

Caractéristiques physico-chimiques du charbon de pyrolyse de coques de noix d'anacarde et des charbons actifs qui en sont dérivés

Physico-chemical characteristics of the char from cashew nuts shells and activated carbons obtained from it

Kouassi Brou Guillaume^{1,*}, N.S. Serpokrylov¹, A.S. Smolyanichenko^{1,2}, E.G. Cheblakova³, V.A. Gorina³, Descord Venance Yoboué⁴

(1) Don State Technical University, 344000, Rostov-on-Don, 1 Gagarin sq., Russian Federation

(2) The State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakov, 8 Sedova St., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

(3) Research Institute of Graphite-Based structural Materials "Nllgraphit"; 2, Electrodnaya, Moscow, 111524, Russian Federation

(4) Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) ; 01 BP 1843 Abidjan, République de Côte d'Ivoire

* Auteur correspondant : guillaumekb@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Ce travail a pour but de caractériser le carbonisât des coques de noix d'anacarde (CNA) et les charbons actifs (CAs) qui en sont obtenus par activation physique pour une application dans le traitement de l'eau. Les caractéristiques analytiques mesurées sont la composition élémentaire, le pH, le taux de cendre et les groupes fonctionnels (phénol, carboxyle, carbonyle). La surface spécifique et le volume total de méso- et micropores ont été également mesurés comme caractéristiques essentielles des propriétés d'adsorption. Des CNA issues de la République de Côte d'Ivoire ont été prétraitées et carbonisées à 800°C. Puis à partir du carbonisât obtenu, trois CAs ont été préparés par activation thermique aux températures de 400, 600 et 700°C respectivement. Le temps d'activation a été fixé à 30 minutes. Le gaz activant utilisé est la vapeur d'eau. Les résultats ont montré que le carbonisât ne contient pas de phénol ni de groupement carboxyles. On trouve en revanche des groupes carbonyle (0,8 mg eq/g) qui confèrent au carbonisât des propriétés basiques. Le carbonisât et les CAs obtenus contiennent 79,7 - 82,4 % de C ; 1,20 - 1,66 % de N ; 1,2 - 1,9 % de H et des traces (1.10^{-5} à $3,3.10^{-2}$ %) des éléments suivants : Al, B, Fe, Si, Mg, Ca, Co, Cr, Mo, Ti, Mn, Cu, Cd, Ni, Pd, V. Le pH est 10,5-11,01 et le taux de cendre est 5,66 - 7,31 %. L'activation thermique a permis d'augmenter la surface spécifique des échantillons de $3,56 \pm 0,18$ m²/g dans le carbonisât à $45,3 \pm 1,3$; $165,7 \pm 4,6$ et 317 ± 11 m²/g dans les charbons actifs obtenus à 400, 600, 700°C respectivement. Les volumes totaux de méso- et micropores ont également été augmentés dans des proportions similaires.

MOTS-CLÉS : coque de noix d'anacarde, carbonisât, charbon actif, activation physique, groupe fonctionnel, analyse élémentaire, adsorption, surface spécifique, isotherme, République de Côte d'Ivoire

ABSTRACT

The aim of this work was to characterize the char of agricultural waste cashew nuts shells (CNS) and activated carbons prepared from CNS by physical activation method for the treatment of water. The characteristics studied are functional groups (phenol, carboxyl, and carbonyl), elemental analysis, pH and ash content. CNS from the Republic of Côte d'Ivoire were pre-treated and carbonized at 800°C. With the aid of the char obtained, three activated carbons were prepared corresponding to the following activation temperatures: 400, 600 and 700°C. The activation time was set at 30 minutes. The activating gas used is water vapor. The results showed that the char contains no phenol (0.00 mg eq/g) and carboxyl (0.00 mg eq/g), but a quantity of carbonyl (0.8 mg eq/g) which gives it basic properties. The char and the activated carbon obtained contain 79.7 - 82.40% C; 1.2 - 1.66% N; 1.2 - 1.9% H and 1.10^{-5} to $3.3.10^{-2}$ % of the following elements: Al, B, Fe, Si, Mg, Ca, Co, Cr, Mo, Ti, Mn, Cu, Cd, Ni, Pd, V; the pH is 10.5-11.01 and ash is 5.66 - 7.31%. The specific surface area and the total volume of meso- and micropores of char obtained are respectively 3.56 ± 0.18 m²/g and 0.0047 cm³/g. The specific surfaces of activated carbons as a function of the activation temperature (400, 600, 700 °C) and the total volume of meso- and micropores are respectively: 45.3 ± 1.3 ; 165.7 ± 4.6 ; 316.6 ± 11.0 m²/g and 0.035; 0.098; 0.183 cm³/g. The adsorption-desorption isotherm of the char obtained is type IV. The adsorption - desorption isotherms of the activated carbons are of type I (Langmuir isotherm).

KEYWORDS: cashew nut shells, char, activated carbons, physical activation, functional groups (phenol, carboxyl, carbonyl), elemental analysis, pH, ash, specific surface area, isotherm, Republic of Côte d'Ivoire

Caractéristiques physico-chimiques du charbon de pyrolyse de coques de noix d'anacarde et des charbons actifs qui en sont dérivés

Kouassi Brou Guillaume, N.S. Serpokrylov, A.S. Smolyanichenko,
E.G. Cheblakova, V.A. Gorina, Descord Venance Yoboué

Introduction

Le charbon actif (CA) est un réactif largement utilisé dans le traitement des effluents liquides ou gazeux. Il permet d'éliminer par adsorption tout ou partie des substances responsables du goût, de l'odeur ou de la couleur des effluents aqueux ainsi que les polluants organiques naturels ou xénobiotiques (AL Mardini Fadi, 2008 ; Tchakala Ibrahim *et al.*, 2016) ainsi que les ions métalliques dans l'eau (Siragi D.B. *et al.*, 2017 ; Gueye Mbaye, 2015). Les charbons actifs (CAs) peuvent être obtenus à partir de tout type de matériaux solides organiques telles que la tourbe, le bois et autres biomasses ligno-cellulosiques, les coques de fruits ou les noyaux (Gueye Mbaye, 2015).

La République de Côte d'Ivoire est le premier pays producteur de noix d'anacarde en Afrique (Tagutchou JP et Naquin Pascale, 2012). Sa production est en constante augmentation ces dernières années avec 380 000 tonnes en 2010 (Soro Doudjo, 2012), 450 000 tonnes en 2012 (Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire, 2014), plus de 700 000 tonnes en 2015 (Jeune Afrique, 2015 ; Ouattara Gniré Mariam, 2017), 725 000 tonnes en 2016 et 750 000 tonnes en 2018 (Ouattara Gniré Mariam, 2018), correspondant à près du quart de la production mondiale (Wade A., 2016). Après extraction de l'amande de la noix d'anacarde, les coques de noix d'anacarde (CNA) constituent un déchet. Dans la littérature, les déchets de CNA ont été l'objet d'études pour la production d'énergie (Tagutchou -Philippe, Naquin Pascale, 2012 ; Melzer Michael, 2013 ; Godjo Thierry, 2015). La préparation de charbon actif (CA) a été en revanche peu étudiée à partir des CNA. Les charbons actifs offrent pourtant de nombreuses applications dans le domaine du traitement des eaux et des effluents gazeux.

Le but de la présente étude était donc de préparer des CA par pyrolyse des CNA suivie de l'activation thermique du charbon de pyrolyse obtenu et de caractériser le carbonisât des coques de noix d'anacarde et les charbons actifs obtenus à différentes températures. Les caractéristiques étudiées sont : les groupes fonctionnels (phénol, carboxyle, carbonyle) analysés uniquement dans le carbonisât, l'analyse élémentaire, le pH, le taux de cendre, la surface spécifique. Des isothermes de sorption ont également été établies. Les mesures de surface spécifique et de distribution de tailles des pores ainsi

que les isothermes d'adsorption et de désorption ont fait l'objet de travaux antérieurs (Kouassi B.G. *et al.* 2019), mais ils sont présentés à nouveau ici pour permettre une discussion globale des résultats.

I. Matériel et Méthodes

I.1 - Origine et préparation des échantillons de CNA, carbonisât et CA

Les coques de noix d'anacarde (CNA) utilisées proviennent de l'usine (OLAM) de la ville de Dimbokro (République de Côte d'Ivoire) (figure 1). Les CNA contiennent une huile appelée « Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) ». Cette huile est riche en phénol (Tagutchou Jean-Philippe, Naquin Pascale, 2012 ; Melzer Michael, 2013 ; Lautié Emmanuelle *et al.*, 2001) et produit une fumée toxique au cours de sa carbonisation (Tagutchou Jean-Philippe, Naquin Pascale, 2012). Aussi, nous avons effectué un prétraitement des CNA dans le but d'extraire le CNSL avant l'étape de la carbonisation.

Pour cela les CNA brutes (2,5 - 3,5cm, voir figure 1a) ont été lavées plusieurs fois à l'eau du robinet pour éliminer les impuretés et la poussière. Ensuite, elles ont été séchées à l'air en couche mince pendant 24 heures à la température ambiante, puis broyées pour obtenir une fraction de 3 à 6 mm (figure 1b). Enfin, elles ont été bouillies dans l'eau du robinet par portions de 50 g pendant 2-3 heures afin d'extraire le CNSL. Une portion de 50 g des CNA bouillies a été séchée et pesée. La masse obtenue est 27 g, indiquant une humidité de l'ordre de 46 %.

Après extraction du CNSL, une masse de 100 g de CNA a été carbonisée à 800°C pendant 10 à 20 minutes dans un four. La vitesse de chauffage du four était d'environ 20°C/min. Le carbonisât résultant, référencé par C800, a été broyé et tamisé dans une gamme de 1 à 1,5 mm. Après l'étape de carbonisation, le charbon pyrolytique a subi un traitement d'activation physique à la vapeur d'eau. Pour cela, un échantillon de 25 g de C800 a été placé dans un réacteur en présence d'eau et l'ensemble a été mis au four à la température d'activation souhaitée pendant un temps d'activation fixé à 30 minutes. Le charbon actif obtenu a été broyé et tamisé à $\leq 0,16$ mm (figure 1c). Trois températures ont été comparées pour le



Figure 1. Photos de Coques de noix d'anacarde CNA brutes (1a, fraction : 2,5-3,5cm.) et broyées (1b : fraction 3-6 mm) ainsi que du charbon actif préparé par traitement de cette ressource (1c)

traitement d'activation : 400, 600 et 700°C. Au total, trois CAs ont donc été obtenus, référencés CA400, CA600 et CA700 correspondant respectivement aux températures d'activation 400, 600 et 700°C.

La préparation du charbon actif par activation physique est présentée dans le détail par Tchakala Ibrahim *et al.*, 2016 ; Gueye Mbaye, 2015 ; Bamba Drissa, 2007.

1.2- Méthodes d'analyse et de caractérisation des échantillons

Afin de caractériser les CAs obtenus, des échantillons ont été envoyés au laboratoire « Research Institute of Graphite-Based structural Materials Nllgraphit, Moscow, (Russia) » pour effectuer l'analyse quantitative des groupes fonctionnels, l'analyse élémentaire, la mesure du pH en suspension aqueuse, la mesure du taux de cendres, la surface spécifique, et l'isotherme.

Les groupes fonctionnels (phénol, carboxyle, carbonyle) ont été analysés sur la CNA, la CNA bouillie et sur le carbonisât (C800). Pour la CNA brute et bouillie, un échantillon de 0,5 g est mélangé à 0,5 mL d'une solution d'hydroxylamine $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ à 0,5 mol/L et le pH est ajusté à 5,2 avec une solution de NaOH à 0,5 mol/L. Le mélange est maintenu pendant 2 heures à 50°C dans d'un bain d'eau chaude. Puis un volume de solution est prélevé et titré avec une solution d'acide chlorhydrique HCl à 0,1 mol/L). Pour le carbonisât, le protocole est le même mais une masse de 0,5 g de

C800 est mélangée par agitation magnétique à un volume de 50 mL d'une solution de NaOH (0,1 N) pendant 72 heures. Puis la suspension a été filtrée. Pour la détermination des fonctions acides, la solution de NaOH (0,1 N) en excès est titrée par dosage en retour par une solution de HCl (0,1 N).

Le taux en carbone (C), azote (N) et hydrogène (H) a été analysé à l'aide d'un analyseur « EURO EA 3000 » et de la balance électronique : « Sartorius CP-2P ». Les éléments aluminium (Al), bore (B), fer (Fe), silicium (Si), magnésium (Mg), calcium (Ca), cobalt (Co), chrome (Cr), Molybdène (Mo), titane (Ti), manganèse (Mn), cuivre (Cu), cadmium (Cd), nickel (Ni), plomb (Pb) et vanadium (V) ont été analysés à l'aide d'un spectrographe DFS-8.

Le pH a été déterminé par mise en suspension d'une masse de 5,0 g d'échantillon dans 95 cm³ d'eau distillée, agitation vigoureuse pendant 3 min puis sédimentation pendant 10 min et filtration. Le pH après filtration a été analysé à une température de 20°C avec un pH-mètre « ionomère ANION 7010 ».

Le taux de cendres a été analysé par combustion d'une masse connue de CNA. La surface spécifique, la distribution des pores et les courbes d'isothermes d'adsorption et de désorption ont été déterminées à l'aide de l'appareil ASAP 2020 « micromeritics 2020 ». Les surfaces spécifiques (S_{BET} m²/g) ont été calculées en utilisant la méthode de BET (Brunauer-

Emmett-Teller). Le volume des mésopores et la distribution de taille des pores ont été calculés à l'aide de la méthode de Barrett, Joyner et Halenda (BJH) dans l'intervalle de pression P/P_0 compris entre 0,35 et 0,95. Le volume des micropores et la distribution de taille des pores ont été calculés par la méthode de Horvat - Kawazoe en utilisant l'isotherme d'adsorption - désorption de l'azote dans l'intervalle de pression P/P_0 compris entre 0,00 et 0,01. Toutes les molécules susceptibles d'être présentes dans la structure poreuse des échantillons sont éliminées par dégazage sous vide à une température de 150°C. Les isothermes d'adsorption et de désorption ont été déterminées à l'aide de l'azote sous pression P/P_0 (de 0,05 à 1) à la température de 77 K.

II. Résultats et discussion

II.1. Analyse quantitative des groupes fonctionnels

Les résultats d'analyse des groupes fonctionnels (phénol, carboxyle, carbonyle) sont donnés au tableau 1.

Le tableau 1 montre que la CNA et la CNA bouillie dans l'eau contiennent presque les mêmes quantités de phénol (2,45 mg eq/g) et carboxyle (1,95 mg eq/g). Par contre le carbonisât C800 ne contient pas de groupes phénol ni carboxyle mais contient des groupements carbonyle (0,8 mg eq/g) qui lui confèrent des propriétés basiques. Ce résultat suggère que le traitement des CNA broyées dans l'eau bouillante pendant 2 à 3 heures avant de les carboniser à 800°C permet d'éliminer le phénol et le carboxyle.

II. 2. Analyse élémentaire et physicochimique

Les résultats de l'analyse élémentaire des échantillons C800, CA400, CA600 et CA700 sont consignés dans le tableau 2.

Ces résultats montrent que le taux de C dans le carbonisât C800 et dans les CAs (CA400, CA600, CA700) est compris entre 79,7 et 82,4 %. Ces niveaux sont légèrement supérieurs aux valeurs de 77,7 % et 79 % mesurés par d'autres auteurs sur des carbonisâts obtenus par pyrolyse à 450°C de CNA provenant respectivement de la République du Burkina Faso (Tagutchou & Naquin, 2012) et de la République du Bénin (Godjo *et al.*, 2015). Les taux d'azote mesurés dans notre étude, compris entre 1,2 et 1,9 %, sont en revanche supérieurs aux valeurs de 0,9 % mesurées sur des CNA de la République du Burkina Faso par Tagutchou & Naquin, 2012. Les teneurs en H mesurées ici dans le carbonisât C800 et dans les échantillons CA400, CA600, CA700 sont comprises entre 1,2 et 1,6 %, soit significativement inférieures à celles mesurées sur des CNA de la République du Burkina Faso (3,8 %) par Tagutchou & Naquin, 2012). Les éléments

mineurs (Al, B, Fe, Si, Mg, Ca, Co, Cr, Mo, Ti, Mn, Cu, Cd, Ni, Pd et V) dans le carbonisât (C800) et dans les CAs (CA400, CA600, CA700) sont présents à l'état de traces (10^{-5} à $3,3 \cdot 10^{-2}$ %). Le contenu total en O n'a pas été déterminé dans le présent travail. Cependant, Tagutchou & Naquin Pascale, 2012, ont rapporté des teneurs de l'ordre de 10,8 % dans le carbonisât obtenu par pyrolyse à 450°C de CNA provenant de la République du Burkina Faso.

Le tableau 3 montre que le carbonisât (C800) et les autres échantillons CA400, CA600, CA700 ont des pH alcalins en suspension aqueuse, compris entre 10,5 et 11,0. Cela est justifié par l'absence de groupements fonctionnels acides phénol, carboxyle (tableau 1).

Le pH basique des CAs est comparable aux résultats disponibles dans la littérature qui rapportent des pH de 10,2 (Atheba Grah Patrick *et al.* 2015) et 9,05 (Hanan Guedidi, 2015).

Les taux de cendres sont compris entre 5,66 et 7,31 %. Si ces résultats suggèrent que l'efficacité du charbon actif sera réduite (Demirbas, 2004 ; Gueye Mbaye, 2015), mais il faut noter que ces valeurs sont relativement faibles à ceux de la littérature : 7,4 - 8,3 % (Ernesto de la Torre Chauvin, 2015) ; 14,75 % (Besma Berrima, 2015).

II. 3. Surface spécifique et structure poreuse (distribution de la taille des pores)

Les résultats de la détermination de la surface spécifique (S_{BET} m²/g) et des structures poreuses du carbonisât C800 et des charbons actifs obtenus (CA400, CA600, CA700) sont indiqués respectivement dans les tableaux 4 et 5.

Les résultats montrent que pour le carbonisât C800, la S_{BET} ($3,56 \pm 0,18$ m²/g, tableau 4) et le volume total de méso- et micropores (0,0047 cm³/g, Tableau 5) sont faibles par rapport aux valeurs mesurées dans les CAs. Pour les charbons actifs, l'augmentation de la température d'activation entraîne une augmentation de la S_{BET} ($45,3 \pm 1,3$; $165,7 \pm 4,6$; $316,6 \pm 11,0$ m²/g, tableau 4) et du volume total de méso- et micropores (0,035 ; 0,098 ; 0,183 cm³/g, tableau 5). En revanche, le diamètre moyen des micropores diminue par activation thermique (carbonisât > Cas) et avec la température d'activation. En effet, on trouve 5,01 Å pour le carbonisât et 3,9 ; 3,5 et 3,4 Å (tableau 5) pour les charbons actifs CA400, CA600 et CA700 respectivement. Enfin, le diamètre moyen des mésopores est de 94 Å pour C800 et entre 35 et 42 Å pour les CAs (tableau 5).

Les surfaces spécifiques (S_{BET} m²/g) obtenues sont comparables aux valeurs rapportées dans la littérature pour des CAs utilisés

Tableau 1. Analyse des groupes fonctionnels (phénol, carboxyle, carbonyle)

Echantillon 0,5 g	Phenol, mg eq/g	Carboxyle, mg eq/g	Carbonyle, mg eq/g
CNA	2,452	1,966	-
CNA bouillie dans de l'eau	2,450	1,955	0,029
C800	0,00	0	0,8

Tableau 2. Analyse élémentaire du carbonisât C800 et des charbons actifs CA400, CA600 et CA700

Eléments	Symbole	Contenus totaux exprimés en % pondéral de la masse sèche			
		C800	CA400	CA600	CA700
Carbone	C	82,40 ± 0,5	81,50 ± 0,5	82,00 ± 0,5	79,70 ± 0,5
Azote	N	1,30 ± 0,03	1,66 ± 0,03	1,37 ± 0,03	1,20 ± 0,03
Hydrogène	H	1,20 ± 0,02	1,90 ± 0,02	1,71 ± 0,02	1,70 ± 0,02
Oxygène	O	-	-	-	-
Aluminium	Al	3,3.10 ⁻²	3,5.10 ⁻²	2,9.10 ⁻²	3,1.10 ⁻²
Bore	B	1,4.10 ⁻³	4,5.10 ⁻⁴	5,3.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻³
Fer	Fe	2,4.10 ⁻²	1,4.10 ⁻²	8,1.10 ⁻³	1,2.10 ⁻²
Silicium	Si	1,5.10 ⁻²	1,5.10 ⁻²	1,3.10 ⁻²	1,2.10 ⁻²
Magnésium	Mg	6,3.10 ⁻²	6,8.10 ⁻²	6,5.10 ⁻²	6,6.10 ⁻²
Calcium	Ca	5,7.10 ⁻²	4,8.10 ⁻²	3,8.10 ⁻²	4,1.10 ⁻²
Cobalt	Co	6,0.10 ⁻⁴	3,4.10 ⁻⁴	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵
Chrome	Cr	5,3.10 ⁻⁴	3,2.10 ⁻⁴	6,1.10 ⁻⁴	6,7.10 ⁻⁴
Molybdène	Mo	1,3.10 ⁻³	4,9.10 ⁻⁴	8,5.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻³
Titane	Ti	9,9.10 ⁻³	9,7.10 ⁻³	7,0.10 ⁻³	7,7.10 ⁻³
Manganèse	Mn	1,8.10 ⁻²	1,8.10 ⁻²	1,5.10 ⁻²	1,7.10 ⁻²
Cuivre	Cu	5,4.10 ⁻³	7,1.10 ⁻³	5,3.10 ⁻³	7,1.10 ⁻³
Cadmium	Cd	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵
Nickel	Ni	5,1.10 ⁻⁴	5,2.10 ⁻⁴	3,6.10 ⁻⁴	4,3.10 ⁻⁴
Plomb	Pb	6,1.10 ⁻⁴	2,6.10 ⁻³	1,8.10 ⁻⁴	<1,0.10 ⁻⁵
Vanadium	V	1,4.10 ⁻³	2,8.10 ⁻³	2,5.10 ⁻³	2,9.10 ⁻³

Tableau 3. Analyses physicochimiques des échantillons C800, CA400, CA600, CA700

Echantillons	pH	Taux de cendres %
C800	10,5	6,60
CA400	10,5	5,66
CA600	11,0	6,29
CA700	11,0	7,31

Tableau 4. Surface spécifique du carbonisât C800 et des charbons CA400, CA600 et CA700 obtenus par activation à 400, 600, 700 °C

Temps d'activation, min	Température d'activation, °C	Surface spécifique des échantillons, m ² /g	
30	-	3,56±0,18	C800
	400	45,3±1,3	CA400
	600	165,7±4,6	CA600
	700	316,6±11,0	CA700

Tableau 5. Structure poreuse des échantillons C800, CA400, CA600 et CA700

Echantillons	Le volume total de méso - et micropores (d < 480 Å), cm ³ /g	Le diamètre moyen des mésopores, Å	Volume total de micropores (d < 20 Å), cm ³ /g	Le diamètre moyen des micropores, Å
C800	0,0047	94	0,0008	5,01
CA400	0,035	42	0,012	3,9
CA600	0,098	35	0,072	3,5
CA700	0,183	39	0,140	3,4

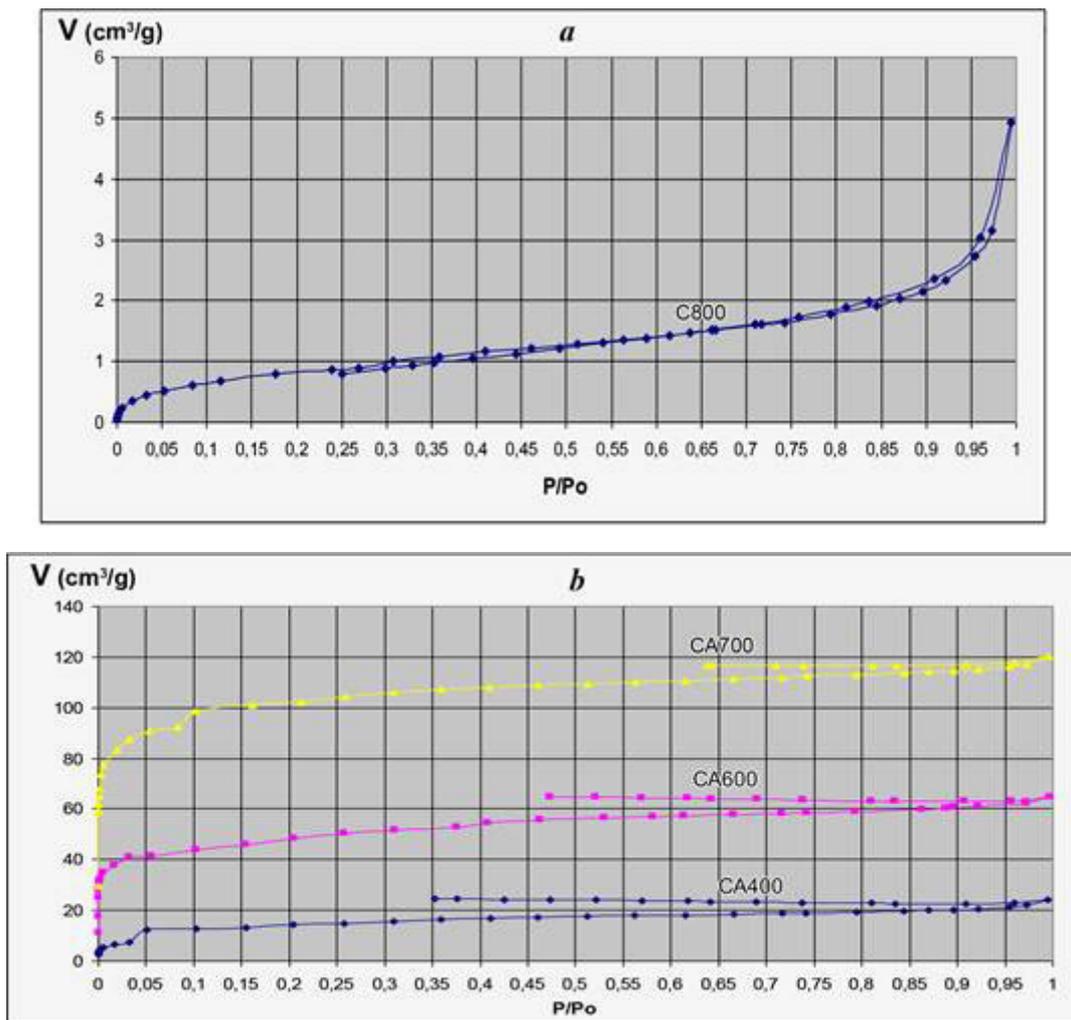


Figure 2. Isothermes d'adsorption-désorption de l'azote à 77 K sur le carbonisât C800 (a) et sur les charbons actifs CA400, CA600, CA700 (b)

dans le traitement de l'eau : 248 m²/g (Hashemian S., 2014) ; 155,91 ; 302,07 et 292,45 m²/g (Rajeshwari Sivaraj et al., 2010).

II. 4. Isothermes d'adsorption et de désorption

Le carbonisât C800 est légèrement poreux. Son isotherme d'adsorption - désorption est illustré à la figure 2a. C'est une isotherme de type IV selon la classification proposée par S. Brunauer, L. Deming, W. Deming et E. Teller (BDDT). Les isothermes présentent une boucle d'hystérésis, indiquant la présence de mésopores (pores de 2 à 50 nm) dans lesquels se produit une condensation capillaire irréversible. L'hystérésis correspond au type B selon la classification de De Boer.

Les isothermes des CAs obtenus (CA400, CA600, CA700) sont représentés à la figure 2b. Ces isothermes sont de type I (isotherme de Langmuir) selon la classification ci-dessus. Les CAs sont microporeux. On note que les isothermes augmentent à basse pression P/P_0 (inférieures à 0,03) ainsi que la présence d'un plateau presque horizontal, indiquant que les

micropores sont alors saturés. La présence de petits hystérésis peut indiquer une dégradation partielle de la structure du matériau en cours d'adsorption.

Conclusion

L'étude des caractéristiques physico-chimiques du carbonisât des coques de noix d'anacarde et des charbons actifs qui en sont tirés par activation physique suggère les conclusions suivantes :

- Le traitement des CNA broyées (fraction 3-6 mm) dans de l'eau à l'ébullition pendant 2-3 heures avant de les carboniser à 800 °C pourrait permettre d'éliminer les phénols et les carboxyles.
- Le pH du carbonisât et des charbons actifs sont compris entre 10,52 et 11,01. Ces résultats confirment ce qui précède, c'est à dire que les charbons actifs obtenus ne possèdent pas de groupes fonctionnels acides (phénol, carboxyle) d'où un pH basique.

- Le carbonisât et les charbons actifs obtenus contiennent des taux de carbone élevés compris entre 79,7 et 82,4 % de leur masse sèche. Les contenus totaux en N et H sont compris entre 1,2 et 1,9 %. Les taux de cendres sont compris entre 5,66 et 7,31 %.

- La surface spécifique et le volume total de méso- et micropores du carbonisât C800, respectivement de $3,56 \pm 0,18 \text{ m}^2/\text{g}$ et $0,0047 \text{ cm}^3/\text{g}$, sont faibles par rapport aux valeurs mesurées dans les charbons actifs qui en sont dérivés. La surface spécifique des charbons actifs augmente de 45,3 à $316,6 \pm 11,0 \text{ m}^2/\text{g}$ lorsque la température d'activation augmente de 400 à 700°C avec un temps d'activation fixe de 30 minutes. La même évolution est observée pour le volume total de méso- et micropores ($0,035 ; 0,098 ; 0,18 \text{ cm}^3/\text{g}$). On peut donc penser que la surface spécifique et le volume total de méso- et micropores pourraient être encore supérieurs si on augmentait davantage la température d'activation.

L'application des charbons actifs préparés à partir des coques de noix d'anacarde pour le traitement de l'eau sera le sujet d'une prochaine étude.

Références bibliographiques

AL-Mardini Fadi (2008), Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre en milieu aqueux, Effet compétiteur des matières organiques naturelles. Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, Ecole supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, 245p.

Atheba Grah Patrick, Allou N'Guadi Blaise, Dongui Bini Kouamé, Kra Drissa Ouattara, Gbassi K. Gildas, Trokourey Albert (2015). Adsorption du butylparabène sur du charbon activé à base des coques de coco provenant de Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13(2), pp. 530-541. <http://www.ijisrjournals.org/abstract.php?article=IJISR-14-353-03>

Bamba Drissa (2007). Elimination du diuron des eaux par des techniques utilisant les ressources naturelles de la Côte d'Ivoire : photocatalyse solaire et charbon actif de coques de noix de coco. Thèse de doctorat de l'Université de Metz et de l'Université de Cocody-Abidjan, 151 p.

Berrima Bisma (2015). Etude structurale et chimique de la lignine d'Alfa et sa valorisation comme macromonomère et/ou précurseur du charbon actif. Thèse de doctorat de l'Université Grenoble Alpes et de l'Université de Sfax, 155 p.

Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire. La filière de l'anacarde en bref ; Fiche sectorielle Filière Anacarde ; Disponible sur : <http://www.cci.ci/3.0/component/content/article/133-telechargements/683-fiches-sectorielles>, publié le 08.08.2014, consulté le 01.10.2018.

Demirbas Ayhan (2004). Effect of initial moisture content on the yields of oily products from pyrolysis of biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), pp. 803-815. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2003.10.008>

de la Torre Chauvin Ernesto Hale (2015). Préparation de charbon actif à partir de coques de noix de palmier à huile pour la récupération d'or et le traitement d'effluents cyanurés. Thèse de doctorat de Université catholique de Louvain, 350 p.

Godjo Thierry, Tagutchou Jean-Philippe, Naquin Pascale, Gourdon Rémy (2015). Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin. *Déchets Sciences et Techniques*, 70, pp. 11-18. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3282>

Gueye Mbaye (2015). Développement de charbon actif à partir de biomasses lignocellulosiques pour des applications dans le traitement de l'eau. Thèse de doctorat de l'Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), Ouagadougou, Burkina Faso, 229 p.

Guedidi Hanen (2015). Préparation et modification de carbones activés pour l'adsorption de polluants organiques émergents : molécules pharmaceutiques et liquides ioniques, Thèse de doctorat de l'Université Grenoble et de l'Université de Grenoble et l'Université de Tunis El Manar, 142 p.

Hashemian Saeedeh, Salari Khatereh, Yazdi Zahra Atashi (2014). Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), pp. 1892-1900. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.009>

Jeune Afrique (2015). Côte d'Ivoire : forte poussée de la récolte de noix de cajou en 2015 [en ligne]. <https://www.jeuneafrique.com/251243/economie/cote-divoire-forte-poussee-de-la-recolte-de-noix-de-cajou-en-2015/>, publié le 28.07.2015, consulté le 01.10.2018

Kouassi Brou Guillaume, Serpokrylov N. S., Smolyanichenko A. S., Cheblakova E. G., Gorina V. A. (2019). Preparation of activated carbon from cashew nut shells for water purification. *Izvestiya Vuzov. Poroshkovaya Metallurgiya i Funktsional'nye Pokrytiya (Universities' Proceedings. Powder Metallurgy and Functional Coatings)* ; 2, pp : 15-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2019-2-15-22>

Lautié Emmanuelle, Dornier Manuel, de Souza Filho M., Reynes Max (2001). Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*, 56(4), pp. 235-248.

Melzer Michael (2013). Valorisation énergétique des sous-produits agricoles en zone sub-saharienne : pré-conditionnement de la biomasse par pyrolyse flash. Thèse de doctorat de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) ; Burkina Faso, Ouagadougou et de l'Université de Technologie de Compiègne, 338 p.

Ouattara Gniré Mariam (2017). Les déterminants de l'adoption de certaines bonnes pratiques culturelles avant récolte de la noix de cajou en Côte

d'Ivoire. IOSR Journal of Economics and Finance, 8(3), pp. 08-15. <https://doi.org/10.9790/5933-0803010815>.

Ouattara Gniré Mariam (2018). Analyse de la dynamique de l'offre de noix brutes de cajou en Côte d'Ivoire : une application par l'approche autorégressif à retards échelonnés (ARDL). *European Scientific Journal*, 14 (34), pp. 292-306. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n34p292>

Rajeshwari Sivaraj, Venkatesh Rajendran, G. Sangeetha Gunalan (2010). Preparation and characterization of activated carbons from parthenium biomass by physical and chemical activation techniques. *E-Journal of Chemistry*, 7 (4), pp. 1314–1319. <https://doi.org/10.1155/2010/948015>

Siragi D.B, Maazou, Halidou I. Hima, Maman Mousbahou M.A., Zanguina Adamou, Ibrahim Natatou (2017). Elimination du chrome par du charbon actif élaboré et caractérisé à partir de la coque du noyau de *Balanites aegyptiaca*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), pp. 3050-3065. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.39>

Soro Doudjo (2012). Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits. Thèse de doctorat de Montpellier ; Supagro, Institut des Régions Chaudes, 135p.

Tagutchou Jean-Philippe, Naquin Pascale (2012). Caractérisation et traitement thermochimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou. *Déchets sciences et techniques*, 62, pp. 28-35. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.2722>

Tchakala Ibrahim, Kodom Tomkouani, Alfa-Sika Mande Seyf-Laye, Bawa Moctar L., Djaneye-Boundjou Gbandin (2016). Traitement d'une eau naturelle polluée par adsorption sur du charbon actif (CAK) préparé à partir de tourteaux de karité. *Déchets Sciences et Techniques*, 72, pp. 1-6. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3497>

Wade Adama (2016). La Côte d'Ivoire attend une production de 725 000 tonnes de noix de cajou en 2016, soit 24 % de l'offre mondiale [en ligne]. *Financial Afrik*, <https://www.financialafrik.com/2016/02/15/la-cote-divoire-attend-une-production-de-725-000-tonnes-de-noix-de-cajou-en-2016-soit-24-de-loffre-mondiale/>, publié le 15.02.2016, consulté le 01.10.2018.