

Degré d'activation, surface spécifique et fonctions de surfaces de charbons actifs d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium*

[Degree of activation, specific surface area and surface chemistry fonction of activated
carbons from *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium*]

N'Da Arsène KOUADIO¹, Drissa Ouattara KRA², Grah Patrick ATHEBA²⁻³, Patrick DROGUI³, and Albert TROKOUREY²

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

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

³Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-ETE),
Université du Québec,
490, rue de la Couronne, Québec, G1K 9A9, Canada

Copyright © 2017 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: Three physico-chemical characteristics of *Acacia* activated charcoals were determined: the degree of activation, the specific surface and surface functions. The coals are prepared from *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium*, leguminous and fast growing trees, available in Côte d'Ivoire. They were activated by chemical means, by impregnation with phosphoric acid (H₃PO₄). Analysis of the results indicates that the activation yields are below 50% for both types of coal. In addition, the activated carbon-based *Acacia auriculaeformis* has a larger surface area than that based *Acacia mangium*. The two activated coals have mixed surface functions, predominantly acid, which give them a dual reactivity for both anionic and cationic adsorbates.

KEYWORDS: *Acacia auriculaeformis*, *Acacia mangium*, activated charcoal, degree of activation, specific surface, surface function.

RÉSUMÉ: Trois caractéristiques physico-chimiques des charbons actifs d'*Acacia* ont été déterminées : le degré d'activation, la surface spécifique et les fonctions de surface. Les charbons sont à base d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium*, Légumineuses arborescentes et à croissance rapide, disponibles en Côte d'Ivoire. Ils ont été activés par la voie chimique, par imprégnation avec l'acide phosphorique (H₃PO₄). L'analyse des résultats indique que les rendements d'activation sont inférieurs à 50% pour les deux types de charbon. De plus, le charbon actif à base d'*Acacia auriculaeformis* possède une surface spécifique plus importante que celui à base d'*Acacia mangium*. Les deux charbons actifs ont des fonctions de surface mixtes, à prédominance acide, qui leur confèrent une double réactivité vis-à-vis des adsorbats aussi bien anioniques que cationiques.

MOTS-CLEFS: *Acacia auriculaeformis*, *Acacia mangium*, charbon actif, degré d'activation, surface spécifique, fonction de surface.

1 INTRODUCTION

Les charbons actifs sont obtenus par pyrolyse de différents matériaux d'origine végétale, animale ou minérale : bois, coques de noix de coco, coques d'arachide, noyaux de dattes, bambous, lignite, tourbe, résidus pétroliers, etc. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications domestiques et industrielles telles que la purification de l'air, la dépollution des effluents domestiques et industriels, la décoloration de produits agro-alimentaires, etc...

Les propriétés physico-chimiques des charbons actifs dépendent essentiellement des conditions de préparation. La présente étude, traite trois propriétés physico-chimiques des charbons actifs préparés à partir de deux essences arborescentes à croissance rapide, disponibles en Côte d'Ivoire : *Acacia auriculaeformis* et *Acacia mangium*. Ces propriétés sont : le degré d'activation, la surface spécifique et les fonctions de surface.

2 MATERIEL ET METHODES

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

2.1 MATERIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique est composé de charbons d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium* âgés de 8 à 9 ans et de poudre de charbons activés issus des deux espèces.

2.2 EQUIPEMENTS ET REACTIFS CHIMIQUES DE LABORATOIRE

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 METHODES EXPERIMENTALES

Les méthodes expérimentales mises en œuvre dépendent de la propriété physico-chimique à déterminer.

2.3.1 DEGRE D'ACTIVATION

A la sortie du réacteur d'activation, après refroidissement dans un dessiccateur, chaque échantillon de charbon activé est pesé. Il est ensuite lavé abondamment à l'eau distillée bouillante, à plusieurs reprises, jusqu'à ce que le pH du filtrat soit compris entre 6,5 et 7. Connaissant la masse initiale de l'échantillon, la pesée du produit final permet de déterminer le degré d'activation par l'application de la formule (1) ci-dessous :

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

2.3.2 SURFACE SPECIFIQUE

La surface spécifique des charbons actifs d'*Acacia* a été estimée selon la méthode d'adsorption du bleu de méthylène utilisée par KRA et al. [1]. La détermination de la capacité maximale d'adsorption se fait par l'application du modèle de Langmuir aux isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur les charbons d'*Acacia*. A partir de la capacité maximale d'adsorption Q_{mL} (mg/g), l'estimation de la surface spécifique S_L est faite à l'aide de l'équation $S_L = Q_{mL} \times S_{BM} \times N_A$; avec ($S_{BM} = 175 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$) la surface occupée par une molécule de bleu de méthylène et ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), le nombre d'Avogadro.

2.3.3 FONCTIONS DE SURFACES

Les fonctions de surface ont été déterminées par la méthode de BOEHM [2] 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 ($NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $NaOH$). La basicité totale est déterminée selon le même principe, avec de l'acide chlorhydrique (HCl).

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 DEGRE D'ACTIVATION

Pour chaque paire de charbons d'*Acacia*, le traitement thermique a été réalisé à différents temps (1 heure et 6 heures) et températures (400, 600 et 800 °C). Le **tableau I** est un récapitulatif des caractéristiques d'activation des charbons d'*Acacia*. Les degrés d'activation calculés à partir de l'équation (1) sont présentés dans **les tableaux II et III**.

Tableau I : Caractéristiques d'activation thermique des charbons d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium*

Charbon	Vitesse de montée en température (°C /min)	Température d'activation (°C)	Durée d'activation (h)	Charbon activé
Acacia Auriculaeformis	26	400	1	CAa _{1/400}
			6	CAa _{6/400}
	26	600	1	CAa _{1/600}
			6	CAa _{6/600}
	26	800	1	CAa _{1/800}
			6	CAa _{6/800}
Acacia mangium	26	400	1	CAM _{1/400}
			6	CAM _{6/400}
	26	600	1	CAM _{1/600}
			6	CAM _{6/600}
	26	800	1	CAM _{1/800}
			6	CAM _{6/800}

Tableau II : Degré d'activation des charbons d'*Acacia auriculaeformis*

Charbon d' <i>Acacia</i>	CAa _{1/400}	CAa _{6/400}	CAa _{1/600}	CAa _{6/600}	CAa _{1/800}	CAa _{6/800}
Masse initiale	100	100	100	100	100	100
Masse finale	88,73	94,07	87,00	78,58	71,78	66,07
Degré d'activation (%)	11,27	5,93	13,00	21,42	28,22	33,93

Tableau III : Degré d'activation des charbons d'*Acacia mangium*

Charbon d' <i>Acacia</i>	CAM _{1/400}	CAM _{6/400}	CAM _{1/600}	CAM _{6/600}	CAM _{1/800}	CAM _{6/800}
Masse initiale	100	100	100	100	100	100
Masse finale	90,03	85,65	71,95	75,95	70,20	66,01
Degré d'activation (%)	9,97	14,35	28,05	24,05	29,80	33,99

L'analyse du **tableau II** indique que le degré d'activation des charbons d'*Acacia auriculaeformis* augmente avec la température et le temps de réaction. Ces charbons confirment la règle générale décrite dans la littérature, en particulier par FERNANDEZ IBANEZ [3], MELJAC [4] et ELABED [5].

Les charbons activés à 400°C pendant 6 heures semblent échapper à cette tendance, laissant supposer que la température de réaction n'est pas suffisante pour « éliminer des atomes de carbone et libérer la porosité interne créée lors de la carbonisation » [4]. Cette situation pourrait, également, s'expliquer par le caractère hétérogène et anisotrope du bois : les propriétés sont différentes selon la direction (radiale, tangentielle ou longitudinale).

Concernant le degré d'activation des charbons d'*Acacia mangium*, le **tableau III** montre que, d'une manière générale, il croît avec l'augmentation de la température et du temps de réaction. Les charbons d'*Acacia mangium* activés à 600°C semblent échapper à cette règle générale. Les conditions opératoires pourraient expliquer cette déviation par rapport à la tendance générale décrite par plusieurs auteurs sur le sujet, à savoir que plus le temps d'activation est long, plus les pores sont libérés et plus le rendement est élevé [5,6].

On pourrait donc considérer que, d'une manière générale, pour les charbons des deux types d'*Acacia*, le degré d'activation augmente avec l'augmentation de la température et du temps de réaction. En outre, l'on observe quels que soient l'espèce, le temps et la température d'activation, que les degrés d'activation sont tous inférieurs à 50%. Cela indique une tendance pour les deux précurseurs à la microporosité et à la mésoporosité [7]. La mésoporosité est plus probable, car selon MELJAC [4], un charbon actif dont le précurseur est de faible densité comme le bois ou le lignite est peu microporeux.

3.2 SURFACE SPECIFIQUE DES CHARBONS ACTIFS

La surface spécifique S_L de chaque charbon actif d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium*, est estimée selon la méthode de LANGMUIR [8]. Pour rappel, l'équation de LANGMUIR est :

$$Q_e = Q_{mL} \cdot \frac{k_L C_e}{1 + k_L C_e} \quad (2)$$

Sous forme linéaire, elle devient :

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_{mL}} + \frac{1}{k_L \cdot Q_{mL}} \cdot \frac{1}{C_e} \quad (3)$$

Avec Q_e et Q_{mL} respectivement les capacités d'adsorption à l'équilibre et la capacité maximale d'adsorption en monocouche ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), k_L ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$) est la constante de Langmuir et C_e ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) est la concentration du soluté à l'équilibre. La représentation graphique de $1/Q_e = f(1/C_e)$ pour chaque charbon actif a permis de déterminer le coefficient de corrélation linéaire (R^2) et l'équation de la courbe de tendance de la forme $y = ax + b$.

Par identification de l'équation de la courbe de tendance avec l'équation (3), on tire :

$$\frac{1}{Q_{mL}} = b \quad \text{et} \quad \frac{1}{k_L \cdot Q_{mL}} = a \quad \text{et par la suite les valeurs de } k_L \text{ et } Q_{mL}.$$

La surface spécifique S_L de chaque charbon actif d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium*, est estimée à l'aide de la formule (4):

$$S_L = Q_{mL} \times S_{BM} \times N_A \quad (4)$$

Avec: S_L , la surface spécifique du charbon actif (m^2/g);

S_{BM} , l'aire occupée par une molécule de bleu de méthylène (175 \AA^2);

Q_{mL} , la capacité maximale d'adsorption en monocouche ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$);

N_A , le nombre d'Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$).

Dans les tableaux IV et V sont consignés la capacité maximale d'adsorption et la surface spécifique S_L des charbons d'*Acacia* activés aux différents temps et températures.

Tableau IV : Surface spécifique des charbons actifs d'*Acacia auriculaeformis*

Charbon actif	CAa _{1/400}	CAa _{6/400}	CAa _{1/600}	CAa _{6/600}	CAa _{1/800}	CAa _{6/800}
R^2	0,9972	0,9743	0,8386	0,8740	0,9974	0,9922
Q_{mL} (mg/g)	0,1757	0,2338	0,2342	0,265	0,2227	0,2744
Q_{mL} (mol/g)	0,000549	0,000731	0,000732	0,000828	0,000696	0,000858
S_L (m^2/g)	578,71	770,07	771,39	872,83	733,51	903,80

Tableau V : Surface spécifique des charbons actifs d'*Acacia mangium*

Charbon actif	CAM _{1/400}	CAM _{6/400}	CAM _{1/600}	CAM _{6/600}	CAM _{1/800}	CAM _{6/800}
R^2	0,4487	0,4218	0,6426	0,5419	0,8980	0,7608
Q_{mL} (mg/g)	nd	nd	nd	nd	0,2464	0,2502
Q_{mL} (mol/g)	nd	nd	nd	nd	0,000770	0,000782
S_L (m^2/g)	nd	nd	nd	nd	811,58	824,09

nd = valeur non déterminée pour les courbes dont le coefficient de linéarité est faible ($R^2 \ll 1$).

L'analyse des **tableaux IV et V** indique qu'avec $903,8 \text{ m}^2/\text{g}$, le charbon d'*Acacia auriculaeformis* activé à 800°C pendant six heures ($\text{CAa}_{6/800}$), a la surface spécifique plus élevée des échantillons de la même espèce, activés pendant un temps moins long et/ou à une température plus basse. La même tendance est observée avec les charbons actifs d'*Acacia mangium* pour lesquels $\text{CAm}_{6/800}$, activé à 800°C pendant six heures possède la plus grande surface spécifique ($824,09 \text{ m}^2/\text{g}$).

Les observations ci-dessus concordent avec celles faites lors de l'étude sur la détermination du degré d'activation. A savoir que, d'une manière générale, le degré d'activation du charbon augmente avec l'augmentation de la température et du temps de réaction. L'activation ayant pour objet de créer des pores dans la matière carbonée, l'augmentation de la température et du temps de la réaction aurait pour effet la création de nouveaux pores et l'élargissement des volumes de pores existants. Par conséquent la surface spécifique devient de plus en plus importante avec l'accroissement de la température et du temps d'activation. Des travaux antérieurs réalisés par d'autres auteurs corroborent cette assertion. A titre d'exemple KIFUANI et al. [6] ont montré que l'activation thermique à haute température (900°C) facilite le développement de la microporosité ouverte, c'est-à-dire celle dont les pores sont ouverts à la surface extérieure. Leurs études ont abouti à une surface spécifique de $1439,46 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$ pour les charbons actifs préparés par imprégnation de la bagasse de canne à sucre dans une solution de H_3PO_4 , suivie de l'activation thermique à 900°C .

Par ailleurs, en se servant des deux méthodes d'activation chimique ($400\text{-}600^\circ\text{C}$) et physique ($650\text{-}900^\circ\text{C}$), BAMBA et al. [9] ont obtenu des charbons actifs de coque de coco dont la surface spécifique varie entre 200 et $1\ 300 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$. Par l'activation physique à 800°C de coques de coco, en présence de CO_2 et N_2 , ATHEBA et al. [10] ont abouti à des charbons actifs de surfaces spécifiques évaluées respectivement à $522 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$ et $581 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$.

On note, cependant, que les valeurs obtenues dans la présente étude relative aux *Acacia*, ne sont pas très proches de celles obtenues par DANISH et al. [11] qui ont produit des charbons actifs d'*Acacia mangium* par imprégnation à l'aide de H_3PO_4 ($1038,7 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$) et de ZnCl_2 ($957,47 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$). Cela pourrait s'expliquer par la méthode d'activation et la technique d'évaluation de la surface spécifique utilisées. DANISH et al. ont activé chimiquement, en une étape, des broyats de bois d'*Acacia mangium*. Le procédé utilisé dans la présente étude se déroule en deux étapes : la carbonisation, suivie de l'activation du charbon. La technique d'évaluation de la surface spécifique utilisée par DANISH et al. pourrait être, également, une des causes de l'écart constaté entre les deux valeurs. La technique de DANISH et al. est basée sur l'application électronique de la méthode mise au point par BRUNAUER, EMMETT et TELLER (méthode B.E.T.) [12]. Cette méthode utilise le diazote liquide dont le diamètre est plus petit que celui du bleu de méthylène. Le diazote mesure toute la surface spécifique du charbon actif y compris celle des micropores, majoritaires. Le bleu de méthylène ne mesure que les surfaces des méso et des macropores.

Par ailleurs, les surfaces spécifiques des charbons actifs d'*Acacia* évaluées au cours de l'étude, peuvent être considérées comme intéressantes si on les compare à celles des charbons actifs commerciaux utilisés par d'autres auteurs au cours de leur expérimentation. A titre d'exemple, nous pouvons citer : AVOM et al. [13] : $S_L=159 \text{ m}^2/\text{g}$; OUATTARA et al. [14] : S_L de $\text{CACOM2} = 514,32 \text{ m}^2/\text{g}$; GOULI et al. [15] avec $S_{\text{BET}} = 200 \text{ m}^2/\text{g}$; BOUCHEMAL et ACHOUR [16] : S_{BET} de $\text{CAG}=550 \text{ m}^2/\text{g}$ et S_{BET} de $\text{CAP}=658 \text{ m}^2/\text{g}$. Les charbons actifs d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium* produits pourraient, par conséquent, être utilisés pour des applications dans l'adsorption de polluants en solution aqueuse.

3.3 FONCTIONS DE SURFACE DES CHARBONS ACTIFS

Les fonctions de surface des charbons actifs ont été déterminées par la méthode de BOEHM [2]. Les résultats (moyenne de deux (2) essais) sont consignés dans le **tableau VI**.

Tableau VI : Fonctions de surface des charbons actifs $\text{CAa}_{6/800}$ et $\text{CAm}_{6/800}$

Charbon actif	Carboxyliques (méq/g)	Lactones (méq/g)	Phénols (méq/g)	Acidité totale (méq/g)	Fonctions basiques (méq/g)
$\text{CAa}_{6/800}$	0,775	0,425	0,70	1,90	0,17
	40,8%	22,4%	36,8%	91,8%	8,2%
$\text{CAm}_{6/800}$	0,225	0,575	0,20	1	0,14
	22,5%	57,5%	20%	87,7%	12,3%

L'analyse du **tableau VI** montre que les charbons activés issus des deux espèces d'Acacia présentent des fonctions de surface mixtes : acide et basique.

Le charbon actif d'*Acacia auriculaeformis* (CAa_{6/800}) a une surface majoritairement acide (1,90 méq.g⁻¹, soit 91,8% de la surface totale). Les sites basiques représentent 8,2% de la surface. Le caractère acide provient des acides carboxyliques (0,775 méq.g⁻¹; soit 40,8%), des phénols (0,70 méq.g⁻¹; soit 36,8%) et des lactones (0,425 méq.g⁻¹; soit 22,4%).

La surface du charbon actif d'*Acacia mangium* (CAm_{6/800}) a, également, une surface majoritairement acide : 1,00 méq.g⁻¹, soit 87,7%. Les fonctions basiques représentent 12,3% de la surface totale avec 0,14 méq.g⁻¹. Le caractère acide (87,7% du total) provient des lactones (0,575 méq.g⁻¹; soit 57,5%), des acides carboxyliques (0,225 méq.g⁻¹; soit 22,5%) et des phénols (0,20 méq.g⁻¹; soit 20%).

La présence de sites acides et de sites basiques sur les deux charbons actifs d'Acacia suggère pour chacun d'eux la possibilité d'adsorber aussi bien des adsorbats anioniques que cationiques. L'adsorption du bleu de méthylène (cationique et basique) est, à priori, plus favorable sur le charbon actif CAa_{6/800} (91,8% de fonctions acides) que sur CAm_{6/800} (87,7%).

Les groupements fonctionnels à la surface des charbons actifs pourraient trouver leur origine dans les processus de carbonisation et d'activation. Selon MEZERETTE et VERGNET [17], au cours de la première phase de la carbonisation, les hémicelluloses se décomposent en xylanes qui donnent de l'eau et des acides carboxyliques (acide acétique et acide formique); des gaz oxygénés (CO, CO₂) et du méthanol se dégagent. La cellulose et la lignine se décomposent, pendant la troisième phase du processus, pour donner d'une part de l'eau, du gaz carbonique (CO₂), du charbon et d'autre part des goudrons lourds, du méthanol et des composés phénoliques.

Bien que l'activation ait pour objet d'éliminer les résidus volatiles et minéraux présents dans le charbon tout en augmentant sa porosité, des traces de ces résidus pourraient subsister quelle que soit l'efficacité du lavage après la réaction.

Les groupements fonctionnels à la surface des charbons actifs pourraient, également, être nés des liaisons entre l'oxygène et les différents atomes présents dans le matériau précurseur : hydrogène, chlore, soufre, azote, etc. Plusieurs auteurs dont CRINI et BADOT [18] soutiennent cette assertion. Selon eux, ces éléments deviennent partie intégrante de la structure chimique pendant le processus d'activation, sous la forme de fonctions de surface. Cette assertion est renforcée par KIFUANI et al [19], s'appuyant sur les travaux réalisés par MANGUN et al. [20], indiquent qu'au cours du processus, la séquence oxydative est :



Selon cet auteur, le groupe hydroxyle se forme en premier, puis s'oxyde en groupe carbonyle puis en groupe carboxylique.

4 CONCLUSION

Une étude a été réalisée sur les charbons produits à partir des bois âgés de 8 à 9 ans de deux espèces d'Acacia disponibles en Côte d'Ivoire : *Acacia auriculaeformis* et *Acacia mangium*. Ces charbons ont été activés selon la méthode chimique, en utilisant l'acide phosphorique (H₃PO₄) comme agent d'imprégnation.

L'analyse du rendement d'activation a montré que plus le temps de séjour dans le réacteur et la température croissent, plus grand est le degré d'activation, pour les charbons issus des deux espèces d'Acacia.

L'étude a montré que les charbons d'Acacia activés pendant 6 heures à 800°C ont donné une surface spécifique plus importante que ceux des autres lots dont la température de réaction et le temps de séjour dans le réacteur sont plus faibles. En outre, les charbons actifs à base d'*Acacia auriculaeformis*, possèdent une surface spécifique (S_L=903,8 m²/g) plus importante que ceux produits avec les charbons d'*Acacia mangium* (S_L=824,09 m²/g).

Par ailleurs, l'étude des fonctions de surface de ces deux charbons actifs a montré qu'ils sont à la fois acides et basiques. Le caractère acide de la surface est prédominant chez les deux, avec un avantage pour les charbons à base d'*Acacia auriculaeformis* (91,8%) contre 87,7% pour ceux issus des bois d'*Acacia mangium*.

Enfin, il ressort de l'étude réalisée que, tenant compte de leurs surfaces spécifiques, les charbons actifs d'Acacia peuvent être valablement comparés aux adsorbants disponibles dans le commerce. La nature de leurs fonctions de surfaces les prédispose à l'adsorption de divers polluants domestiques ou industriels aussi bien anioniques que cationiques.

REFERENCES

- [1] KRA D. O., KOUADIO N. A., ATHEBA G. P., COULIBALY B., ALLOU N. B., GBASSI K. G., TROKOUREY A., 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. pp. 542-553, 2 Feb. 2015.
- [2] BOEHM H.P., Some aspects of the surface chemistry of carbon black and other carbon. Carbon 32, 759-769, (1994).
- [3] FENANDEZ IBANEZ E., Etude de la carbonisation et de l'activation de précurseurs végétaux durs et mous ; Thèse de Doctorat ; Université de Neuchâtel ; Institut de chimie ; Décembre 2002.
- [4] MELJAC L., 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.
- [5] ELABED A., 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.
- [6] KIFUANI K. M., MUKANA W. M. et NOKI V. 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), 215-224. (2004).
- [7] FERREIRA de OLIVEIRA T., Etude d'un procédé de dépollution basé 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 ; 15 décembre 2011.
- [8] LANGMUIR, I., Modelisation of adsorption; Phys. Rev. 6: 79-80; 1916.
- [9] BAMBA D., DONGUI B., TROKOUREY A., ZORO G. E., ATHEBA G. P., ROBERT D., WEBER J. V. ; 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 ; 41 – 52 (2009).
- [10] ATHEBA P., GBASSI K. G., DONGUI B., BAMBA D., YOLOU F.S., TROKOUREY A. ; Etudes de la porosité, de la surface spécifique et des fonctions de surface de charbons actifs préparés après carbonisation artisanale des coques de noix de coco. Les technologies de laboratoire –, Volume 8, N° 34, 2014.
- [11] DANISH M., HASHIM R., MOHAMAD IBRAHIM M. N., RAFATULLAH M., AHMAD T., SULAIMAN O. 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 pyrolysis, volume 10; pp 418-425; november 2013.
- [12] BRUNAUER S., EMMET P. H., TELLER E., Journal of American Chemistry Society 60, 309, 1938.
- [13] AVOM J., KETCHA J. M., MATIP M. R. L., GERMAIN P., Adsorption isotherme de l'acide acétique par des charbons d'origine végétale ; African Journal of Science and Technology (AJST). Science and Engineering Series Vol. 2, No. 2, pp. 1-7 (2001).
- [14] OUATTARA P. H. K., GOULI BI I. M., KOUAKOU U., DEMBELE A., YAPO A. J. TROKOUREY A. Preparation and characterization of activated carbons based on peanut shell (*Arachis hypogaea*), green soya shell (*Vigna radiate*); International Journal of Science and Research (IJSR); Volume 3 Issue 7, July 2014.
- [15] GOULI B. M. I., YAPO A. J., ELLO A. S., DIABATE D. et TROKOUREY A. ; Adsorption of acetic and benzoic acids from aqueous solutions on activated carbon. Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie; 026; 53-57 ; 2008.
- [16] BOUCHEMAL F. et ACHOUR S. Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680 N°6, pp 81-89. (2007).
- [17] MEZERETTE C. et VERGNET L. F. La voie thermo-chimique. In: ANONYME- Guide Biomasse Energie. Collection Etudes et filières, pp 144-198, 1994.
- [18] CRINI G. et BADOT M. P. ; Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique ; pp 283-285. Presses universitaires de Franche-Comté; 2008.
- [19] KIFUANI K. M. A., NOKI V. P., NDELO DI P. J., MUKANA WA M. D., EKOKO B. G., ILINGA L. B. et MUKINAYI M. J., Adsorption de la quinine bichlorhydrate sur un charbon actif peu coûteux à base de la bagasse de canne à sucre imprégnée à l'acide phosphorique ; International Journal of Biological and Chemical Sciences 6(3) :1337-1359 ; June 2012.
- [20] MANGUN C. L., BENAK K. R., ECONOMY J., DALEY M. A., Oxidation of activated carbon fibers: effect on pore size, surface chemistry, and adsorption properties. *Chem Mater*, 11: 3476-3483. 1999.