;

CA<sub>s,2</sub> : charbon activé après imprégnation avec du sel.

- **Indice d'iode**

L'indice d'iode est la quantité en milligramme d'iode adsorbée par gramme de charbon actif. Il caractérise les zones accessibles à celle de la molécule d'iode, en particulier les mini-micropores accessibles aux petites particules. La quantité d'iode adsorbée est donnée par la relation suivante :

$$Q_{I_2} = \frac{[C_0 - \frac{C_n V_n}{2V_{I_2}}] * M_{I_2} * V_{ads}}{m_{CA}} \quad (2)$$

avec,  $Q_{I_2}$  la quantité d'iode adsorbée (mg / g);  $V_n$  le volume de thiosulfate de sodium (L);  $C_n$  la concentration de thiosulfate de sodium (mol / L);  $C_0$  la concentration de la solution initiale d'iode (mol / L);  $V_{I_2}$  le volume d'iode dosé (L);  $M_{I_2}$  la masse molaire de l'iode (g / mol);  $V_{ads}$  le volume d'adsorption (L) et  $m_{CA}$ , la masse de charbon actif (g).

- **Indice de bleu de méthylène**

L'indice du bleu de méthylène en (mg / g) est synonyme d'une capacité d'adsorption forte pour les grosses molécules. La quantité adsorbée en bleu de méthylène par gramme de charbon activé ( $Q_e$ ) est calculée par l'utilisation de **l'Équation (3)**:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_r) \cdot V}{m} \quad (3)$$

avec,  $Q_e$  : capacité apparente d'adsorption du charbon actif vis-à-vis de l'adsorbât (mg / g);  $C_0$ : concentration initiale de la solution de bleu de méthylène (mol / L);  $C_r$ : concentration résiduelle de la solution de bleu de méthylène (mol / L);  $V$ : volume de la solution de bleu de méthylène;  $m$ : masse du charbon actif utilisé (g).

- **Fonctions de surfaces**

Les fonctions de surface sont déterminées par la méthode de [26] basée sur le dosage de chaque type de fonction (acide ou basique). Les fonctions carboxyliques, lactones et phénols sont dosées avec des bases de force croissante (NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH). La basicité totale est déterminée selon le même principe, avec de l'acide chlorhydrique (HCl). L'étude permet de déterminer l'impact de l'agent chimique d'imprégnation sur les fonctions de surface des charbons actifs d'Acacia auriculaeformis. Chaque fonction est quantifiée en utilisant la **Formule (4)** :

$$N_0V_0 - N_iV_0 = neqR \tag{4}$$

avec,  $N_0V_0$ : le nombre d'équivalent-gramme avant la réaction ;  $N_iV_0$ : le nombre d'équivalent-gramme après la réaction ;  $neqR$  : le nombre d'équivalent-gramme ayant réagi.

### 3. Résultats et discussion

Les tests sur les indices d'iodes et de bleu de méthylène, permettent d'estimer la porosité de matériaux poreux en l'absence d'analyses de la porosité par la méthode BET qui utilise un appareil de mesure à cet effet.

- *Degré d'activation*

Les degrés d'activation des charbons d'Acacia auriculaeformis activés après imprégnation avec  $H_3PO_4$ , NaOH et le sel de cuisine sont récapitulés dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2 : Degré d'activation et indice d'iode des charbons d'Acacia auriculaeformis**

Charbon	Durée d'activation (h)	Température d'activation (°C)	Degré d'activation (%)	Indice d'iode (mg / g)
CA <sub>a</sub>	6	800	41,81	304,57
CA <sub>b</sub>	6	800	26,25	190,35
CA <sub>s1</sub>	6	800	48,87	380,71
CA <sub>s2</sub>	6	800	47,50	317,26

Pour le même temps et la même durée du processus, le **Tableau 2** donne des degrés d'activation des charbons d'Acacia auriculaeformis qui varient en fonction de l'agent activant utilisé pour la phase d'imprégnation. Les degrés d'activation vont de 26,5 % à 48,87 %. L'imprégnation du précurseur avec le sel donne le degré d'activation le plus élevé, avec 48,87 %. Ces résultats suggèrent que le sel de cuisine (48,87 et 47,50 %) est meilleur agent d'activation du charbon d'Acacia auriculaeformis que l'acide phosphorique (41,81 %) et la soude (26,25 %). Ces valeurs présument d'une porosité plus importante et d'une capacité d'adsorption plus grande pour les charbons activés au sel que pour les deux autres. En comparant les rendements des deux charbons activés avec le sel, on note que l'imprégnation après la carbonisation donne le meilleur degré d'activation : 48,87 %. En outre, pour tous les charbons actifs, les degrés d'activation sont inférieurs à 50 %, synonyme de la formation de micropores et de mésopores, d'après [27]. Les résultats obtenus avec le sel comme agent activant sont intéressants du double point de vue économique et environnemental : le sel de cuisine est facilement accessible et à moindre coût et il ne présente pas de danger majeur pour l'environnement. Pour une bonne reproductivité de l'expérience, le sel ultra pur (99,99 %) sera utilisé dans nos prochaines expériences.

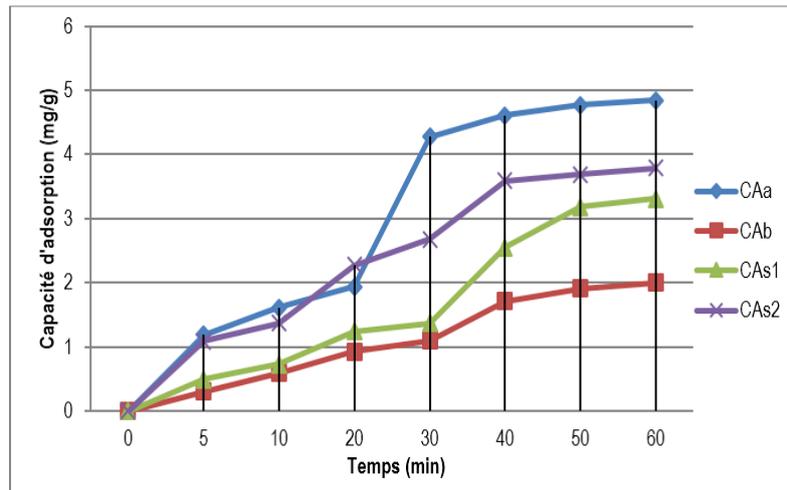
- *Indice d'iode*

Les valeurs de l'indice d'iode données par le **Tableau 2** suivent le même ordre que celui des degrés d'activation des charbons d'Acacia auriculaeformis. Les charbons activés avec le sel possèdent un indice d'iode plus élevé (380,71 et 342,64 mg / g) que ceux activés avec l'acide phosphorique (304,57 mg / g) et la soude (190,35 mg / g). L'indice d'iode étant un bon indicateur de la microporosité du charbon actif, on peut déduire des résultats ci-dessus que les charbons activés avec du sel sont les plus microporeux. Cela suggère pour ces deux charbons actifs, un volume poreux plus important, une capacité d'adsorption plus grande et, par conséquent, une plus grande surface spécifique. La microporosité présume pour les deux charbons actifs la

capacité d'adsorber les petites molécules telles que les gaz et les odeurs. Le charbon activé avec l'acide sulfurique possède une capacité d'adsorption plus importante que celui imprégné avec la soude, si l'on considère l'indice d'iode : 304,57 et 190,35 mg / g, respectivement. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par [28]. Ils ont montré que dans le procédé d'activation chimique des précurseurs ligno-cellulosiques, l'acide phosphorique et le chlorure de zinc sont plus indiqués que les agents activant basiques (NaOH, KOH).

- *Indice de bleu de méthylène*

La capacité d'adsorption du bleu de méthylène par les charbons d'Acacia auriculaeformis activés avec  $H_3PO_4$ , NaOH et le sel de cuisine est représentée dans la **Figure 1**.



**Figure 1** : Capacité d'adsorption des CA d'Acacia auriculaeformis activés après imprégnation avec  $H_3PO_4$ , NaOH et du sel de cuisine

Les courbes de la **Figure 1** indiquent que l'adsorption du bleu de méthylène est lente jusqu'au temps  $t = 20$  min pour tous les charbons actifs. Au-delà, la capacité d'adsorption des adsorbants devient de plus en plus importante avant d'atteindre un palier à partir de  $t = 50$  min. Après 60 minutes de contact entre les charbons actifs et la solution de bleu de méthylène, les capacités d'adsorption sont : 4,84 mg / g (CA<sub>a</sub>) ; 3,79 mg / g (CA<sub>b</sub>) ; 3,31 mg / g pour CA<sub>s1</sub> ; 2 mg / g pour CA<sub>s2</sub>. Ces résultats indiquent une capacité plus importante du bleu de méthylène par le charbon activé à l'acide phosphorique, suivi du charbon activé à la soude. Le charbon imprégné au sel de cuisine arrive à la quatrième place avec une capacité d'adsorption, de moitié plus faible que les deux meilleurs adsorbants. L'indice de bleu de méthylène étant un indicateur de la mésoporosité et de la macroporosité, on pourrait déduire que le charbon actif fabriqué par imprégnation à l'acide phosphorique est plus méso / macroporeux que les autres. Ce charbon possède une capacité d'adsorption plus forte pour les grosses molécules, en particulier les colorants. [28] ont conclu à la mésoporosité des charbons actifs de noyaux de dattes imprégnés avec l'acide phosphorique. Les charbons imprégnés au sel sont les moins méso ou macroporeux. Ce résultat confirme celui obtenu par l'évaluation de l'indice d'iode réalisée plus haut. Car celle-ci indique la présence majoritaire de micropores.

- *Fonctions de surface*

Les fonctions de surface des charbons d'Acacia auriculaeformis activés après imprégnation avec  $H_3PO_4$ , NaOH et le sel de cuisine sont récapitulées dans le **Tableau 3**.

**Tableau 3 : Fonctions de surface des charbons activés d'Acacia auriculaeformis**

Charbons actifs	Carboxylique (méq.g <sup>-1</sup> )	Lactone (méq.g <sup>-1</sup> )	Phénolique (méq.g <sup>-1</sup> )	Acidité totale (méq.g <sup>-1</sup> )	Basicité (méq.g <sup>-1</sup> )	Nature de la surface
CA <sub>a</sub>	0,75	0,40	0,70	1,85	0,18	Acide
CA <sub>b</sub>	-	0,35	-	0,35	1,10	Basique
CA <sub>s1</sub>	-	-	0,75	0,75	0,70	Neutre
CA <sub>s2</sub>	-	0,10	0,45	0,55	1,25	Basique

L'analyse du **Tableau 3** révèle que les charbons activés avec l'acide sulfurique (CA<sub>a</sub>) et la soude (CA<sub>b</sub>) comme agents activants possèdent des fonctions de surface mixtes, majoritairement acides et basiques, respectivement. La proportion de sites acides et basiques sur les deux charbons actifs d'Acacia suggère pour chacun d'eux la possibilité d'adsorber des polluants cationiques (CA<sub>a</sub>) ou anioniques (CA<sub>b</sub>). Selon plusieurs auteurs cités par [19, 29], l'adsorption étant un phénomène de surface, les charbons qui possèdent des groupements acides de surface ont des propriétés d'échange de cations, tandis que ceux possédant un caractère basique ont un pouvoir d'échange anionique. L'adsorption du bleu de méthylène (basique) est, par conséquent, plus favorable pour les charbons CA<sub>a</sub>. Concernant les charbons activés au sel de cuisine, les fonctions de surfaces sont presque neutres (légèrement acides) pour le lot produit après imprégnation du bois (CA<sub>s1</sub>). Elles sont basiques pour les charbons imprégnés avec du sel (CA<sub>s2</sub>). Ce résultat suggère pour CA<sub>s1</sub> des propriétés d'échange de cations et d'anions alors que CA<sub>s2</sub> a la capacité de capter préférentiellement des anions. Ces résultats de caractérisations des différents charbons actifs confirment la thèse selon laquelle, les conditions expérimentales de préparation d'un charbon actif lui confèrent des propriétés physiques et chimiques propres.

#### 4. Conclusion

Tous les charbons activés dans ce travail possèdent un degré d'activation inférieur à 50 %, synonyme de micro ou de mésoporosité. Pour l'indice de bleu de méthylène, le charbon activé par imprégnation avec de l'acide phosphorique donne de meilleurs résultats (4,84 mg / g). Les indices d'iode des charbons imprégnés au sel sont les plus élevés (304,57 et 190,35 mg / g). Concernant les fonctions de surfaces, les charbons imprégnés à l'acide et à la soude sont majoritairement acides et basiques, respectivement. Les charbons activés après l'imprégnation du précurseur avec du sel possèdent une surface légèrement basique (presque neutre) et ceux fabriqués avec le charbon imprégné de sel ont des fonctions de surface très majoritairement basiques. Les résultats expérimentaux obtenus montrent que les produits chimiques d'imprégnation influencent les quatre caractéristiques physico-chimiques des charbons d'Acacia auriculaeformis activés dans les mêmes conditions.

#### Références

- [1] - J. A. MUTHANNA, Adsorption of quinolone, tetracycline, and penicilin antibiotics from aqueous solution using activated carbon : *Review. Environmental Toxicology and Pharmacology*, 50 (2017) 1 - 10
- [2] - M. TAMMARO, A. SALLUZZO, R. PERFETTO, A. LANCIA, A comparative evaluation of biological activated carbon and activated sludge processes for the treatment of tannery wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 (3) (2014) 1445 - 1455

- [3] - H. DEMIRAL, C. GUNGOR, Adsorption of copper (II) from aqueous solutions on activated carbon prepared from grape bagasse. *Journal of Cleaner Production*, 124 (2016) 103 - 113
- [4] - T. RAMESH, N. RAJALAKSHMI, K. S. DHATHATHREYAN, Activated carbons from tamarind seeds for hydrogen storage. *Journal of Energy storage*, 4 (2015) 89 - 95
- [5] - M. J. P. BRITO, C. M. VELOSO, R. C. F. BONOMO, R. D. C. I. FONTAN, L. S. SANTOS, K. A. MONTEIRO, Activated carbons preparation from yellow mombin fruit stones for lipase immobilization. *Fuel Processing Technology*, 156 (2017) 421 - 428
- [6] - P. A. TRAN, L. ZHANG, T. J. WEBSTER, Carbon nanofibers and carbon nanotubes in regenerative medicine. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 61 (12) (2009) 1097 - 1114
- [7] - C. MEZERETTE et L. F. VERGNET, La voie thermo-chimique. In: ANONYME- Guide Biomasse Energie. Collection Etudes et filières, (1994) 144 - 198
- [8] - D. M., H. R., M.N. MOHAMAD IBRAHIM, M. RAFATULLAH, T. AHMAD, O. SULAIMAN, Characterization of Acacia mangium based carbons prepared in the presence of basic activating agents. *BioResources*, 6 (3) (2011) 3019 - 3033
- [9] - C. R. CORREA, T. OTTO, A. KRUSE, Influence of the biomass components on the pore formation of activated carbon. *Biomass and Bioenergy*, 97 (2017) 53 - 64
- [10] - J. LLADO, M. SOLÉ-SARDANS, C. LAO-LUQUE, E. FUENTE, B. RUIZ, Removal of pharmaceutical industry pollutants by coal-based activated carbons. *Process Safety and Environmental Protection*, 104, Part A, (2016) 294 - 303
- [11] - O. KOÇER, B. ACEMIOGLU, Adsorption of basic green 4 from aqueous solution by olive pomace and commercial activated carbon : Process design, isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Desalination Water Treatment*, 57 (2016) 16653 - 16669
- [12] - M. L. SEKERIFA, 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*, N°23 (2005) 55 - 59
- [13] - M. BELHACHEMI, F. ADDOUN, Adsorption du phénol sur du charbon actif à base de noyaux de dattes préparés par activation physique au dioxyde de carbone. *Journal de la Société Algérienne de Chimie*, 16 (1) (2006) 61 - 68
- [14] - Y. GHERAIRI, A. AMRANE, Y. TOUIL, M. M. HADJ, F. GHERAIRI, L. BAAMEU, A comparative study of the addition effect of activated carbon obtained from date stones on the biological filtration efficiency using sand dune bed. *Energy Procedia*, 36 (2013) 1175 - 1183
- [15] - 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)
- [16] - N. A. KOUADIO, D. O. KRA, G. P. ATHEBA, P. DROGUI, A. TROKOUREY, Degree of activation, specific surface area and surface chemistry function of activated carbons from *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20 (2) (2017) 568 - 574
- [17] - S. ZHANG, L. TAO, M. JIANG, G. GOU, Z. ZHOU, Single-step synthesis of magnetic activated carbon from peanut shell. *Materials Letters*, 157 (2015) 281 - 284
- [18] - D. BAMBA, B. DONGUI, A. TROKOUREY A., G. E. ZORO G, 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
- [19] - G. P. ATHEBA, N. B. ALLOU, B. K. DONGUI, D. O. KRA, K. G. GBASSI, A. TROKOUREY, Butyl paraben adsorption on coal-based on low-coast of coconut shells from Côte d'ivoire. *Innovative Space of scientific research Journals*, 13 (2) (2015) 530 - 541

- [20] - G. A. SHENGHUI, P. A. JINHUI, L. A. B. WEI, Y. A. KUNBIN, Z. A. LIBO, Z. A. SHIMIN and X. A. HONGYING, Effects of CO<sub>2</sub> activation on porous structures of coconut shell-based activated carbons. *Applied Surface Science* 255 (2009) 8443 - 8449
- [21] - A. L. CAZETTA, A. M. M. VARGASA, E. M. NOGAMIA, M. H. KUNITAA, M. R. GUILHERMEA, A. C. MARTINSA, B. T. L. SILVA, C. G. M. A. JULIANA, and V. C. ALMEIDAA, NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell : Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 174 (2011) 117 - 125
- [22] - 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 Science and Engineering Series*, 2 (2) (2001) 1 - 7
- [23] - A. ELABED, Réactivité thermique et cinétique de la dégradation du bois d'arganier. Application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique à l'acide phosphorique ; Thèse de Doctorat ; Université Mohammed V-AGDAL, Faculté des Sciences, Rabat, (20 juillet 2007)
- [24] - S. KUMAR, B. RAJMOHAN, K. MOHANTY and B. C. MEIKAP, Characterization of activated carbon prepared from tamarind wood for wastewater treatment; *International Journal of Environmental Engineering*, 2 (1 - 3) (2010) 290 - 302
- [25] - M. DANISH, R. HASHIM, M. N. MOHAMAD IBRAHIM, M. RAFATULLAH, T. AHMAD and O. SULAIMAN, Effect of acidic activated agents on surface area and surface functional groups of activated carbons produced from Acacia mangium wood. *Journal of analytical and applied paralysis*, 10 (2013) 418 - 425
- [26] - H. P. BOEHM H. P., Some aspects of the surface chemistry of carbon black and other carbon. *Carbon* 32, (1994) 759 - 769
- [27] - T. FERREIRA de OLIVEIRA, Etude d'un procédé de dépollution base sur le couplage ozone / charbon actif pour l'élimination des phtalates en phase aqueuse ; Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, Ecole doctorale Sciences et Technologies, France, (2011)
- [28] - R. K. SURESH KUMAR, A. AL SHOABIBI and C. SRINIVASAKANNAN, A comparison of microstructure and adsorption characteristics of activated carbons by CO<sub>2</sub> and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation from datta palm pits. *New carbon materials*, 27 (5) (2012) 345 - 35
- [29] - 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, (2004)