

Module de Biophysique

SERIE 1

Biophysique des solutions (1)

Pression de vapeur saturante

Potentiel chimique

Pression osmotique

Pr. Boutheïna Boutabia-Chéraitia

Faculté de Médecine d'Annaba

1 *SERIE 1 -avec corrigé-* Pr B. Boutabia-Chéraitia

Exercice 1:

1) Calculer, dans les conditions normales de température et de pression, la distance moyenne entre deux molécules de gaz.

On supposera, par exemple, que le volume alloué à une molécule est un cube.

2) Déterminer la distance moyenne entre deux molécules d'eau liquide.

Réponses

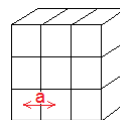
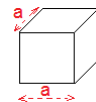
1) Le volume alloué à la molécule est un cube d'arête a :

a : arête d'un cube = distance entre deux molécules.

$$v = a^3$$

$$v = \frac{V_{\text{molaire}}}{N} = \frac{22.4 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$a = \sqrt[3]{v} = 33.3 \times 10^{-10} \text{ m} = 33.3 \text{ \AA}$$



2 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

2) $V_{molaire} = ?$

$$\rho_{eau} = 1g/cm^3$$

$$M_{eau} = 18g/mole \Rightarrow V_{molaire} = 18cm^3$$

$$v = \frac{V_{molaire}}{N} = \frac{18 \times 10^{-6}}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$a = \sqrt[3]{v} = 3.1 \text{ \AA}$$

Remarque

$$a_{gaz} \gg a_{liquide}$$

Exercice 2:

- 1) Quelle masse minimale d'eau (g) doit-on introduire dans une enceinte de 5 litres à la température de $37^\circ C$ pour obtenir de la vapeur saturante?
- 2) On comprime cette enceinte de 5 à 3 litres puis on y introduit 0.219g d'eau. Que vaudrait alors la pression de vapeur?

3 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

- 3) Même question que 2) mais en prenant $V = 10l$ le volume final de l'enceinte.

On donne pour l'eau à $37^\circ C$: $P_{sat} = 6.27kPa$

Réponses

- 1) On calcule le nombre de moles d'eau (n) qui **suffiront** pour saturer l'enceinte de vapeur.

$$P_{sat} \times V = nRT \Rightarrow n = \frac{P_{sat} \times V}{RT} = \frac{6.27 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-3}}{8.31 \times (37+273)} = 0.012 \text{ moles} : n_{minimum}$$

$$\Rightarrow m_{eau} = n \times M = 0.012 \times 18 = 0.219g : \text{masse minimale}$$

$$2) \text{ Si } V = 3l \Rightarrow n = \frac{P_{sat} \times V}{RT} = \frac{6.27 \times 10^3 \times 3 \times 10^{-3}}{8.31 \times (37+273)} = 7.3 \times 10^{-3} \text{ moles}$$

Nous disposons de $m = 0.219g$ càd 0.012 moles , et il nous faut seulement $7.3 \times 10^{-3} \text{ moles}$ pour saturer l'enceinte $\Rightarrow 7.3 \times 10^{-3} \text{ moles}$ se transformeront en vapeur saturante et le reste, càd $0.012 - 7.3 \times 10^{-3} = 4.96 \times 10^{-3} \text{ moles}$ resteront à l'état liquide.

Donc la pression de vapeur dans l'enceinte : $P_{sat} = 6.27kPa$

4 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

$$3) \text{ Si } V = 10l \Rightarrow n = \frac{P_{sat} \times V}{RT} = \frac{6.27 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3}}{8.31 \times (37+273)} = 0.024 \text{ moles}$$

Il nous faut 0.024 moles pour saturer l'enceinte et nous ne disposons que de 0.012 moles, qui vont donc se transformer entièrement en vapeur, mais non saturante.

$$P_V \times V = nRT \Rightarrow P_V = \frac{nRT}{V} = \frac{0.012 \times 8.31 \times (37+273)}{10 \times 10^{-3}} = 3091.32 Pa$$

Exercice 3:

On introduit 10g d'éther liquide dans une ampoule scellée de volume $20cm^3$ préalablement vidée. La température pendant l'opération reste constante et égale à $18^\circ C$.

- 1) Quelle sera la masse maximale de vapeur d'éther dans l'ampoule?
- 2) Quelle sera alors la composition en masse et volume de l'état d'équilibre final?

On assimilera la vapeur à un gaz parfait, et on donne pour l'éther:

$$P_{sat} \text{ à } 18^\circ C = 400mmHg; \rho = 0.713g/cm^3 ; M = 74g.$$

5 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

Réponses

- 1) On calcule le nombre de moles d'éther liquide qui suffiront pour saturer l'enceinte de vapeur:

$$P_{sat} \times V = nRT \Rightarrow n = \frac{P_{sat} \times V}{RT} = \frac{400 \times 20 \times 10^{-6}}{7.5 \times 10^{-3} \times 8.31 \times (18+273)} = 4.41 \times 10^{-4} \text{ moles}$$

$$\Rightarrow m = n \times M = 4.41 \times 10^{-4} \times 74 = 0.0326g$$

$$0.0326g = \begin{cases} m_{\min} & \text{d'éther liquide à introduire dans l'enceinte} \\ m_{\max} & \text{de vapeur d'éther qui peut saturer l'enceinte} \end{cases}$$

Nous disposons de 10g d'éther liquide, donc:

$$\hookrightarrow 0.0326g \text{ se transforment en vapeur saturante de volume } 20cm^3.$$

$$\hookrightarrow 10 - 0.0326 = 9.9674g \text{ resteront à l'état liquide de volume:}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{9.9674}{0.713} = 13.97cm^3$$

$$\Rightarrow V_{enceinte} \neq V_{gaz} + V_{liquide}!$$

On refait donc les calculs d'où la question 2).

6 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

2) A l'équilibre, on aura de l'éther liquide (l) et de l'éther gazeux (g) :

$$10g = m_l + m_g \dots (1)$$

$$20cm^3 = V_l + V_g \dots (2) \quad V_l = \frac{m_l}{\rho_l} = \frac{m_l}{0.713} \quad V_g = \frac{m_g}{\rho_g}$$

On calcule ρ_{gaz} :

Dans 1) on a trouvé que $0.0326g = m_{max}$ de vapeur qui sature l'enceinte de volume $20cm^3$.

$$\Rightarrow \rho_{gaz} = \frac{m}{V} = \frac{0.0326}{20} = 0.00163g/cm^3 \Rightarrow (2) : 20cm^3 = \frac{m_l}{0.713} + \frac{m_g}{0.00163}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 10 = m_l + m_g \\ 20 = \frac{m_l}{0.713} + \frac{m_g}{0.00163} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_l \simeq 9.99g \\ m_g \simeq 0.01g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_l \simeq 14cm^3 \\ V_g \simeq 6cm^3 \end{cases}$$

7 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

Exercice 4:

On considère à la température T un soluté A en solution dans deux fluides (1) et (2) non miscibles. On notera μ_1^0 le potentiel standard de A dans le solvant (1) et μ_2^0 le potentiel standard de A dans le solvant (2). Les deux solutions sont considérées idéales.

- 1) Quelle relation a-t-on à l'équilibre entre le potentiel chimique μ_1 de A dans (1) et le potentiel chimique μ_2 de A dans (2)?
- 2) En déduire qu'à l'équilibre, les concentrations C_1 et C_2 de A dans (1) et (2) sont reliées par $\frac{C_2}{C_1} = k$, où k est une constante à déterminer et qui ne dépend que de la température.
- 3) Dans un récipient on verse $1l$ d'eau (solvant (1)) et $1l$ de benzène (solvant (2)), liquides non miscibles. On introduit ensuite $1mmole$ de phénol (soluté A) dans ce récipient. Celui-ci se dissout dans l'eau et le benzène. Déterminer C_1 et C_2 . On donne: $T = 298K$;

$$\mu_1^0 - \mu_2^0 = -898J/mol$$

8 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

Réponses

1) $\mu_1 = \mu_2$ car on a l'équilibre.

$$2) \mu_1(T) = \mu_1^0(T) + RT \ln\left(\frac{C_1}{C_0}\right)$$

$$\mu_2(T) = \mu_2^0(T) + RT \ln\left(\frac{C_2}{C_0}\right)$$

$C_0 = 1 \text{ mol/l}$: concentration molaire de référence.

$$\mu_1 = \mu_2 \Rightarrow \mu_1^0(T) - \mu_2^0(T) = RT \ln\left(\frac{C_2}{C_1}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \exp\left(\frac{\mu_1^0(T) - \mu_2^0(T)}{RT}\right) = \exp\left(\frac{-898}{8.31 \times 298}\right) = 0.7 \equiv k$$

$$3) \frac{C_2}{C_1} = 0.70$$

$$V_1 = V_2 = V$$

$$C_1 + C_2 = \frac{n_1}{V_1} + \frac{n_2}{V_2} = \frac{n_1 + n_2}{V} = \frac{0.001}{1} = 0.001 \text{ mol/l}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{C_2}{C_1} = 0.7 \\ C_2 + C_1 = 0.001 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 0.59 \text{ mmol/l} \\ C_2 = 0.41 \text{ mmol/l} \end{cases}$$

9 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

Exercice 5:

Un litre de solution contient:

* 10ml de HCl à 1mol/l

* 7.5ml de H₂SO₄ à 2mol/l

* 5.55g de CaCl₂ (M = 111g/mole)

* 14.4g de glucose (M = 180g/mole)

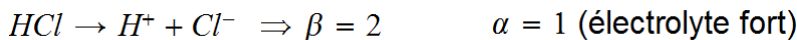
Les électrolytes sont supposés entièrement dissociables.

Calculer l'osmolarité de la solution.

Réponses

$$\omega = \sum_i \omega_i = \sum_i [1 + \alpha_i(\beta_i - 1)] C_i$$

* HCl



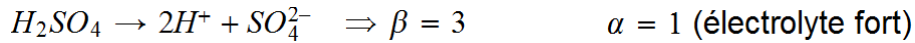
$$C_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{10^{-2}}{1} = 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$n_{\text{HCl}} = CV = 1 \times 10 \times 10^{-3} = 10^{-2} \text{ moles}$$

$$\omega_{\text{HCl}} = [1 + 1(2 - 1)] C_{\text{HCl}} = 2 \times 10^{-2} \text{ osmol/l} = 20 \text{ mosmol/l}$$

10 **SERIE 1 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

* H_2SO_4

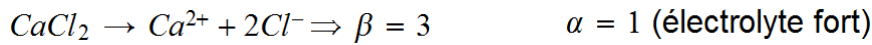


$$C_{H_2SO_4} = \frac{n_{H_2SO_4}}{V_{solution}} = \frac{1.5 \times 10^{-2}}{1} = 1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$n_{H_2SO_4} = CV = 2 \times 7.5 \times 10^{-3} = 1.5 \times 10^{-2} \text{ moles}$$

$$\omega_{H_2SO_4} = [1 + 1(3 - 1)]C_{H_2SO_4} = 4.5 \times 10^{-2} \text{ osmol/l} = 45 \text{ mosmol/l}$$

* $CaCl_2$



$$C_{CaCl_2} = \frac{n_{CaCl_2}}{V_{solution}} = \frac{5 \times 10^{-2}}{1} = 5 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$n_{CaCl_2} = \frac{m}{M} = \frac{5.5}{111} = 5 \times 10^{-2} \text{ moles}$$

$$\omega_{CaCl_2} = [1 + 1(3 - 1)]C_{CaCl_2} = 15 \times 10^{-2} \text{ osmol/l} = 150 \text{ mosmol/l}$$

11 **SERIE 1 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

*Glucose

Non-électrolyte $\Rightarrow \omega_{Glucose} = C_{Glucose}$

$$C_{Glucose} = \frac{n_{Glucose}}{V_{solution}} = \frac{8 \times 10^{-2}}{1} = 8 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$n_{Glucose} = \frac{m}{M} = \frac{14.4}{180} = 8 \times 10^{-2} \text{ moles}$$

$$\omega_{Glucose} = 8 \times 10^{-2} \text{ osmol/l} = 80 \text{ mosmol/l}$$

L'osmolarité totale:

$$\omega = \omega_{HCl} + \omega_{H_2SO_4} + \omega_{CaCl_2} + \omega_{Glucose} = 295 \text{ mosol/l}$$

Exercice 6:

Dans un litre d'urine d'abaissement cryoscopique $-1.4^\circ C$, on a trouvé 11.7g de $NaCl$ et 15g d'urée ($M = 60 \text{ g/mol}$).

- 1) Calculer l'osmolarité totale, puis celles de $NaCl$ et de l'urée.
- 2) Que peut-on en conclure? peut-on imputer cet excès d'osmolarité à l'albumine ($M_{al} = 70000 \text{ g/mol}$)? Quelle autre substance faut-il chercher?

On donne pour l'eau: $K_{cr} = 1.86^\circ C.Kg/osmol$

12 **SERIE 1 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

Réponses

1) * ω_{tot}

$$\Delta T_{sol} = -K_{cr} \times \omega_{tot} \qquad K_{cr} = 1.86^{\circ}C.l/osmol$$

$$\Rightarrow \omega_{tot} = -\frac{\Delta T_{sol}}{K_{cr}} = -\frac{-1.4}{1.86} = 0.752 osmol/l = 752 mosmol/l$$

* ω_{NaCl}

$$\omega_{NaCl} = [1 + \alpha(\beta - 1)]C_{NaCl}$$

$$\beta = 2; \alpha = 1 \Rightarrow \omega_{NaCl} = 2C_{NaCl}$$

$$C_{NaCl} = \frac{m}{MV} = \frac{11.7}{58.5 \times 1} = 0.2 mol/l$$

$$\omega_{NaCl} = 0.4 osmol/l = 400 mosmol/l$$

* $\omega_{urée}$

$$\text{Non- électrolyte} \Rightarrow \omega_{urée} = C_{urée}$$

$$C_{urée} = \frac{m}{MV} = \frac{15}{60 \times 1} = 0.25 mol/l$$

$$\omega_{urée} = 0.25 osmol/l = 250 mosol/l$$

13 **SERIE 1 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

2) $\omega_{NaCl} + \omega_{urée} < \omega_{tot}$

$$\omega_{tot} - (\omega_{NaCl} + \omega_{urée}) = 109 mosmol/l \text{ en excès!}$$

Si cet excès est dû à l'albumine

$$\Rightarrow \omega_{alb} = 109 mosmol/l$$

L'albumine: non-électrolyte $\Rightarrow \omega_{alb} = C_{alb}$

$$C_{alb} = 109 mmol/l = \frac{m_{alb}}{M_{alb}V}$$

$$\Rightarrow m_{alb} = C_{alb}M_{alb}V = 109 \times 10^{-3} \times 7 \times 10^4 \times 1 = 7630g$$

7.63kg d'albumine dans un 1l d'urine! \Rightarrow impossible.

Si cet excès est dû au glucose

$$M_{gluc} = 180g/mol$$

$$\Rightarrow m_{gluc} = C_{gluc}M_{gluc}V = 109 \times 10^{-3} \times 180 \times 1 = 19.62g$$

14 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

Exercice 7:

4.6g d'alcool éthylique ($M = 46\text{g/mol}$) dans 200ml de solvant pur donnent une solution qui commence à déposer de la glace à -0.93°C . On prend ensuite 5.8g d'un composé non ionisable dont on veut connaître la masse molaire et on les dissout dans 100ml du même solvant. On trouve que le dépôt de glace commence à -0.59°C . Calculer la masse molaire de la substance inconnue. On donne: température de congélation du solvant pur: 0°C .

Réponses

(1) : alcool éthylique \equiv éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

Ethanol: non-électrolyte $\Rightarrow \omega_1 = C_1$

$$C_1 = \frac{m_1}{M_1 V_{\text{solution}}} = \frac{4.6}{46 \times 0.2} = 0.5 \text{ mol/l} \quad V_{\text{solution}} \simeq V_{\text{solvant}} = 200 \text{ ml}$$

$$\omega_1 = 0.5 \text{ osmol/l} = 500 \text{ mosmol/l}$$

$$\Delta T_1 = -K_{cr} \omega_1 \quad \Delta T_1 = T_s - T_0 = -0.93 - 0 = -0.93^\circ\text{C}$$

15 **SERIE 1 -avec corrigé-** Pr B. Boutabia-Chéraitia

(2) : le composé de masse molaire inconnue

Non-ionisable $\Rightarrow \omega_2 = C_2$

$$C_2 = \frac{m_2}{M_2 V_{\text{solution}}} = \frac{5.8}{M_2 \times 0.1} \text{ mol/l} \quad V_{\text{solution}} \simeq V_{\text{solvant}} = 100 \text{ ml}$$

$$\omega_2 = \frac{58}{M_2} \times 10^3 \text{ mosmol/l}$$

$$\Delta T_2 = -K_{cr} \omega_2 \quad \Delta T_2 = T_s - T_0 = -0.59 - 0 = -0.59^\circ\text{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta T_1 = -K_{cr} \omega_1 \\ \Delta T_2 = -K_{cr} \omega_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{500 M_2}{58 \times 10^3} \Rightarrow M_2 = \frac{\Delta T_1 \times 58 \times 10^3}{500 \Delta T_2} = 183 \text{ g/mol}$$

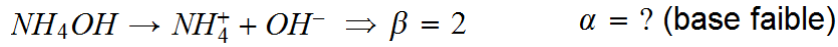
Exercice 8:

Sachant qu'une solution 2.24M d'ammoniaque (NH_4OH) est iso-osmotique à une solution 1.4M de chlorure de sodium, déterminer le coefficient de dissociation α de NH_4OH . La membrane étant considérée semi-perméable.

Réponses

16 **SERIE 1 -avec corrigé-** **Pr B. Boutabia-Chéraitia**

*NH₄OH



$$\omega_{NH_4OH} = [1 + \alpha(2 - 1)]C_{NH_4OH} = (1 + \alpha)C_{NH_4OH}$$

$$C_{NH_4OH} = 2.24 \text{ mol/l}$$

*NaCl

$$\omega_{NaCl} = 2C_{NaCl} \qquad C_{NaOH} = 1.4 \text{ mol/l}$$

Iso-osmoticité avec membrane semi-perméable \Rightarrow Iso-osmolarité

$$\Rightarrow \omega_{NH_4OH} = \omega_{NaCl} \Rightarrow (1 + \alpha)C_{NH_4OH} = 2C_{NaCl}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{2C_{NaCl}}{C_{NH_4OH}} - 1 = \frac{2 \times 1.4}{2.24} - 1 = 0.25$$