

ADSORPTION DE L'IODE PAR DES CHARBONS ACTIFS DE RAFLES DE RÉGIMES DE PALMES

Avom Jérôme*, Ketcha Joseph Mbadcam*, Babale Djam Doudou*, Ngonon Abega Irène*
et Patrick Germain**

* Laboratoire de chimie physique (Cameroun)

** Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et des systèmes industriels, Villeurbanne

Les propriétés adsorbantes des charbons actifs de rafles de régimes de palmes de la région de Yaoundé (Cameroun) ont été déterminées à partir des isothermes d'adsorption de l'iode en solution aqueuse iodo-iodurée par application de la théorie de Langmuir et de la théorie de Freundlich. Il est apparu que l'adsorption de l'iode n'est pas limitée à l'établissement d'une monocouche à la surface de l'adsorbant et qu'il y a remplissage des pores de transition. D'autre part, pour une meilleure exploitation de l'isotherme d'adsorption, on doit tenir compte de la concentration de l'iode libre en solution et non de la concentration totale de l'iode à l'équilibre. Nous avons pu ainsi déterminer les facteurs qui influencent la préparation de ces charbons et en particulier ceux qui conduisent à l'élargissement des pores, conditions étroitement liées au mode d'activation.

The iodine-iodide-water system has been used to study adsorption by activated carbons obtained from local Cameroonian palm-tree cobs. The adsorbent is characterized in terms of micropore volume and effective surface area as provided by the Langmuir theory and Freundlich theory of adsorption. It was found that iodine adsorption is not restricted to monolayer coverage and that filling of transitional porosity occurred. The correct isotherm must employ free iodine concentration and not total iodine concentration. Thus, we have been able to establish factors that influence the preparation of the activated carbons and in particular the enlargement of their pores – conditions tied to their method of activation.

INTRODUCTION

Les adsorbants microporeux en général et les charbons actifs en particulier sont abondamment utilisés dans l'extraction d'espèces chimiques en phase aqueuse ou en phase gazeuse à cause de leur excellente capacité d'adsorption,

capacité liée à leur grande surface spécifique et au développement de leur porosité. À cet effet, les charbons actifs ont toujours joué un rôle prépondérant dans la purification de l'eau, la décoloration des sucres, la récupération des solvants volatiles, l'industrie pharmaceutique et le traitement des gaz. Ces réactions ayant souvent lieu en solution, il est nécessaire de comprendre de la manière la plus complète possible, la physicochimie de ce processus. Par ailleurs, l'adsorption en solution faisant intervenir un système binaire, l'obtention de l'isotherme d'adsorption du soluté nécessite la connaissance de la surface spécifique en tenant compte de la condensation capillaire ou de la formation d'une multicouche d'adsorbant sur la surface de l'adsorbant.

Dans le cadre des recherches visant à la valorisation de la biomasse camerounaise, il nous a semblé opportun de nous intéresser aux rafles de régimes de palmes, déchets abondants de l'industrie de l'huile de palme. La présente étude porte ainsi sur la détermination et la comparaison des propriétés adsorbantes de charbons actifs de rafles et de charbons actifs commerciaux par adsorption d'iode. Cette étude vise deux objectifs : vérifier le rôle joué par la porosité résultant de l'activation et évaluer l'efficacité du charbon dans le traitement des eaux, capacité d'adsorption liée étroitement à la surface spécifique des charbons. Le diamètre relativement petit de la molécule d'iode ($d = 4,94 \text{ \AA}$) [1] par rapport à celui des pores des charbons actifs ($d = 10-30 \text{ \AA}$) [2] permet son adsorption sélective en solution sur la surface de ces matériaux. Cette étude se veut ainsi un test qualitatif et une alternative à l'adsorption en phase gazeuse dans l'établissement des isothermes d'adsorption. [3], [4]

PARTIE EXPERIMENTALE

Préparation des charbons

Les charbons obtenus proviennent des rafles de régimes de palmes de la région de Yaoundé. Les techniques de carbonisation et d'activation utilisées ont été présentées et décrites ailleurs [5]. Après refroidissement, le charbon obtenu a été lavé à l'acide chlorhydrique à 5 % puis à l'eau distillée et enfin séché.

Tableau 1 : Liste des échantillons des charbons des rafles étudiés

Echantillon	Code	Imprégnation	Vitesse de chauffe	Température du palier	Durée du palier		
						°C/h	°C
		Durée (h)	Agent	Concentration			
1/2 RPZ607-0	C3	1/2	ZnCl ₂	60 %	600	700	0
1/2 RPZ607-5	C4	1/2	ZnCl ₂	60 %	600	700	5
24RPZ107-2	C1	24	ZnCl ₂	10 %	600	700	2
48RPZ607-0	C2	48	ZnCl ₂	60 %	600	700	0
72RPZ107-0	C5	72	ZnCl ₂	10 %	600	700	0
72RPZ607-0	C6	72	ZnCl ₂	60 %	600	700	0

Tous les charbons ont été broyés et les fractions retenues (d - 63 µ m) ont été placées pendant 24 heures dans une étuve à 110 °C puis conservées, à température ambiante, dans un dessiccateur contenant du chlorure de calcium. Les échantillons de charbons des rafles utilisés sont répertoriés dans le tableau 1. Le tableau 2 présente les échantillons de charbons actifs commerciaux COM1, COM2, NC.35, NCF0.5/2 et 2SAP/C : COM2 est un charbon actif commercial d'origine végétale préparé et vendu par la société Riedel-de-Haën ; NC.35 est un charbon granulé de noix de coco activé à la vapeur d'eau à 950 °C ; NCF0.5/2 est un charbon de noix de coco activé à la vapeur d'eau et imprégné par des sels de fer ; 2SAP/C est un charbon de pin activé à la vapeur d'eau, préparés par la société CECA S.A. [6] ; l'échantillon COM1 nous a été fourni par l'hôpital de la CNPS de Yaoundé.

Étude expérimentale

L'adsorption en solution, de par sa mise en œuvre relativement facile, est une méthode courante de détermination du pouvoir adsorbant des charbons. Elle permet non seulement de déterminer la capacité d'adsorption mais aussi, dans certains cas, le calcul de la surface spécifique et la détermination de la porosité.

Compte tenu du domaine des concentrations utilisées, le pouvoir adsorbant des charbons par adsorption de l'iode a été évalué par mesure de l'indice d'iode et par établissement des isothermes d'adsorption à 25 °C.

Détermination des indices d'iode

La détermination des indices d'iode présente un double objectif : elle permet d'une part l'étude du rôle joué par

Tableau 2 : Échantillons des charbons actifs commerciaux

Echantillons commerciaux	Code	Origine	Utilisation
COM1	C7	Hôpital de la CNPS	Traitement de l'eau
COM2	C8	Riedel-de-Haën	Traitement de l'eau
NC.35	C9	CECA S.A.	Déchloration de l'eau
NCF0.5/2 volatiles	C10	CECA S.A.	Rétention des solvants volatiles
2SAP/C	C11	CECA S.A.	Décoloration du sucre

l'activation sur l'augmentation du diamètre des pores, d'autre part c'est un test de contrôle de l'efficacité des charbons actifs obtenus dans les applications en phase aqueuse.

Pour des raisons de commodité, l'indice d'iode est défini comme étant la masse d'iode adsorbée par 100 g de charbon étuvé à 105 °C, passant au tamis de 80 µ m et agité pendant 4 minutes dans une solution iodo-iodurée 0,05 mol. L⁻¹ suivant les normes françaises [7].

Le mode opératoire utilisé est une adaptation de la méthode de mesure d'Indice d'iode du centre d'étude du Bouchet : à la température de 25 °C, une masse de 0,1 g de charbon sec est placée dans un bécher. On y ajoute 20 ml de solution d'iode de concentration 0,1 mol.L⁻¹ et l'ensemble est agité pendant 4 minutes. La suspension est ensuite filtrée sur papier filtre sans cendres. Le papier filtre est rincé jusqu'à disparition de toute trace d'iode et le filtrat dosé par un volume V de solution de thiosulfate de concentration C = 0,1 mol.L⁻¹. Un essai à blanc (sans charbon) est effectué dans les mêmes conditions pour tenir compte de l'absorption éventuelle de l'iode par le papier filtre, ce qui conduit au volume V' de thiosulfate.

Par application de la relation :

$$I = 100 \frac{m_{I_2}}{m} \tag{1}$$

où m_{I₂} est la masse d'iode adsorbée et m la masse de charbon, on déduit l'indice d'iode I. m_{I₂} est déterminé à partir de la différence entre la quantité d'iode mise en contact avec le charbon et celle restant en solution après adsorption, quantités obtenues par dosage volumétrique.

Détermination des isothermes d'adsorption

Compte tenu de sa très petite taille (d = 4,94 Å), la molécule d'iode est une bonne alternative à l'adsorption physique des gaz. Son adsorption en solution dans du tétrachlorure de carbone est utilisée industriellement pour mesurer les surfaces spécifiques.

Dans le cadre de notre étude, nous avons établi les isothermes d'adsorption de l'iode en solution aqueuse par application des modèles de Langmuir et de Freundlich. [1],[8],[9],[10]

Le mode opératoire est le même que celui utilisé pour la détermination de l'indice d'iode, l'expérience se déroulant à la température de 25 °C.

Pour l'établissement d'une isotherme, on agite simultanément 12 prises d'essai du même échantillon en faisant varier la concentration initiale de la solution d'iode.

La masse d'iode adsorbée à l'équilibre par gramme de charbon (Q_e) est calculée de la même manière que pour l'indice d'iode et pour le calcul de (C_e) concentration de l'iode

en solution à l'équilibre, il faut tenir compte de l'équilibre

$I_2 + KI \leftrightarrow KI_3$ dont la constante d'équilibre $K_c = 870$ à $25^\circ C$.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Indices d'iode

Si l'on appelle

– m_0 la masse d'iode contenue dans la prise d'essai (20 ml)
– m' la masse d'iode contenue dans le filtrat de l'essai à blanc

– m'' la masse d'iode contenue dans le filtrat de l'essai d'adsorption

– m_f la masse d'iode éventuellement retenue dans le filtre on a : $m_0 = m_f + m'' + m_{I_2}$

Comme $m_f = m_0 - m'$, on déduit $m_{I_2} = m' - m''$

En prenant $m = 0,1$ g et avec $M(I_2) = 254$ g/mol, la relation

Tableau 3 : Indices d'iode (mg/g) des charbons

Charbons de Rafles		Charbons commerciaux	
Echantillon	$I \pm 3$	Echantillon	$I \pm 3$
$I_{1/2}$ RPZ607-0	65	COM 1	97
$I_{1/2}$ RPZ607-5	111	COM 2	105
24RPZ107-2	46	NC 35	109
48RPZ607-0	64	NCF 0.5/2	103
72RPZ107-0	50	2SAP/C	71
72RPZ607-0	61		

(I) devient alors :

$$I = 12,7 (V' - V) \quad (2)$$

avec V et V' exprimés en ml.

Les résultats obtenus sont ceux du tableau 3.

ISOTHERMES D'ADSORPTION

Modèles

Les modèles mathématiques utilisés sont le modèle de Langmuir et le modèle de Freundlich.

Dans le modèle de Langmuir, l'équation relative à l'adsorption d'une monocouche à la surface de l'adsorbant est :

$$Q_e = \frac{Q_0 K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

où : Q_e est la quantité de soluté adsorbée à l'équilibre par unité de masse d'adsorbant (mg/g) ; Q_0 la quantité de soluté nécessaire pour recouvrir la surface de l'adsorbant d'une monocouche de molécules adsorbées (mg/g) ; K_L la constante caractéristique du couple adsorbant-adsorbé dans l'équation de Langmuir ; C_e la concentration d'adsorbé en solution à l'équilibre (soluté non adsorbé), par unité de masse de solide ($mg \cdot L^{-1} \cdot g^{-1}$).

L'équation empirique de Freundlich [8], basée sur l'hypothèse qu'une couche monomoléculaire est adsorbée, est donnée par la relation :

$$Q_e = K_F (C_e)^n \quad (4)$$

où Q_e est la quantité de soluté adsorbée à l'équilibre par unité de masse d'adsorbant (mg/g) ; C_e la concentration d'adsorbé en solution à l'équilibre (soluté non adsorbé), par unité de masse de solide ($mg \cdot L^{-1} \cdot g^{-1}$) ; K_F la constante caractéristique du couple adsorbant-adsorbé ; n une constante permettant de décrire l'isotherme d'adsorption.

Détermination de Q_e et de C_e

1) Détermination de Q_e

La masse d'iode adsorbée à l'équilibre par gramme de charbon (Q_e) est calculée de la même manière que pour l'indice d'iode et l'on a :

$$Q_e = \frac{127 \cdot 10^{-4} (V' - V)}{m} \quad (5)$$

où V' et V sont les volumes exprimés en ml et m la masse de charbon sec pesé.

2) Détermination de C_e

Pour le calcul de C_e , il faut tenir compte de l'équilibre $I_2 + KI \leftrightarrow KI_3$ dont la constante d'équilibre $K_c = 870$ à $25^\circ C$. Le dosage par le thiosulfate permettant de déterminer la concentration en iode total en solution sous forme de I_2 (iode libre) et I_3^- (iode combiné) et l'adsorption de l'iode par le charbon ne dépendant que de l'iode libre en solution [11], l'expression de C_e est :

$$C_e = C_{I_2} \left(1 - \frac{K_c C_{KI}}{1 + K_c C_{KI} + K_c C_{I_2}} \right) \quad (6)$$

avec :

C_{I_2} : la concentration de l'iode total à l'équilibre en mol/L.

C_{KI} : la concentration de la solution initiale de KI.

C_{I_2} obtenu par dosage volumétrique par du thiosulfate 0,01 mol.L⁻¹ est égal à :

$$\frac{V_0 - V' + V}{4000}$$

où V_0 est le volume de thiosulfate nécessaire à la standardisation de la solution initiale d'iode.

Considérons l'équilibre en solution : $KI + I_2 \leftrightarrow KI_3$. Par application de la loi d'action des masses, on a :

$$K_c = \frac{[KI_3]_e}{[I_2]_e [KI]_e} = 870 \text{ à } 25^\circ C$$

$$C_{I_2} = [I_2]_e + [KI_3]_e \text{ et } [KI]_e = [KI]_i - [KI_3]_e$$

En portant les expressions correspondantes de $[I_2]_e$ et $[KI]_e$ dans K_c , on a :

$$K_c = \frac{[KI_3]_e}{(C_{I_2} - [KI_3]_e)([KI]_i - [KI_3]_e)}$$

$$\Rightarrow [KI_3]_e = K_c [C_{I_2} [KI]_i - C_{I_2} [KI_3]_e - [KI_3]_e [KI]_i] + [KI_3]_e^2$$

Si on néglige $[KI_3]_e^2$ on a :

$$K_c C_{I_2} [KI]_i$$

$$[KI_3]_e = \frac{I}{1 + K_c C_{I_2} + K_c [KI]_i}$$

$$\Rightarrow C_e = [I_2]_e = C_{I_2} - [KI_3]_e = C_{I_2} \left(1 - \frac{K_c [KI]_i}{1 + K_c C_{I_2} + K_c [KI]_i} \right)$$

$$\Rightarrow C_e = [I_2]_e = C_{I_2} - [KI_3]_e = C_{I_2} \left(1 - \frac{87}{88 + 870 C_{I_2}} \right) \text{ mol.L}^{-1}$$

Isothermes d'adsorption

Les résultats expérimentaux obtenus (tableau 4) ont permis de construire les isothermes de Langmuir $Q_e = f(C_e)$, figures 1a, 1b, 1c ; les transformées linéaires de Langmuir $C_e/Q_e = f(C_e)$ figures 2a, 2b, 2c et les transformées linéaires de Freundlich $\ln Q_e = f(\ln C_e)$ figures 3a, 3b, 3c. Les courbes 1c, 2c et 3c permettent de délimiter la zone relative aux charbons de rafles d'une part et celle relative aux charbons actifs commerciaux d'autre part.

Détermination des surfaces spécifiques

La forme linéaire de l'équation de Langmuir :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_0} C_e + \frac{1}{Q_0 K_L} \quad (7)$$

montre que la courbe

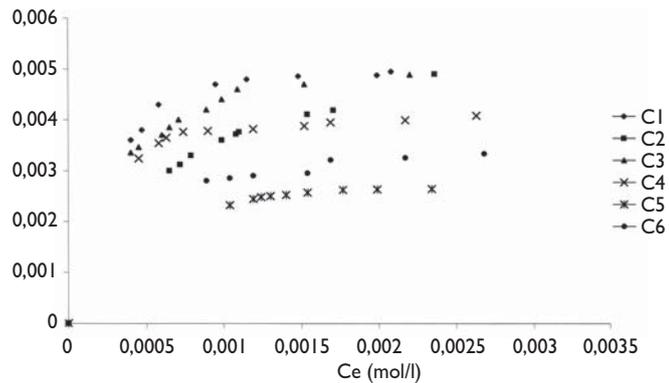


Figure 1a : Isothermes d'adsorption de l'iode par les charbons de rafles

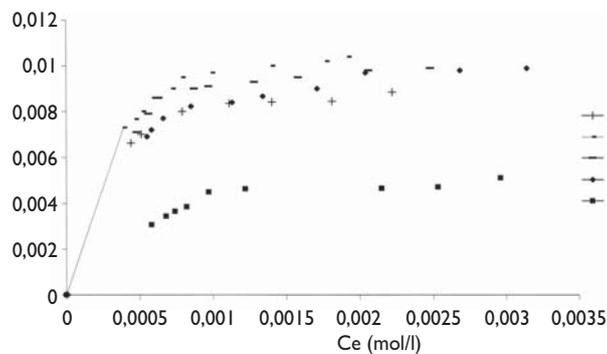


Figure 1b : Isothermes d'adsorption de l'iode par les charbons actifs commerciaux

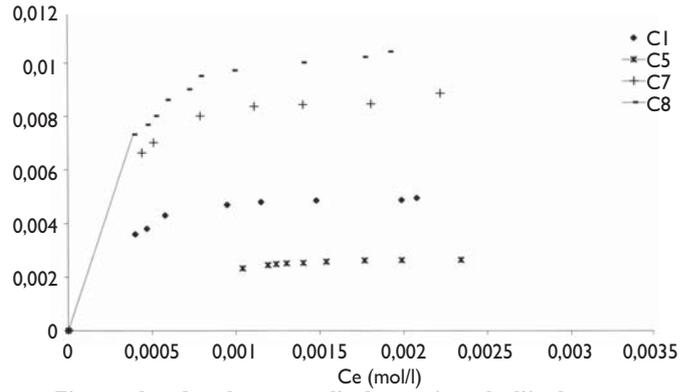


Figure 1c : Isothermes d'adsorption de l'iode

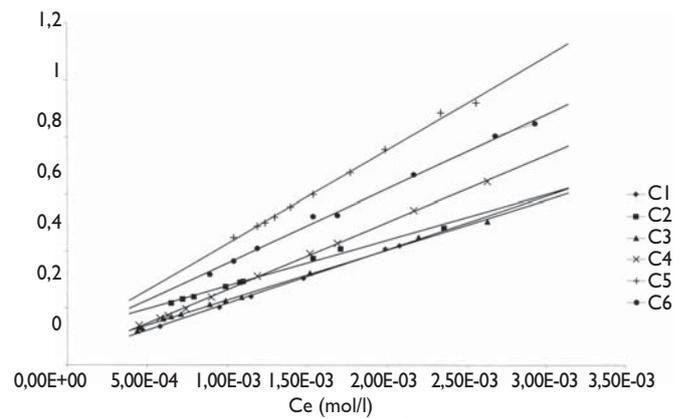


Figure 2a : Transformées linéaires de Langmuir (charbons de rafles)

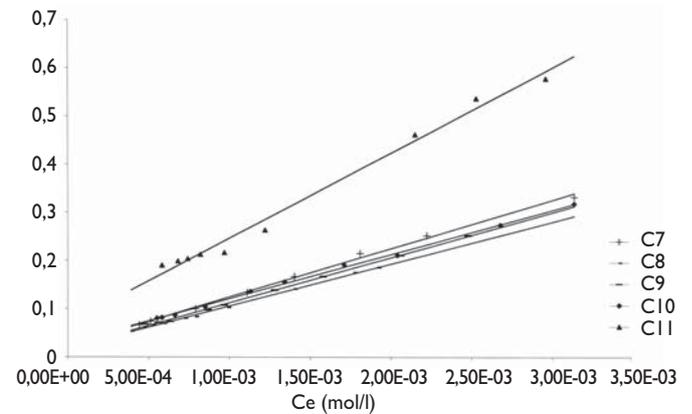


Figure 2b : Transformées linéaires de Langmuir (charbons commerciaux)

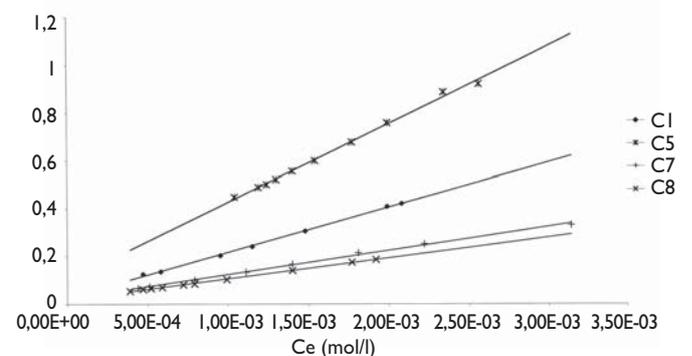


Figure 2c : Transformées linéaires de Langmuir

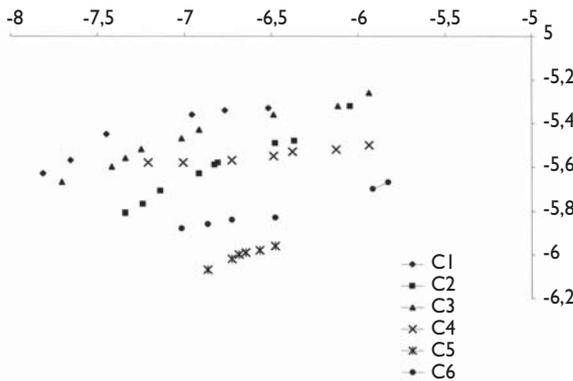


Figure 3a : Transformées linéaires de Freundlich (charbons de rafles)

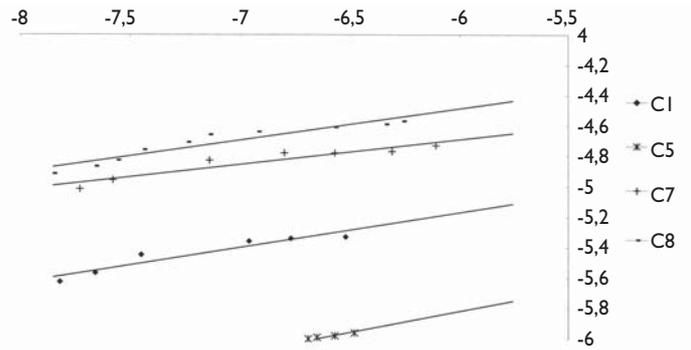


Figure 3c : Transformées linéaires de Freundlich

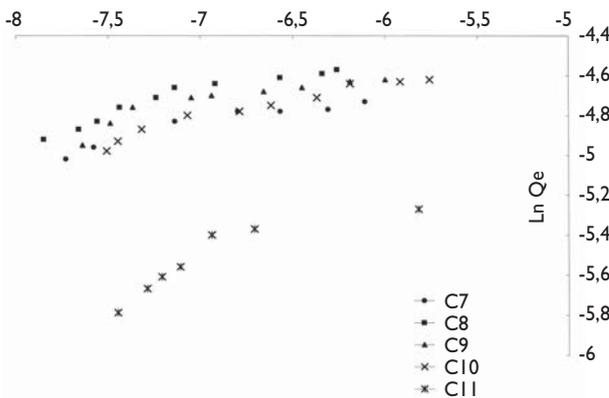


Figure 3b : Transformées linéaires de Freundlich (charbons commerciaux)

$$\frac{C_e}{Q_e} = f(C_e)$$

est une droite permettant de déterminer les valeurs respectives de Q_0 capacité d'adsorption monomoléculaire de l'échantillon de charbon et K_L .

La connaissance de la valeur de Q_0 conduit à la détermination de la surface spécifique S_L par application de la relation :

$$S_L = Q_0 \cdot \sigma \cdot N \text{ m}^2/\text{g} \quad (8)$$

L'aire occupée par une molécule d'iode étant égale à

$$\sigma = 21,3 \text{ \AA}^2 \text{ et } N = 6,023 \times 10^{23}$$

le nombre d'Avogadro, l'équation (8) devient alors :

$$S_L = Q_0 \cdot \sigma \cdot N \text{ m}^2/\text{g} = 1,28 \cdot 10^5 Q_0 \text{ m}^2/\text{g} \quad (9)$$

Les valeurs obtenues sont celles du tableau 5 où nous avons également porté les valeurs des surfaces spécifiques BET données par les fournisseurs des charbons actifs commerciaux.

Détermination des constantes du modèle de Freundlich

Ce modèle est souvent utilisé pour l'exploitation des données expérimentales relatives à l'adsorption en solution. Si on écrit l'équation (4) sous la forme logarithmique :

$$\text{Ln } Q_e = \text{Ln } K_F + n \text{Ln } C_e \quad (10)$$

la courbe $\text{Ln } Q_e = f(C_e)$ est une droite de pente n et d'ordonnée à l'origine $\text{Ln } K_F$ si l'adsorption obéit à l'équation de Freundlich. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 5.

Discussion

Les indices d'iode des charbons activés commerciaux sont supérieurs à ceux des échantillons de charbons activés préparés à partir des rafles. Ces derniers ont donc peu de pores accessibles à la molécule d'iode. Nous constatons toutefois que l'échantillon C4 a un indice d'iode très voisin de celui des charbons actifs commerciaux, ce qui laisse prévoir qu'il pourrait également servir au traitement des eaux. L'ordre croissant des valeurs obtenues $C1 < C5 < C6 = C2 = C3 < C11 < C7 < C10 = C8 < C4 = C9$ montre que, d'une façon générale, l'indice d'iode croît avec la concentration de

Tableau 5 : Résultats relatifs à l'adsorption isotherme de l'iode

Echantillons	Indice d'iode I (mg/g)	Modèle de Langmuir		Modèle de Freundlich		Surfaces BET S (m ² /g)
		Q ₀	S _L (m ² /g)	n	K _F	
24RPZ107-2 (C1)	46	5,47 × 10 ⁻³	701	6	0,0150	
48RPZ607-0 (C2)	64	6,20 × 10 ⁻³	782	3	0,0428	
1/2RPZ607-0 (C3)	65	5,64 × 10 ⁻³	711	4	0,0209	
1/2RPZ607-5 (C4)	111	4,18 × 10 ⁻³	526	9	0,0076	
72RPZ107-0 (C5)	50	2,94 × 10 ⁻³	371	5	0,0084	
72RPZ607-0 (C6)	61	3,82 × 10 ⁻³	482	6	0,0095	
COM 1 (C7)	97	9,96 × 10 ⁻³	1255	6	0,0246	
COM 2 (C8)	105	11,37 × 10 ⁻³	1432	5	0,0345	
NC 35 (C9)	109	10,67 × 10 ⁻³	1345	6	0,0282	1100
NCF 0.5/2 (C10)	103	10,88 × 10 ⁻³	1371	5	0,0317	1300
2SAP/C (C11)	71	5,65 × 10 ⁻³	712	3	0,0313	

Tableau 4 : Résultats expérimentaux de l'adsorption isotherme de l'iode

24RPZ107-2 (C1)															48RPZ607-0 (C2)					I/2RPZ607-0 (C3)				
Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe										
0	0				0	0				0	0													
0,0004	0,0036	0,111	-7,82	-5,63	0,00065	0,003	0,217	-7,34	-5,81	0,0004	0,00335	0,119	-7,82	-5,70										
0,00047	0,0038	0,124	-7,66	-5,57	0,00072	0,00312	0,231	-7,24	-5,77	0,00045	0,00346	0,130	-7,71	-5,67										
0,00058	0,0043	0,135	-7,45	-5,45	0,00079	0,0033	0,239	-7,14	-5,71	0,0006	0,0037	0,162	-7,42	-5,60										
0,00095	0,0047	0,202	-6,96	-5,36	0,00099	0,0036	0,275	-6,92	-5,63	0,00065	0,00385	0,169	-7,34	-5,56										
0,00115	0,0048	0,240	-6,77	-5,34	0,00108	0,00372	0,290	-6,83	-5,59	0,00071	0,004	0,178	-7,25	-5,52										
0,00148	0,00486	0,305	-6,52	-5,33	0,0011	0,00376	0,293	-6,81	-5,58	0,00089	0,0042	0,212	-7,02	-5,47										
0,00199	0,00488	0,408	-6,22	-5,32	0,00154	0,00411	0,375	-6,48	-5,49	0,00099	0,0044	0,225	-6,92	-5,43										
0,00208	0,00495	0,420	-6,18	-5,31	0,00171	0,00419	0,408	-6,37	-5,48	0,00109	0,0046	0,237	-6,82	-5,38										
0,00251	0,0052	0,483	-5,99	-5,26	0,00236	0,0049	0,482	-6,05	-5,32	0,00152	0,0047	0,323	-6,49	-5,36										
										0,0022	0,00489	0,450	-6,12	-5,32										
										0,00263	0,00521	0,505	-5,94	-5,26										
I/2RPZ607-5 (C4)					72RPZ107-0 (C5)					72RPZ607-0 (C6)														
Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe										
0	0				0	0				0	0													
0,00045	0,00324	0,139	-7,71	-5,73	0,00104	0,00232	0,448	-6,87	-6,07	0,00089	0,0028	0,318	-7,02	-5,88										
0,00058	0,00354	0,164	-7,45	-5,64	0,00119	0,00244	0,488	-6,73	-6,02	0,00104	0,00285	0,365	-6,87	-5,86										
0,00063	0,00365	0,173	-7,37	-5,61	0,00124	0,00248	0,500	-6,69	-6,00	0,00119	0,0029	0,410	-6,73	-5,84										
0,00074	0,00376	0,197	-7,21	-5,58	0,0013	0,0025	0,520	-6,65	-5,99	0,00154	0,00295	0,522	-6,48	-5,83										
0,0009	0,00378	0,238	-7,01	-5,58	0,0014	0,00252	0,556	-6,57	-5,98	0,00169	0,00321	0,526	-6,38	-5,74										
0,00119	0,00382	0,497	-6,73	-5,57	0,00154	0,00257	0,599	-6,48	-5,96	0,00217	0,00325	0,668	-6,13	-5,73										
0,00152	0,00388	0,392	-6,49	-5,55	0,00177	0,00262	0,676	-6,34	-5,94	0,00268	0,00333	0,805	-5,92	-5,70										
0,00169	0,00395	0,428	-6,38	-5,53	0,00199	0,00263	0,757	-6,22	-5,94	0,00293	0,00345	0,849	-5,83	-5,67										
0,00217	0,00399	0,544	-6,13	-5,52	0,00234	0,00264	0,886	-6,06	-5,94															
0,00263	0,00408	0,645	-5,94	-5,50	0,00256	0,00278	0,921	-5,97	-5,89															
COM 1 (C7)				COM 2 (C8)					NC 35 (C9)															
Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/I	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe										
0	0				0	0				0	0													
0,00044	0,00662	0,066	-7,73	-5,02	0,00039	0,0073	0,053	-7,85	-4,92	0,00048	0,0071	0,068	-7,64	-4,95										
0,00051	0,007	0,073	-7,58	-4,96	0,00047	0,00767	0,061	-7,66	-4,87	0,00056	0,0079	0,071	-7,49	-4,84										
0,00079	0,008	0,099	-7,14	-4,83	0,00052	0,008	0,065	-7,56	-4,83	0,00063	0,0086	0,073	-7,37	-4,76										
0,00111	0,00836	0,133	-6,80	-4,78	0,00059	0,0086	0,069	-7,44	-4,76	0,00087	0,009	0,097	-7,05	-4,71										
0,0014	0,00842	0,166	-6,57	-4,78	0,00072	0,009	0,080	-7,24	-4,71	0,00097	0,0091	0,107	-6,94	-4,70										
0,00181	0,00845	0,214	-6,31	-4,77	0,00079	0,0095	0,083	-7,14	-4,66	0,00128	0,0093	0,138	-6,66	-4,68										
0,00222	0,00885	0,251	-6,11	-4,73	0,00099	0,0097	0,102	-6,92	-4,64	0,00158	0,0095	0,166	-6,45	-4,66										
0,00314	0,0095	0,331	-5,76	-4,66	0,0014	0,01	0,140	-6,57	-4,61	0,00206	0,0098	0,210	-6,19	-4,63										
					0,00177	0,0102	0,174	-6,34	-4,59	0,00248	0,0099	0,251	-6,00	-4,62										
					0,00192	0,0104	0,185	-6,26	-4,57															
					0,00258	0,0105	0,246	-5,96	-4,56															

l'agent activant (C5 et C6), avec la durée du palier de température (C3 et C4) mais peu avec la durée d'imprégnation (C2, C3 et C6).

Les isothermes d'adsorption des échantillons commerciaux à l'exception de C11, présentent tous des isothermes de type I de la classification de Brunauer^[12]. Leurs valeurs d'indice d'iode étant assez voisines, on peut à juste titre dire qu'ils ont des pores dont le diamètre moyen se situe entre 0 et 25 Å^{[13],[14]}. C'est le cas également des échantillons C1, C2, C3 et C5. Il s'agirait donc d'adsorbants microporeux où l'adsorption semble limitée à une ou deux couches. Les

charbons C11, C4 et C6 par contre présentent une isotherme de type IV de la classification de Brunauer. Il faut noter que ces deux derniers charbons ont été imprégnés par du chlorure de zinc à 60 %. On constate d'autre part de légers écarts par rapport aux isothermes théoriques de type I et IV pour ces échantillons ainsi que pour C5. Par analogie avec d'autres études^[15], cette différence peut être expliquée par le phénomène de remplissage irrégulier de la surface du charbon ou par une adsorption multicouche avec condensation capillaire dans les pores de l'adsorbant. Pour expliquer cette anomalie, il faut rappeler que plus les pores sont fins,

Tableau 4 : Résultats expérimentaux de l'adsorption isotherme de l'iode

NCF 0,5/2 (C10)					2SAP/C (C11)				
Ce mol/l	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe	Ce mol/l	Qe mol/g	Ce/Qe	LnCe	LnQe
0	0	0			0	0	0		
0,00055	0,0069	0,080	-7,51	-4,98	0,00058	0,00307	0,189	-7,45	-5,79
0,00058	0,0072	0,081	-7,45	-4,93	0,00068	0,00344	0,198	-7,29	-5,67
0,00066	0,0077	0,086	-7,32	-4,87	0,00074	0,00365	0,203	-7,21	-5,61
0,00085	0,00823	0,103	-7,07	-4,80	0,00082	0,00386	0,212	-7,11	-5,56
0,00113	0,0084	0,135	-6,79	-4,78	0,00097	0,0045	0,216	-6,94	-5,40
0,00134	0,00867	0,155	-6,62	-4,75	0,00122	0,00464	0,263	-6,71	-5,37
0,00171	0,009	0,190	-6,37	-4,71	0,00215	0,0466	0,461	-6,14	-5,37
0,00204	0,0097	0,210	-6,19	-4,64	0,00253	0,00472	0,536	-5,98	-5,36
0,00268	0,0098	0,273	-5,92	-4,63	0,00296	0,00513	0,577	-5,82	-5,27
0,00314	0,0099	0,317	-5,76	-4,62					

< C3 < C2 < C11 < C7 < C9 = C10 < C8. Cet ordre est très voisin de celui déduit par mesure de l'indice d'iode, aux erreurs d'expérience près. Une fois de plus les différences constatées pourraient être liées au phénomène de condensation capillaire. La figure 1c montre ainsi que pour une même concentration Ce, la quantité d'iode adsorbée par les charbons de rafles est environ le tiers de celle adsorbée par les charbons actifs commerciaux.

Pour les charbons les mieux activés, en particulier pour les charbons actifs commerciaux (C9 et C10), les valeurs des surfaces SL sont en bon accord avec les valeurs S_{BET} déterminées par adsorption de diazote à la température de l'azote liquide (1100 m²/g et 1300 m²/g respectivement). Ceci confirme que lors de l'activation, le cracking des goudrons en produits volatiles provoque non seulement l'ouverture des pores fermés mais aussi l'élargissement des micropores. Les résultats obtenus par exploitation des données expérimentales par le modèle de Freundlich sont conformes à ceux signalés ci-dessus. En effet, dans ce modèle, n est une indication sur l'amplitude et la diversité des énergies liées à un type particulier d'adsorption alors que K_F indique la capacité d'adsorption et est caractéristique du couple adsorbant-adsorbé. Plus la valeur de K_F est élevée, plus grande est l'affinité de l'adsorbant pour l'adsorbé [16] et plus l'adsorbant est poreux. Ces résultats sont conformes au schéma classique de l'activation : création des pores par départ des fluides et solides amorphes, élargissement des pores par attaque du squelette carboné.

L'adsorption d'un soluté en solution aqueuse sur un matériau solide met ainsi en évidence les affinités du soluté à adsorber avec l'adsorbant. Il semble établi que les capacités d'adsorption d'un charbon actif sont fonction de la molécule à adsorber. D'une façon générale, les propriétés adsorbantes des charbons actifs vis-à-vis des molécules en solution sont souvent fonction de la solubilité de ces dernières. Plus la solubilité est grande, plus les forces liant les molécules au solvant seront fortes, et les forces d'adsorption faibles [17]. La configuration et la taille des molécules susceptibles d'être adsorbées peuvent également intervenir au niveau des capacités d'adsorption et de la cinétique d'adsorption.

CONCLUSION

Les rafles de régimes de palmes peuvent servir de matière première pour la préparation de charbons chimiquement activés par le chlorure de zinc. La capacité d'adsorption de l'iode de ces charbons dépend de la concentration de l'agent activant, de la durée du palier de température mais peu de la durée d'imprégnation. Les valeurs de Q_0 , S_L , n et K_F suggèrent que ces charbons sont microporeux mais qu'ils sont moins adsorbants que les charbons actifs commerciaux. Ils sont certes moins performants mais leur qualité peut être compensée

par l'utilisation de grandes quantités, utilisation rendue possible par le coût abordable des charbons proposés. Le plus adsorbant de ces charbons, dans nos conditions de travail est l'échantillon C2, obtenu après imprégnation pendant 48 heures dans du chlorure de zinc (60 %) et carbonisé à 700 °C. Ces travaux complètent ceux d'une étude précédente [4] et confirment que pour une utilisation pratique de ces charbons, une connaissance de leur structure poreuse complète par une analyse d'isothermes d'adsorption d'un large éventail de molécules de tailles différentes est nécessaire.

***Avom Jérôme, Ketcha Joseph Mbadcam, Babale Djam Doudou et Ngono Abega Irène**

Laboratoire de chimie physique, Faculté des sciences - Université de Yaoundé I - B.P. 812 Yaoundé, Cameroun.

****Patrick Germain**

Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et des systèmes industriels - Institut national des sciences appliquées - Bât. Sadi Carnot, 9 rue de la Physique - F-69621 Villeurbanne Cédex.

Remerciements : Nous remercions particulièrement le Professeur Joseph Noah Ngamveng pour toutes les suggestions.

Bibliographie

- 1 - Fernandez-Colinas J., Denoyel R. et Rouquerol J. (1989). *Adsorpt.Sc.Technol.*, 6 (1), 18.
- 2 - Ebie K., Li F.S., Hagishita T., *Water supply*, 13(3/4), 65.
- 3 - Renouprez A.J. et Avom J. (1998). Characterization of active carbons from palm-tree cobs using nitrogen adsorption and small angle X-Ray scattering., *Ann.Fac.Sci.Univ.Ydé I, Série Math-Info-Chim*, Vol. 31, n° 1, 117-128.
- 4 - Avom J., Ketcha J.M., Noubactep C. et Germain P. (1997). *Adsorption of Methylene Blue from an aqueous solution on to activated carbons from palm-tree cobs*, *Carbon*, 35, 3, 365-369.
- 5 - Avom, J. (1982). *Préparation et Propriétés adsorbantes de charbons de rafles de régime de palmes de la région de Yaoundé*, Thèse de Doctorat 3e Cycle, Université de Yaoundé, Cameroun.
- 6 - Rochester C.H. et Strachan A.J. (1995). *J.Colloid Interface Sci.*, 173, 500.
- 7 - Nesa, Détermination de l'indice d'iode suivant les normes françaises 8B.
- 8 - Nakhla G., Abuzaid N. et Farooq S. (1994). *Water Environ.Res.*, 66, 6, 842.
- 9 - Lambert S.D. et Graham N.J.D. (1995). *Wat. Res.*, 29, 10, 2421.
- 10 - Weber W.J. (1972). *Physicochemical Processes for Water Quality Control*, Wiley, New York.
- 11 - Hill et Marsh, (1968). *Carbon*, 6, 31.
- 12 - Anderson J.-R. et Boudart M. (1993). *Catalysis Sci.and Technology*, 2, 171.
- 13 - Yenkie M.K.N. et Natarajan G.S. (1993). *Sep.Sci.Technol.*, 28-5, 1177.
- 14 - Simitzis J., Sifrakis J. et Faliagas A.J. (1995). *Appl. Polym.Sci.* 58, 541.
- 15 - Melson G.A. et Mbadcam K.J. (1983). Evaluation of some New Zeolite Supported Metal Catalysts for synthesis gas conversion, *ACS Symposium Series*, 318, 397.
- 16 - Weber W.J. et al. (1992). *Enviro.Sci.Technol.* 26, 1955.
- 17 - Weber W.J. et Van Vliet B.M. (1980). Fundamental concepts for application of activated carbon in water wastewater treatment in activated carbon adsorption of organics from the aqueous phase., Ed by Suffet and Mc Guire, J.-M. ann. Arbor. Science, Michigan (USA).