

# Adsorption d'azote par un charbon activé

Yohann BERTRAND

William TRUDEL

Aubert LAMY

2<sup>ème</sup> année au baccalauréat

Université du Québec à Trois-Rivières

Département de physique

## Préface

Un charbon activé est un charbon ayant suivi un processus de calcination spécifique pour lui donner une structure très poreuse, et donc, une très grande surface de contact. Cette très grande surface lui permet d'être un excellent adsorbant et l'on peut d'ailleurs tester ce caractère avec le plaçant dans de l'azote sous pression et en mesurant la quantité d'azote qui se fait adsorber.

## Introduction

Le but de cette expérience est d'observer l'adsorption d'azote dans un charbon activé. Premièrement, nous avons calculé le volume du montage pour la première partie comme étant  $14.71 \pm 0,04$  ml, le volume accessible du porte échantillon avec le charbon comme  $2,22 \pm 0,04$  ml et le volume du montage de la seconde partie comme étant  $17,88 \pm 0,04$  ml. Aussi nous avons vu qu'à température normale le charbon a adsorbé au maximum  $1,620 \times 10^{-3} \pm$

$0,018 \times 10^{-3}$  moles d'azotes pour une pression de  $6,682 \pm 0,017$  MPa et à  $77,36 \pm 0,01$  °K il a adsorbé  $23,07 \pm 0,01$  moles pour une pression de  $45,1 \pm 0,1$  kPa soit une quantité adsorbée plus de 14 000 fois plus grande. Il était prévu que le charbon absorbe plus à des températures plus froides, mais nous n'avions aucunes valeurs attendues auxquelles comparer nos données.

## Théorie

Définition des variables :

$P^{m_i}$  : Pression initiale dans le montage.

$P^{m_f}$  : Pression finale dans le montage.

$V_m$  : Volume du montage sans le porte échantillon.

$V_p$  : Volume du porte échantillon vide.

$V_a$  : Volume accessible du porte-échantillon, correspond au volume du porte échantillon à vide moins le volume occupé par l'échantillon.  $n^{m_i}$  : Nombre de moles de gaz présentent dans le montage initialement en phase gazeuse.

$n^{m_i}$  : Nombre de moles de gaz présentent dans le montage en phase gazeuse après adsorption.

$n^{ad}$  : Nombre de moles de gaz adsorbées dans le charbon matériau.

$n^{p_i}$  : Nombre de moles de gaz présente initialement en phase gazeuse dans le porte échantillon.

$n^{p_i}$  : Nombre de moles de gaz présente en phase gazeuse dans le porte échantillon après adsorption.

Premièrement, pour mesurer le volume du porte échantillon et du montage :

$P^{m_i}$  et  $P^{m_f}$  sont la pression dans le montage initiale et finale.  $\bar{P}^{m_i}$  et  $\bar{P}^{m_f}$  sont les mêmes variables, mais pour la mesure avec les billes d'acier dans le porte échantillon.

Pour le porte échantillon vide, nous avons

$$P^{m_i}V_m = nRT = P^{m_f}(V_m + V_p),$$

où  $V_m$  et  $V_p$  sont les volumes du montage et du porte échantillon respectivement. Pour le porte échantillon avec billes d'acier, nous avons

$$\bar{P}^{m_i}V_m = \bar{n}RT = \bar{P}^{m_f}(V_m + \bar{V}_p).$$

Dans ces deux équations,  $V_m$ ,  $V_p$  et  $\bar{V}_p$  sont des inconnues. Or, sachant que nous avons mis  $x$  g de billes ayant une densité de  $\rho = 7,92 \pm 0,01$  g/ml, nous pouvons donc déterminer que

$$\bar{V}_p = V_p - x\rho.$$

Ceci permet donc de déterminer la valeur du volume interne  $V_m$ .

Pour effectuer des mesures d'adsorption d'azote dans notre matériau adsorbant, nous commencerons avec le porte échantillon sous vide. Cependant, pour les mesures subséquentes, nous utiliserons les valeurs de la mesure  $n - 1$  plutôt que de faire le vide entre chaque mesure.

Pour la première mesure, on commence avec le porte échantillon sous vide. Initialement nous aurons

$$n_0^{m_i} = \frac{P_0^{m_i}V_m}{RT}$$

moles d'azote dans le montage. En ouvrant la valve du porte échantillon, naturellement la pression va baisser dans le montage. Si le matériau n'adsorbait pas de gaz, la pression finale dans le système serait donnée par (l'indice sur  $p$  et  $n$  représente le nombre de mesure)

$$P^f = \frac{P_0^{m_i} V_m}{V_m + V_a}.$$

Mais puisque le matériau adsorbe une certaine quantité de gaz, nous mesurerons une pression finale inférieure à cette valeur de  $P$ . La quantité de gaz (en mole) adsorbé par le matériau sera donc donnée par

$$\begin{aligned} n_0^{ad} &= n_0^{m_i} - n_0^{m_f} - n_0^{p_f} \\ n_0^{ad} &= \frac{P_0^{m_i} V_m}{RT} - \frac{P_0^{m_f} V_m}{RT} - \frac{P_0^{m_f} V_a}{RT} \\ n_0^{ad} &= \frac{P_0^{m_i} V_m - P_0^{m_f} (V_m + V_a)}{RT}. \end{aligned}$$

Pour les mesures subséquentes, nous devons tenir compte du nombre de mole de gaz déjà présent dans le porte échantillon (sous forme gazeuse et sous forme adsorbée). À partir du bilan molaire, nous savons qu'il y a  $n_k^{m_i}$  moles de gaz dans le montage,  $n_{k-1}^{ad}$  mol de gaz adsorbé, ainsi que  $n_k^{p_i}$  moles en phase gazeuse dans le porte échantillon, donné par

$$n_k^{p_i} = \frac{P_{k-1}^{m_f} V_a}{RT}.$$

Ainsi, considérant le bilan molaire, si le matériau n'adsorbait pas de gaz, l'ouverture de la valve donnerait une pression dans le montage de

$$P = \frac{(n_1^{m_i} + n_1^{e_i}) RT}{V_m + V_e}$$

Le nombre total de moles adsorbé dans le matériau à la mesure  $k$  s'écrit donc comme

$$\begin{aligned} n_k^{ad} &= n_k^{m_i} + n_k^{p_i} + n_{k-1}^{ad} - n_k^{m_f} - n_k^{p_f} \\ &= \frac{1}{RT} [P_k^{m_i} V_m + P_{k-1}^{m_f} V_a + RT n_{k-1}^{ad} - P_k^{m_f} V_m - P_k^{m_f} V_a] \\ &= \frac{V_m (P_k^{m_i} - P_k^{m_f}) + V_a (P_{k-1}^{m_f} - P_k^{m_f})}{RT} + n_{k-1}^{ad}. \end{aligned}$$

On trouve donc

$$n_k^{ad} = \frac{V_m (P_k^{m_i} - P_k^{m_f}) + V_a (P_{k-1}^{m_f} - P_k^{m_f})}{RT} + n_{k-1}^{ad}$$

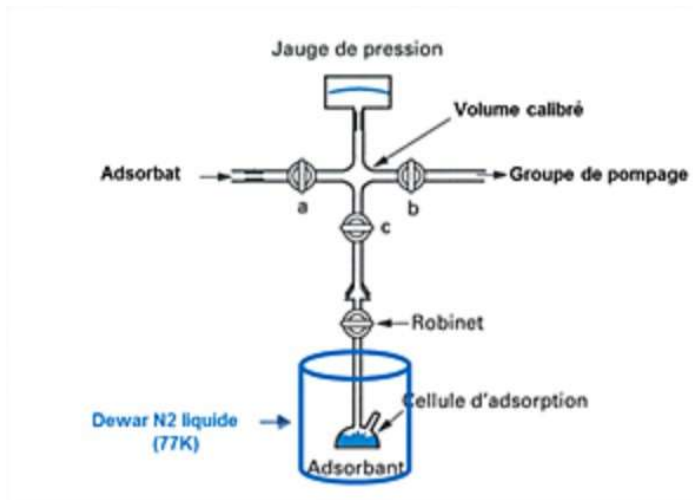
où  $n_k^{ad}$  correspond au nombre total de moles de gaz adsorbé dans le matériau lorsque l'on applique une pression externe  $P_k^{m_f}$ .

Ensuite il est possible de mesurer l'adsorption à des températures beaucoup plus basse. Il suffira de refaire les mêmes mesures. Bien sûr, il faudra mesurer la baisse de pression engendré par la baisse de température et ajusté la pression finale en conséquence.

## Montage

Matériel :	Porte-échantillons
	Billes de métal
	Matériau adsorbant
	Azote
	Hélium
	Tuyaux métalliques
	Valves
	Jauges de pression
	Pompe à vide
	Tuyaux flexibles

## Schémas :



(C'est le schéma pour la partie 2, mais le schéma de la partie 1 est le même sans l'azote liquide)

## Manipulations :

1. Faire le vide dans le montage et le porte échantillon
2. Fermer la valve du porte échantillon
3. Mettre une pression  $P_{mi}$  d'hélium dans le montage et laisser stabiliser
4. Ouvrir la valve du porte échantillon et laissez stabiliser pour mesurer  $P_{mf}$
5. Ramener le système à pression atmosphérique
6. Demander qu'on branche le porte échantillon contenant des billes d'acier
7. Refaire les manipulation 1 à 4 afin de déterminer les valeurs  $P_{mi}$  et  $P_{mf}$
8. Faire le vide dans le montage et le porte échantillon
9. Fermer la valve du porte échantillon
10. Mettre une pression  $P_{mi}$  de d'hélium dans le montage et laisser stabiliser
11. Ouvrir la valve du porte échantillon et laissez stabiliser pour mesurer  $P_{mf}$
12. Avec la valve fermée du porte échantillon, mettre une pression  $P_{mi}$  n d'azote dans le montage et laisser stabiliser
13. Ouvrir la valve du porte échantillon et laissez stabiliser pour mesurer  $P_{mf}$

## Résultat

### Tableaux

Tableau 1 : caractéristiques du montage

Masse de charbon activé (g)	$0,2607 \pm 0,0001$
Masse des billes (g)	$9,08589 \pm 0,00001$
Masse volumique des billes (g/ml)	$7,92 \pm 0,01$
Température de la pièce (°K)	$296,2 \pm 0,1$
Température de l'Azote liquide (°K)	$77,36 \pm 0,01$
Pression atmosphérique (kPa)	$102,15 \pm 0,05$

Tableau 2 : facteur de conversion et précision pour les deux jauges

	a	b	R <sup>2</sup>	Précision (full scale)
Jauge 1	0,4311 (MPa/mA)	-1,6109 (MPa)	0,9999989	0,25%
Jauge 2	27,3537 (kPa/V)	-0,1758 (kPa)	0,99999749	0,073%

\*ici les incertitudes des paramètres sont très petites et sont plus petites que la précision des appareils donc ils sont inutiles\*

Tableau 3 : test de pression du porte échantillon 1 avec et sans billes pour le montage de la partie 1

	Sans billes	Avec billes
$P^{m_i}$ (MPa) $\pm 0,017$	1,438	1,418
$P^{m_f}$ (MPa) $\pm 0,017$	1,171	1,233
$\Delta P_m$ (MPa) $\pm 0,017$	0,266	0,185

Tableau 4 : test de pression du porte échantillon 1 avec et sans billes pour le montage de la partie 2

	Sans billes	Avec billes
$P^{m_i}$ (kPa) $\pm 0,1$	103,4	103,5
$P^{m_f}$ (kPa) $\pm 0,1$	87,4	92,5
$\Delta P_m$ (kPa) $\pm 0,1$	15,9	10,85
Vide (kPa) $\pm 0,1$	0,9	

Tableau 5 : test de pression du porte-échantillon contenant du charbon sans adsorption

	Sans adsorption 1	Sans adsorption 2	Moyenne
$P^{m_i}$ (MPa) $\pm 0,017$	1,403	1,428	1,416
$P^{m_f}$ (MPa) $\pm 0,017$	1,221	1,239	1,230
$\Delta P_m$ (MPa) $\pm 0,017$	0,182	0,189	0,186

Tableau 6 : volumes des montage et volume accessible du porte échantillon d'azote

	(ml) $\pm 0,04$
V <sub>m</sub>	14,71
V <sub>mAz</sub>	17,88
V <sub>a</sub>	2,22

Tableau 7 : compression de l'azote lors d'un changement de température

Pression température pièce (MPa) $\pm 0,017$	0,733
Pression à 77,36 °K (MPa) $\pm 0,017$	0,564
Facteur compression $\pm 0,029$	0,770

Tableau 8 : donnée de pression pour l'adsorption d'azote à température pièce

$P^{m_i}$ (MPa) $\pm 0,017$	$P^{m_f}$ (MPa) $\pm 0,017$	$n_k^{ad}$ (mole) $\pm 0,018 \times 10^{-3}$
0,285	0,243	$0,032 \times 10^{-3}$ $\pm 0,003 \times 10^{-3}$
0,721	0,631	$0,219 \times 10^{-3}$
1,197	1,093	$0,426 \times 10^{-3}$
1,403	1,349	$0,517 \times 10^{-3}$
1,908	1,813	$0,667 \times 10^{-3}$
2,470	2,364	$0,806 \times 10^{-3}$
2,848	2,769	$0,909 \times 10^{-3}$
3,621	3,485	$1,074 \times 10^{-3}$
4,020	3,936	$1,169 \times 10^{-3}$
4,927	4,779	$1,298 \times 10^{-3}$
5,314	5,230	$1,398 \times 10^{-3}$
6,176	6,034	$1,525 \times 10^{-3}$
6,795	6,682	$1,620 \times 10^{-3}$
4,440	4,766	$1,402 \times 10^{-3}$
3,419	3,623	$1,212 \times 10^{-3}$
2,736	2,875	$1,055 \times 10^{-3}$
1,952	2,099	$0,878 \times 10^{-3}$
0,964	1,159	$0,562 \times 10^{-3}$

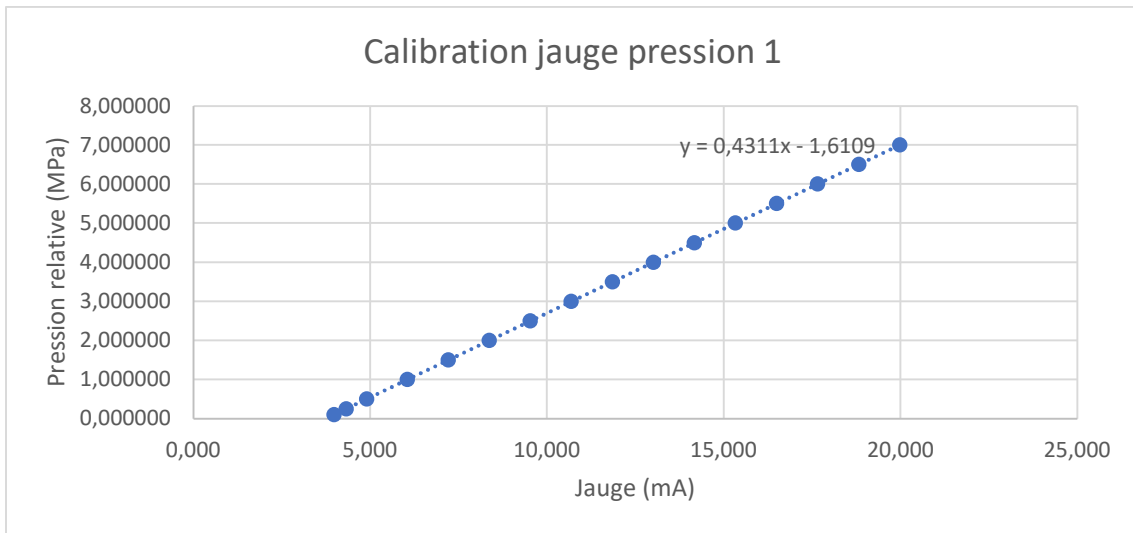
Tableau 9 : donnée de pression pour l'adsorption d'azote à 77,36°K

$P^{m_i}$ Temp. Pièce (kPa) $\pm 0,1$	$P^{m_f}$ (kPa) $\pm 0,1$	$P^{m_i}$ corrigé à 77,36°K (kPa) $\pm 0,1$	$n_k^{ad}$ (Mole) $\pm 0,01$
2,0	0,8	1,5	0,02
2,7	0,8	2,1	0,05
4,4	0,9	3,4	0,12
6,2	0,9	4,7	0,23
8,1	0,9	6,2	0,37
11,2	0,9	8,6	0,59
15,9	0,9	12,2	0,90
23,8	0,9	18,3	1,38
31,5	0,9	24,3	2,03
37,4	0,9	28,8	2,81
42,6	0,9	32,8	3,69
47,7	1,0	36,7	4,69
35,6	1,0	27,4	5,42
47,6	1,0	36,6	6,41
42,5	1,1	32,7	7,30
51,8	1,1	39,9	8,37
40,9	1,2	31,5	9,22
41,9	1,2	32,3	10,08
45,1	1,4	34,7	11,01
49,5	1,8	38,1	12,02
34,8	2,2	26,8	12,70
44,7	3,2	34,4	13,57
34,8	4,0	26,8	14,20
41,5	5,2	31,9	14,94
39,2	6,4	30,2	15,60
43,2	7,8	33,3	16,30
43,2	9,3	33,3	16,96
39,0	10,7	30,0	17,49
46,0	12,3	35,4	18,13
48,2	14,1	37,1	18,76
47,8	15,9	36,8	19,34
63,5	18,9	48,9	20,16
52,9	21,1	40,7	20,70
55,9	23,5	43,0	21,23
56,6	26,1	43,6	21,71
59,3	29,0	45,6	22,17

56,9	31,9	43,8	22,49
60,3	35,4	46,4	22,78
62,1	39,8	47,8	22,99
63,3	45,1	48,7	23,07
88,5	74,6	68,2	22,79

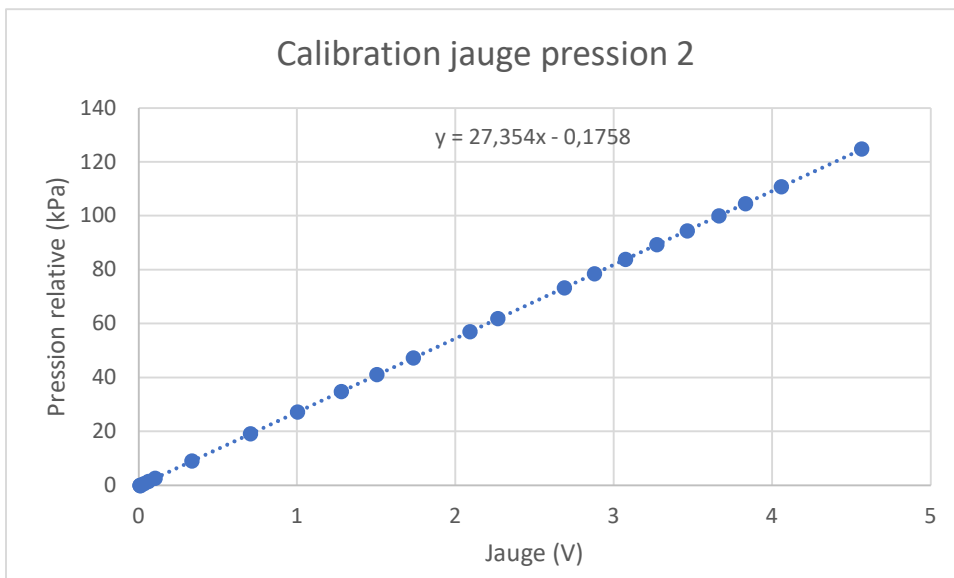
## Graphiques

Graphique 1 : courbe d'étalonnage de la première jauge de pression



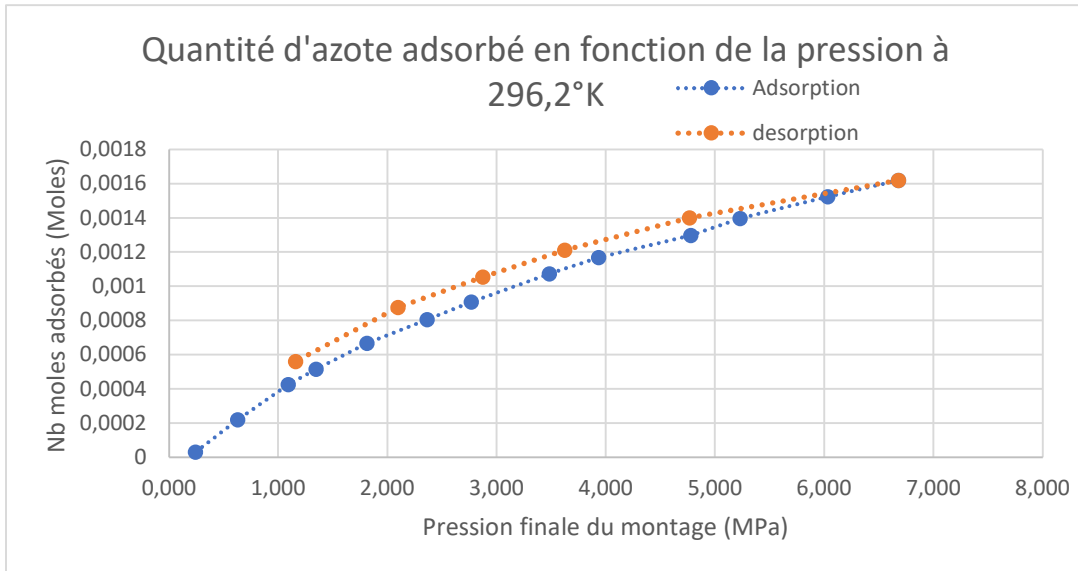
\*ici les barres d'erreur sont trop petite pour être vue\*

Graphique 2 : courbe d'étalonnage de la deuxième jauge de pression



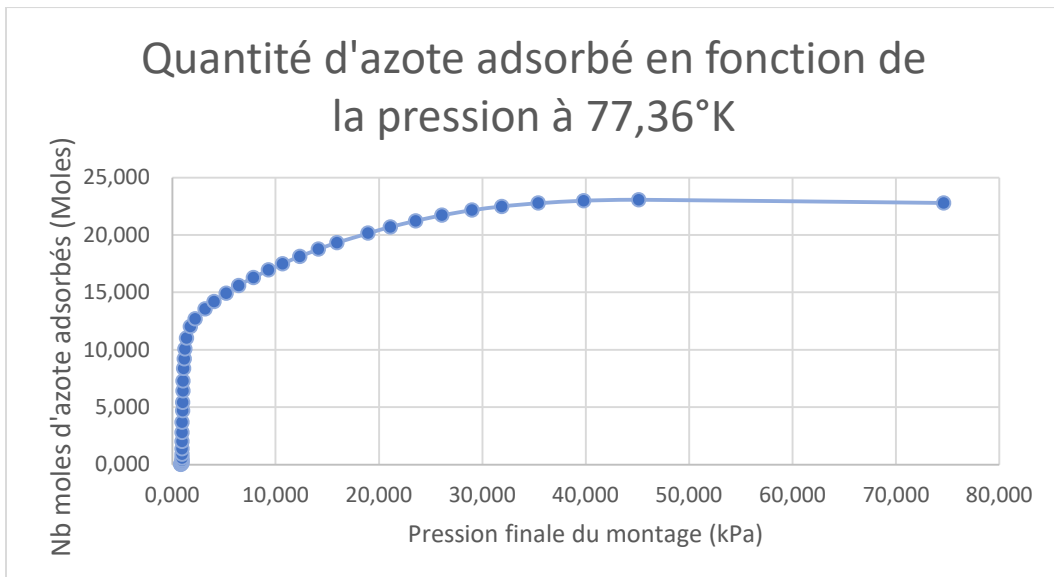
\*ici les barres d'erreur sont trop petite pour être vue\*

Graphique 3 : adsorption d'azote à 296,2°K



\*ici les barres d'erreur sont trop petite pour être vue\*

Graphique 4 : adsorption d'azote à 77,36°K



\*ici les barres d'erreur sont trop petite pour être vue\*



### Exemples de calculs

#### Calcul Pression :

$$P = a \times x + b + P_{atm}$$

Où  $a$  et  $b$  sont les paramètres de conversion de la sonde de pression et  $x$  est l'intensité du signal produit par la sonde

$$P = 0,43110 \times 6,840 + -1,6109 + 0,09970$$

$$P = 1,438 \text{ MPa}$$

#### Calcul incertitude pression :

$$\delta(P) = P \text{ full scale} * \text{précision}$$

$$\delta(P) = 6,89476 * 0,25\%$$

$$\delta(P) = 0,017 \text{ MPa}$$

#### Calcul Nombre Mole adsorbé (première mesure) :

$$n_0^{ad} = \frac{P_0^{m_i} V_m - P_0^{m_f} (V_m + V_a)}{RT}$$
$$= \frac{0,285 \times 14,71 - 0,243 \times (14,71 + 2,22)}{8,314 \times (23,0 + 273,2)}$$

$$n_0^{ad} = 0,032 \times 10^{-3} \text{ mole}$$

#### Calcul Incertitude Nombre Mole adsorbé (première mesure) :

$$\frac{\delta(n_0^{ad})}{n_0^{ad}} = \sqrt{\left(\frac{\delta P_0^{m_i}}{P_0^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_m}{V_m}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_0^{m_f}}{P_0^{m_f}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_a}{V_a}\right)^2 + \left(\frac{\delta T}{T}\right)^2}$$
$$\delta n_0^{ad} = 0,032 \times 10^{-3}$$
$$\times 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{0,017}{0,285}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{14,71}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{0,243}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{2,22}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{296,2}\right)^2}$$
$$\delta n_0^{ad} = 0,003 \times 10^{-3} \text{ mole}$$

#### Calcul Nombre Mole adsorbé ( $k^{ième}$ mesure) :

$$n_k^{ad} = \frac{V_m(P_k^{m_i} - P_k^{m_f}) + V_a(P_{k-1}^{m_f} - P_k^{m_f})}{RT} + n_{k-1}^{ad}$$

Pour  $k = 1$

$$n_1^{ad} = \frac{V_m(P_1^{m_i} - P_1^{m_f}) + V_a(P_0^{m_f} - P_1^{m_f})}{RT} + n_0^{ad}$$
$$= \frac{14,71(0,721 - 0,631) + 2,22(0,243 - 0,631)}{8,314 \times (23,0 + 273,2)} + 3,17 \times 10^{-5}$$
$$n_1^{ad} = 0,219 \times 10^{-3} \text{ mole}$$

Calcul Incertitude Nombre Mole  
adsorbé ( $k^{i\text{ème}}$  mesure) :

$$\frac{\delta(n_1^{ad})}{n_1^{ad}} = \sqrt{\left(\frac{\delta P_1^{m_i}}{P_1^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_1^{m_f}}{P_1^{m_f}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_m}{V_m}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_0^{m_f}}{P_0^{m_f}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_a}{V_a}\right)^2 + \left(\frac{\delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\delta(n_0^{ad})}{n_0^{ad}}\right)^2}$$

$$\delta n_1^{ad} = 2,19 \times 10^{-4} \sqrt{\left(\frac{0,017}{0,721}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{0,631}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{14,71}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{0,243}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{2,22}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{296,2}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{3,17}\right)^2}$$

$$\delta n_1^{ad} = 0,018 \times 10^{-3} \text{ mole}$$

Calcul  $V_m$  :

$$P^{m_i} V_m = P^{m_f} (V_m + V_p)$$

$$\bar{P}^{m_i} V_m = \bar{P}^{m_f} (V_m + \bar{V}_p)$$

Sachant que

$$\bar{V}_p = V_p - \frac{x}{\rho}$$

$$\text{Où } \rho = (7,92 \pm 0,01) \text{ g/ml}$$

Ainsi, on a 2 équations pour 2 inconnues :

$$P^{m_i} V_m = P^{m_f} (V_m + V_p)$$

$$\bar{P}^{m_i} V_m = \bar{P}^{m_f} \left( V_m + V_p - \frac{x}{\rho} \right)$$

$$\frac{\bar{P}^{m_i} V_m}{\bar{P}^{m_f}} - V_m + \frac{x}{\rho} = V_p$$

En solutionnant pour  $V_m$ , on a

$$V_m = \frac{\frac{x}{\rho}}{\frac{P^{m_i}}{\bar{P}^{m_f}} - \frac{\bar{P}^{m_i}}{\bar{P}^{m_f}}}$$

$$V_m = \frac{\frac{9,08589}{7,92}}{\frac{1,438}{1,171} - \frac{1,418}{1,233}}$$

$$V_m = \frac{1,1472}{1,228 - 1,150}$$

$$V_m = 14,71 \text{ ml}$$

Calcul incertitude  $V_m$  :

$$\frac{\delta(V_m)}{V_m} = \sqrt{\left(\frac{\delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\delta P^{m_i}}{P^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \bar{P}^{m_i}}{\bar{P}^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta P^{m_f}}{P^{m_f}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \bar{P}^{m_f}}{\bar{P}^{m_f}}\right)^2}$$

$$\delta V_m = 14,71 \sqrt{\left(\frac{0,00001}{9,08589}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{7,92}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{1,438}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{1,418}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{1,171}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{1,233}\right)^2}$$

$$\delta V_m = 0,04 \text{ ml}$$

On peut aussi trouver  $V_a$  pour le second porte-échantillon :

$$P^{m_i} V_m = P^{m_f} (V_m + V_a)$$

$$V_a = \frac{P^{m_i} V_m}{P^{m_f}} - V_m$$

$$V_a = \frac{1,416}{1,230} * 14,71 - 14,71$$

$$V_a = 2,22 \text{ ml}$$

Calcul incertitude  $V_a$ :

$$\frac{\delta(V_a)}{V_a} = \sqrt{\left(\frac{\delta P^{m_i}}{P^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_m}{V_m}\right)^2 + \left(\frac{\delta P^{m_f}}{P^{m_f}}\right)^2}$$

$\delta V_a$

$$= 2,22 \sqrt{\left(\frac{0,017}{1,416}\right)^2 + \left(\frac{0,04}{14,71}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{1,230}\right)^2}$$

$$\delta V_a = 0,04 \text{ ml}$$

Calcul incertitude du facteur de compression:

$\frac{\delta(\text{Facteur})}{\text{Facteur}}$

$$= \sqrt{\left(\frac{\delta P^{m_i}}{P^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_m}{V_m}\right)^2 + \left(\frac{\delta P^{m_f}}{P^{m_f}}\right)^2}$$

$$\delta \text{Facteur} = 0,770 \sqrt{\left(\frac{0,017}{0,564}\right)^2 + \left(\frac{0,017}{0,733}\right)^2}$$

$$\delta \text{Facteur} = 0,029$$

Calcul de  $V_{mAz}$ :

$$V_{mAz} = \frac{\frac{x}{\rho}}{\frac{P^{m_i}}{P^{m_f}} - \frac{\bar{P}^{m_i}}{\bar{P}^{m_f}}}$$

$$V_{mAz} = \frac{\frac{9,08589}{7,92}}{\frac{103,4}{87,4} - \frac{103,5}{92,5}}$$

$$V_{mAz} = 17,88 \text{ ml}$$

$$P^{m_i} \text{ corrigé} = P^{m_i} \times \text{facteur}$$

$$P^{m_i} \text{ corrigé} = 2,0 * 0,770$$

$$P^{m_i} \text{ corrigé} = 1,5$$

Calcul incertitude du facteur de compression:

$\frac{\delta P^{m_i} \text{ corrigé}}{P^{m_i} \text{ corrigé}}$

$$= \sqrt{\left(\frac{\delta P^{m_i}}{P^{m_i}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{Facteur}}{\text{Facteur}}\right)^2 + \left(\frac{\delta P^{m_f}}{P^{m_f}}\right)^2}$$

$$\delta P^{m_i} \text{ corrigé} = 1,5 \sqrt{\left(\frac{0,1}{2,0}\right)^2 + \left(\frac{0,029}{0,770}\right)^2}$$

$$\delta P^{m_i} \text{ corrigé} = 0,1$$

Calcul du facteur de compression :

$$\text{Facteur} = \frac{\text{pression } 77,36^\circ \text{K}}{\text{pression temp. pièce}}$$

$$\text{Facteur} = \frac{0,564}{0,733}$$

$$\text{Facteur} = 0,770$$

## Analyse

Dans ce laboratoire, nous avons mesuré la quantité d'azote adsorbé dans un charbon activé à différentes températures. Nous avons commencé par mesurer le volume de notre montage, pour ce faire, nous avons injecté de l'hélium dans notre montage jusqu'à atteindre  $1,438 \pm 0,017$  MPa puis nous avons ouvert la valve menant à un porte-échantillon vide et la pression s'est stabilisée à  $1,171 \pm 0,017$  MPa. Nous avons fait la même chose une deuxième fois, mais cette fois-ci nous avons placé  $9,08589 \pm 0,00001$  g de billes, avec une masse volumique connue de  $7,92 \pm 0,01$  g/ml, dans le même porte échantillon et nous avons trouvé comme pression initiale  $1,418 \pm 0,017$  MPa et comme pression finale  $1,233 \pm 0,017$  MPa. Nous avons donc calculé le volume du montage comme  $14,71 \pm 0,04$  ml. Ensuite, nous avons testé notre porte-échantillon contenant du charbon pour calculer son volume accessible. Nous avons fait la même démarche 2 fois et pris la moyenne des deux et avons mesuré comme pression initiale  $1,416 \pm 0,017$  MPa et comme pression finale  $1,230 \pm 0,017$  MPa. Avec cela, nous avons calculé un volume accessible de  $2,22 \pm 0,04$  ml. Le calcul du volume accessible prend en compte que l'hélium n'est pas adsorbé par le charbon ce qui n'est pas totalement vrai, mais pour des pressions proches de 1 MPa la quantité d'hélium adsorbé est assez négligeable pour qu'on puisse faire cette supposition. Avec nos deux volumes trouvés, nous avons pu commencer à tester l'Adsorption d'azote. Nous avons donc fait le vide dans notre montage (le vide n'était pas total, mais pour la grandeur de nos mesures la pression était négligeable) et injecté de l'azote dans notre montage puis dans notre porte-échantillon. Connaissant nos volumes et la pression initiale que nous injection, nous avons pu

calculer la pression finale s'il n'y avait pas d'adsorption et donc déduire la quantité d'azote adsorbé pour une pression précise. Nous avons répété ces procédures pour avoir une courbe de la quantité d'azote adsorbé en fonction de la pression. On peut voir que la courbe n'est pas linéaire et qu'elle monte de moins en moins vite ce qui suppose qu'il y a une quantité maximale de gaz que peut contenir le charbon. Aussi nous avons graduellement fait décroître la pression pour observer la désorption de l'azote et nous pouvons voir qu'à la même pression la quantité d'azote adsorbé est plus grande lorsqu'on fait de la désorption que lorsqu'on fait de l'adsorption, comme si les particules de gaz restaient prisonnières du charbon. Cela fait du sens, car nous savons que pour dégazer un charbon il ne suffit pas de le mettre sous vide, il faut le chauffer en plus. Pour ce montage nous avons une sonde pression déjà calibré et nous avons pris ces données de calibration pour transformer nos données de mA en MPa. Le coefficient de corrélation  $R^2$  était de 0,9999989 donc nous savions que la correspondance était excellente. La courbe et l'ordonnée à l'origine avaient des incertitudes tellement petites que la précision de l'appareil les rendait négligeables, nous avons donc pris l'incertitude de nos mesures avec la précision de l'appareil qui était de 0,25% FS ce qui donne une incertitude sur la pression de 0,017 (MPa)

Pour la deuxième partie de notre laboratoire nous avons testé l'Adsorption d'azote à une température très basse  $77,36 \pm 0,01$  °K. Pour ce faire, nous avons fait la même expérience, mais cette fois-ci avec le porte échantillon dans l'azote liquide. Pour ce montage, nous avons dû ajouter une

sonde de pression, par conséquent, nous avons remesuré le volume du montage. Pour ce faire, nous avons injecté de l'hélium dans notre montage jusqu'à atteindre  $103,4 \pm 0,1$  kPa puis nous avons ouvert la valve menant à un porte-échantillon vide et la pression s'est stabilisée à  $87,4 \pm 0,1$  kPa. Nous avons fait la même chose une deuxième fois, mais cette fois-ci nous avons placé  $9,08589 \pm 0,00001$  g de billes, avec une masse volumique connue de  $7,92 \pm 0,01$  g/ml, dans le même porte-échantillon et nous avons trouvé comme pression initiale  $103,5 \pm 0,1$  kPa et comme pression finale  $92,5 \pm 0,1$  kPa. Nous avons donc calculé le volume du montage comme  $17,9 \pm 0,04$  ml. Après, nous avons calculé le « facteur de compression » qui est la correction que nous devons apporter pour transformer la pression à température pièce en la pression à  $77,36$  °K. Avec ces données et celle du volume accessible qui est la même que pour la partie 1 nous avons retesté l'adsorption d'azote pour ce test nous avons fait le vide, mais comme nos mesures sont assez petites (moins de 80 kPa) nous ne pouvons assumer que le vide est absolu, en fait, le vide de notre pompe est de  $0,9 \pm 0,1$  kPa, ce vide imparfait aurait pu fausser nos premières données, mais heureusement il semble que toutes nos premières données sont alignées avec les autres donc ce vide imparfait n'a visiblement pas altéré nos données. Nous avons fait les mêmes manipulations que la première partie avec le porte échantillon dans l'azote liquide et nous avons obtenus une courbe très inclinée au début que l'on peut expliquer par le fait que le charbon pouvait adsorber plus d'azote qu'on lui en donnait. Par après, la courbe forme une droite quasi linéaire, d'ailleurs pour étudier l'adsorption d'un matériau on se sert des paramètres de cette droite,

malheureusement nous ne savons exactement comment étudier ces paramètres pour qualifier l'adsorption du charbon. Ensuite, la courbe forme un plateau qui indique que le charbon est saturé en azote. Ces résultats sont ceux auxquels nous nous attendions, de plus si nous avions mis plus de pression nous aurions vu une nouvelle courbe très inclinée arrivée vers  $101,3$  kPa qui aurait signifié une augmentation massive de la quantité adsorbée, cette augmentation aurait été dû au fait que l'azote à une pression normale aurait commencé à se condenser et aurait été adsorbé en grande quantité pour une augmentation de pression minime, mais notre but était de tester l'adsorption de gaz et non de liquide. De toute façon, nous avons vu qu'à des températures très faibles le charbon peut adsorber beaucoup plus d'azote et à des pressions beaucoup plus faibles. En effet, à température normale le charbon a adsorbé au maximum  $1,620 \times 10^{-3} \pm 0,018 \times 10^{-3}$  moles d'azotes et à  $77,36 \pm 0,01$  °K il a adsorbé  $23,07 \pm 0,01$  moles soit une quantité plus de 14 000 fois plus grande.

## Conclusion

Le but de cette expérience était d'observer l'adsorption d'azote dans un charbon activé. Premièrement, nous avons calculé le volume du montage pour la première partie comme étant 14.71 ml, le volume accessible du porte-échantillon avec le charbon comme 2,22 ml et le volume du montage de la seconde partie comme étant 17,88 ml. Aussi nous avons vu qu'à température normale le charbon a adsorbé au maximum  $1,620 \times 10^{-3}$  moles d'azotes pour une pression de 6,682 MPa et à  $77,36$  °K il a adsorbé 23,07 moles pour une pression de 45,1 kPa soit une quantité adsorbée plus de 14 000 fois plus grande. Il aurait été

intéressant de prendre, pour la première partie, une plus grande plage de point pour voir si la courbe aurait fini par atteindre un plateau. Aussi, dans la deuxième partie, il aurait été intéressant de prendre plusieurs points de pression en changeant seulement la température pour avoir une meilleure correspondance pour être sûr de bien compenser le fait que l'azote dans le montage soit très chaud comparativement à l'azote dans le porte-échantillon. Si nous avions à recommencer, nous voudrions tester plusieurs charbons et comparer leur adsorption à différentes températures.

### **Médiagraphie**

1. Département de physique de l'Université de Trois-Rivières, GERVAIS-LAVOIE Raphaël. « Adsorption de gaz », 1<sup>er</sup> décembre 2021.