

**TD N°01**

**Exercice 1:**

Pour un mélange binaire A et B, montrer que la fraction massique  $\omega_A$  est reliée à la fraction molaire  $x_A$  par :

1.  $\omega_A = \frac{x_A M_A}{x_A M_A + x_B M_B}$
2.  $d\omega_A = \frac{M_A M_B dx_A}{(x_A M_A + x_B M_B)^2}$

**Exercice 2:**

La composition molaire du GNL commercial est :

- Méthane (CH<sub>4</sub>) → 94,9 %
- Ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) → 4,0 %
- Propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) → 0,6 %
- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) → 0,5 %

Déterminer :

1. La fraction molaire du méthane,
2. La masse molaire moyenne du mélange GNL,
3. La masse volumique du mélange gazeux lorsqu'il est à 193 K et sous une pression de 1,013 10<sup>5</sup> Pa,
4. La pression partielle du méthane lorsque la pression totale est de 1,013 10<sup>5</sup> Pa,
5. La fraction massique du propane en ppm (parts par million).

**Exercice 3:**

Soit un mélange binaire composé de A et B en mouvement tel que :

$$x_a = 1/6 ; u^* = 12\text{cm/s} ; u_a - u^* = 3\text{cm/s} ; M_a = 5M_b$$

Calculer, dans le cas d'une diffusion unidirectionnelle, les quantités :

$$u_b ; u_b - u^* ; u ; u_a - u ; u_b - u$$

**Travail à domicile :**

Considérons le transfert de matière, en régime unidirectionnel, pour un mélange gazeux formé d'oxygène (A) et de gaz carbonique (B) à la température de 294 K et à la pression totale de 1,519.10<sup>5</sup> Pa. Sachant que :

$$x_A = 0,4 ; u_A = 0,08 \text{ m/s} ; u_B = -0,02 \text{ m/s}.$$

Calculer :

1. La masse molaire moyenne du mélange ;
2. Les concentrations massiques de A et du mélange ;
3. La concentration du B ;
4. Les vitesses de diffusion massique de A et molaire de B ;
5. La densité du flux molaire de transport de A ;
6. La densité de flux massique de B.

« Qui va doucement arrivera sûrement »

**TD N°02**

**Exercice 1:**

Montrer que dans un mélange binaire, la relation entre la densité de flux massique de diffusion de A et sa fraction molaire est donnée par:

$$\bar{j}_A = -\frac{C^2}{\rho} M_A M_B \cdot D_{AB} \overline{\nabla x_A}$$

où  $\rho$  et  $C$  désignent, respectivement les concentrations massique et molaire totales.

**Exercice 2:**

On réalise un mélange liquide de benzène ( $C_6H_6$ ) de volume  $V$  (masse volumique  $880 \text{ kg/m}^3$ ) et de nitrobenzène ( $C_6H_5NO_2$ ) de même volume  $V$  (masse volumique  $1200 \text{ kg/m}^3$ ). En supposant qu'il n'y a pas de modification des volumes des constituants lorsqu'on réalise leur mélange, calculer la concentration molaire du benzène et la masse volumique du mélange.

**Exercice 3:**

Calculer le coefficient de diffusion de  $NH_3$  dans l'azote à  $353 \text{ K}$  et  $200 \text{ kPa}$ . Comparer la valeur trouvée à celle expérimentale,  $D_{AB} = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (Sherwood et al 1975). Les valeurs des paramètres de Lennard-Jones sont :

	$\sigma_i (\text{Å})$	$\epsilon_i/k (\text{ K})$
$NH_3$	2,900	558,3
$N_2$	3,798	71,4

**Exercice 4:**

Evaluer le coefficient de diffusion du  $CO_2$  dans l'air à  $20^\circ\text{C}$  et à pression atmosphérique. Comparer cette valeur avec celle donnée expérimentalement dans les tables. (Utiliser le tableau donnant les paramètres du potentiel de Lennard-Jones)

**Travail à domicile**

Calculer le coefficient de diffusion de l'ammoniac (A) dans l'azote (B) à 1 atm. et 30°C si l'on considère (d'après les tables) que  $D_{A\text{-air}}$  à 1 atm. et 0°C est égal à 0,98 cm<sup>2</sup>/s et  $D_{AC}$  (C:O) à 1 atm. et 20°C égal à 0,253 cm<sup>2</sup>/s. On suppose que l'air se compose uniquement d'azote (79 %) et d'oxygène (21 %). On donne :

$$D_{Am} = \frac{1 - y_A}{\frac{y_B}{D_{AB}} + \frac{y_C}{D_{AC}}}$$

Pour le calcul des coefficients de diffusion des différents binaires, on a utilisé la relation de Fuller, valable pour les basses pressions.

$$D_{AB} = \frac{10^{-3} \cdot T^{1,75} \left[ \frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{0,5}}{P \left( v_A^{1/3} + v_B^{1/3} \right)^2}$$

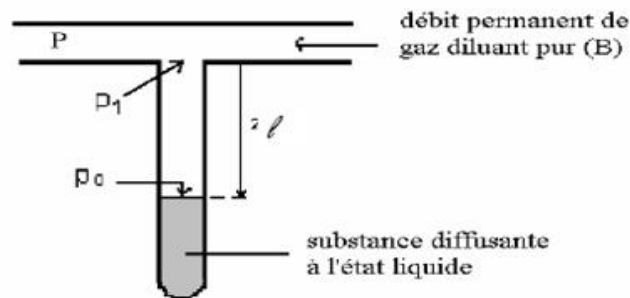
$v_A, v_B$  : volumes molaires partiels (supposés constants ici)

**« Les cheveux gris sont les archives de passé »**

TD N°03

Exercice 1:

La diffusivité d'un gaz (vapeur) dans un autre peut être mesurée à l'aide de la cellule de STEPHAN représentée ci-dessous dans un bain thermostaté.



La branche supérieure est parcourue par un débit constant, sous une pression totale P, de gaz diluant pur. L'abaissement du niveau liquide de la substance diffusante est repéré, en fonction du temps, au cathétomètre.

a) Donner l'expression du flux molaire  $\phi_A^*$  qui traverse la section du tube vertical en fonction du niveau  $l$ , de la pression totale P et des pressions partielles  $p_1$  et  $p_0$  du soluté. Pour tenir compte de l'effet de bord causé par le raccordement des tubes en T, on considère que la longueur de diffusion est non pas  $l$  mais  $l-\delta$ ,  $\delta$  ne dépendant que du débit de gaz diluant.

b) Appeler  $v_1$  le volume molaire de la substance diffusante à l'état liquide et exprimer la conservation de la matière en faisant un bilan infinitésimal dans le temps. En déduire une relation simple entre  $\Delta l$  et  $t/\Delta l$ ,  $\Delta l$  représentant l'abaissement du niveau liquide entre  $t=0$  (niveau  $l_0$ ) et l'instant t (niveau  $l$ ) qui permet, facilement, d'obtenir le coefficient de diffusion cherché.

A.N.: Pour la diffusion du pentane dans l'azote, on a obtenu les résultats suivants à  $T=31,4^\circ\text{C}$  et  $P=770$  mmHg :

tension de vapeur du pentane,  $p_0 = 645$  mmHg.

Le débit d'azote ( $150 \text{ cm}^3/\text{mn}$  pour un tube de 10 mm) est suffisant pour que  $p_1 \approx 0$ .

$l_0 = 2,75 \text{ cm}$        $v_1 = 117,05 \text{ cm}^3/\text{mol}$

c) Evaluer  $D_{AB}$ , coefficient de diffusion du pentane dans l'azote à  $31,4^\circ\text{C}$  et sous 770 mmHg et évaluer la correction d'effet de bord.

Les lectures au cathétomètre sont effectuées à 0,01 cm près. La correction d'effet de bord est-elle significative ?

On donne les résultats expérimentaux sous forme  $\Delta l = f(t/\Delta l)$

t (heures)	$\Delta l$ (cm)	t/ $\Delta l$ (h/cm)
5	3,28	1,524
12	5,94	2,02
25	9,39	2,66
40	12,41	3,22
60	15,66	3,83
80	18,42	4,34
100	20,85	4,79

Le régime est quasi-stationnaire et sans réaction chimique.

**Exercice 3:**

La diffusivité du  $\text{CCl}_4$  à travers l'oxygène est déterminée à l'aide d'une cellule d'Arnold en régime quasi-stationnaire. La cellule ayant une section de  $0,82 \text{ cm}^2$ , fonctionne à  $273 \text{ K}$  et sous une pression de  $755 \text{ mmHg}$ . La couche de diffusion a une épaisseur initiale de  $17,1 \text{ cm}$ .

Si  $0,0208 \text{ cm}^3$  de  $\text{CCl}_4$  s'est évaporé en 10 heures, calculer la diffusivité de  $\text{CCl}_4$  dans  $\text{O}_2$ .

On donne : pression de vapeur du  $\text{CCl}_4$  à  $273 \text{ K}$  égale à  $33 \text{ mmHg}$ .

masse volumique du  $\text{CCl}_4$  liquide  $\rho_l = 1,59 \text{ g/cm}^3$

La concentration de  $\text{CCl}_4$  est négligeable au sommet du tube.

**Travail à domicile:**

Retrouver l'équation de conservation de la masse pour un constituant d'un mélange dans un réacteur chimique ouvert, en utilisant un volume infinitésimal  $dx.dy.dz$ .

« On ne fait pas l'omelette sans casser d'œufs »

Pr H.Madani