



DS4 – PHYSIQUE-CHIMIE – CORRIGÉ

D.Malka – MPSI 2018-2019 – Lycée Jeanne d'Albret

17.11.2018

Problème 1 – Autour de l'hémoglobine

1. $Hb_{(aq)} + O_{2(g)} = HbO_{2(aq)}$ (1) avec $K_1 = 39$

$K_1 = 39 < 1,0 \times 10^4$ donc la réaction (1) est limitée.

2. Saturation du sang en dioxygène.

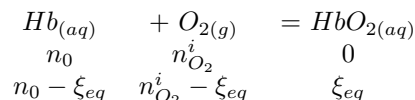
2.1 Concentration initiale c_0 en hémoglobine du sang.

$$c_0 = \frac{n_{Hb}}{V} \quad \text{avec} \quad n_{Hb} = \frac{m}{M_{Hb}}$$

$$\Rightarrow \boxed{c_0 = \frac{m}{M_{Hb}V}}$$

A.N. : $m = 15 \text{ g}$, $M_{Hb} = 1,6 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $V = 0,100 \text{ L}$ d'où $c_0 = \underline{9,4 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$.

2.2 Tableau d'avancement :



Loi d'action de masse appliquée à l'équilibre (1) :

$$Q_{eq} = K_1^\circ$$

$$\Leftrightarrow \frac{[HbO_2]_{eq} P^\circ}{[Hb]_{eq} P_{O_2,eq}} = K_1^\circ$$

avec $[Hb]_{eq} = \frac{n_0 - \xi_{eq}}{V} = c_0 - x_{eq}$ et $[HbO_2]_{eq} = x_{eq}$ en posant $x_{eq} = \frac{\xi_{eq}}{V}$.

$$\Leftrightarrow \frac{x_{eq} P^\circ}{(c_0 - x_{eq}) P_{O_2,eq}} = K_1^\circ$$

$$\Leftrightarrow x_{eq} = K_1^\circ \frac{(c_0 - x_{eq}) P_{O_2,eq}}{P^\circ}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{x_{eq} = \frac{\frac{K_1^\circ P_{O_2,eq}}{P^\circ}}{1 + \frac{K_1^\circ P_{O_2,eq}}{P^\circ}} c_0}$$

A.N. : $P^0 = 10^5 \text{ Pa}$, $P_{O_2} = 1,3 \times 10^4 \text{ Pa}$, $K_1 = 39$, $c_0 = 9,4 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$: $x_{eq} = \underline{7,8 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$.

2.3 Saturation $s = \frac{[HbO_2]}{[Hb]}$ de l'hémoglobine dans le cadre de ce modèle :

$$s = \underline{83,5\%}$$

D'après les courbes fig.1, avec une pression partielle en dioxygène de 13 kPa, la saturation de l'hémoglobine est de l'ordre de 95 % donc le modèle sous-estime légèrement s .

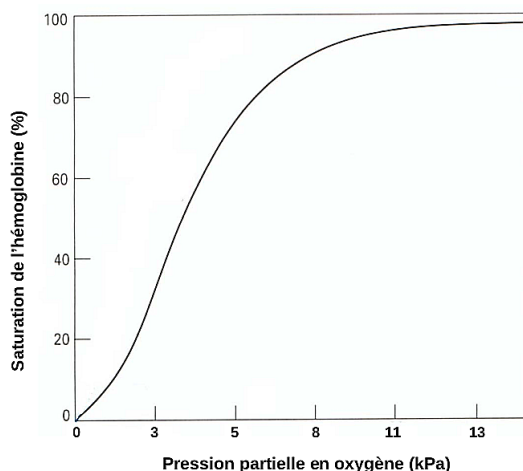
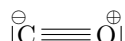


FIGURE 1 – Saturation s de l’hémoglobine en fonction de la pression partielle en dioxygène. La saturation s est le pourcentage d’hémoglobine complexée c’est-à-dire sous forme d’oxyhémoglobine.

3. Intoxication au monoxyde de carbone CO .

3.1 Formule de Lewis pour le monoxyde de carbone.

- $C : 1s^2 2s^2 2p^2$; $O : 1s^2 2s^2 2p^4$,
- $N = 10e^- \Rightarrow D = 5$ doublets,
- Formule de Lewis :



3.2 (2) – (1) = (3) \Rightarrow $K_3 = \frac{K_2}{K_1}$.

A.N. : $K_3 = 18,6$

L’équilibre (3) montre que le monoxyde de carbone se substitue favorablement ($K_3 > 1$) au dioxygène sur l’hémoglobine.

3.3 Rapport des pressions partielles $r = \frac{P_{CO}}{P_{O_2}}$ pour lesquels le dioxygène et le monoxyde de carbone se fixent également sur l’hémoglobine.

Le monoxyde de carbone et le dioxygène se fixent à part égale sur l’hémoglobine se traduit par :

$$\frac{[HbCO]}{[HbO_2]} = 1$$

Or d’après la loi d’action de masse :

$$K_3 = \frac{P_{O_2}[HbCO]}{P_{CO}[HbO_2]}$$

$$\Leftrightarrow \frac{P_{O_2}}{P_{CO}} = K_3 \frac{[HbO_2]}{[HbCO]}$$

avec $\frac{[HbCO]}{[HbO_2]} = 1$ donc $r = \frac{P_{CO}}{P_{O_2}} = \frac{1}{18,6}$.

3.4 Déterminons le pourcentage, soit la fraction molaire x_{CO} , correspondant au rapport des pressions partielles différentes.

Le rapport des pressions partielles est égal au rapport des quantités de matière (en appliquant l’équation d’état du gaz parfait au monoxyde de carbone et au dioxygène) :

$$r = \frac{P_{CO}}{P_{O_2}} = \frac{x_{CO}}{x_{O_2}}$$



donc :

$$x_{CO} = r x_{O_2}$$

or dans l’atmosphère $x_{O_2} = 20\%$ d’où $x_{CO} \approx 1,07\%$.

- 3.5 Une personne empoisonnée au monoxyde de carbone est placée dans un caisson hyperbare dans lequel on impose une concentration élevée en dioxygène. Initialement, à l’équilibre (3), $K_3 = Q_{eq}$. En augmentant la concentration en dioxygène, on augmente le quotient réactionnel Q . Transitoirement, alors $Q > K_3$. Le système va donc évoluer dans la sens indirect entraînant la disparition de $HbCO$ et la formation HbO_2 : la personne se désintoxique.

Problème 2 – Approche géométrique de la propagation d’un signal dans une fibre optique

1. Ouverture numérique de la fibre.

- 1.1 Conditions d’une trajectoire plane de la lumière à travers la fibre.

D’après la première loi de Descartes, chaque rayon réfléchi appartient au plan d’incidence défini par la normale au plan d’incidence et le rayon incident. La trajectoire de la lumière est plane si les plans d’incidence successifs sont confondus. Comme le $n^{\text{ème}}$ rayon incident est aussi $(n-1)^{\text{ème}}$ rayon réfléchi, la confusion des plans d’incidence est réalisée si les normales successives sont coplanaires. Seuls les plans contenant l’axe de symétrie de la fibre réalisent cette condition. Il faut donc que le point d’incidence initial appartienne à un de ces plans.

- 1.2 S’il y a réflexion totale à la première interface cœur/gaine alors les incidences suivantes se fait avec avec le même angle et la lumière se propage par réflexions totales successives.

Condition de réflexion totale à l’interface cœur/gaine. Il existe un rayon réfracté à cette interface si :

$$r' \leq \frac{\pi}{2}$$

avec r l’angle de réfraction. Soit :

$$\sin r' \leq 1$$

Or d’après la 4^{ème} loi de Descartes : $n_1 \sin \theta = n_2 \sin r'$.

$$\sin \theta \leq \sin i$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta = \frac{n_2}{n_1} \sin r$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta \leq \sin \theta_L \quad \text{avec} \quad \sin \theta_L = \frac{n_2}{n_1}$$

Donc il y a guidage par réflexion totale si :

$$\Leftrightarrow \sin \theta > \sin \theta_L \quad \text{avec} \quad \sin \theta_L = \frac{n_2}{n_1}$$

- 1.3 Conditions de propagation du signal dans la fibre sur l’angle d’incidence i .

- 1.3.1 Traduisons la condition de réflexion totale sur θ en une condition sur i .

$$\theta = r - \frac{\pi}{2}$$

$$\Rightarrow \sin \theta = \sin\left(r - \frac{\pi}{2}\right) = \cos r$$

Or, d’après la 4^{ème} loi de Descartes,

$$n_1 \sin r = \sin i \Rightarrow \sin i = n_1 \sqrt{1 - \cos^2 r}$$

Soit :

$$\sin i = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$$

Or, il y a réflexion totale si $\sin \theta > \frac{n_2}{n_1}$ donc si :

$$\sin i < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

1.3.2 Ouverture numérique : $N = \sin i_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,36$ et $i_{\max} = 21,3^\circ$.

2. Dispersion modale

2.1 Le signal est émis sous forme d’impulsions infrarouges.

2.2 Rayon de plus court parcours.

2.2.1 Voir fig.2.

2.2.2 Durée τ_1 du parcours le plus court.

$$\tau_1 = n_1 \frac{L}{c_0}$$

où $c_0 \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ est la célérité de la lumière dans le vide.

2.3 Rayon de plus long parcours.

2.3.1 Le parcours le plus long est celui qui maximise le nombre de réflexions totales c’est-à-dire tel que $\theta = \theta_L$ soit $i = i_{\max}$. Voir fig.2.

2.3.2 Durée τ_2 du parcours le plus long.

$$\tau_2 = n_1 \frac{L'}{c_0}$$

avec L' la longueur de la ligne brisée décrite par la lumière. Géométriquement :

$$L' = \frac{L}{\sin \theta_L}$$

avec $\sin \theta_L = \frac{n_2}{n_1}$ d’où :

$$\tau_2 = \frac{n_1^2 L}{n_2 c_0}$$

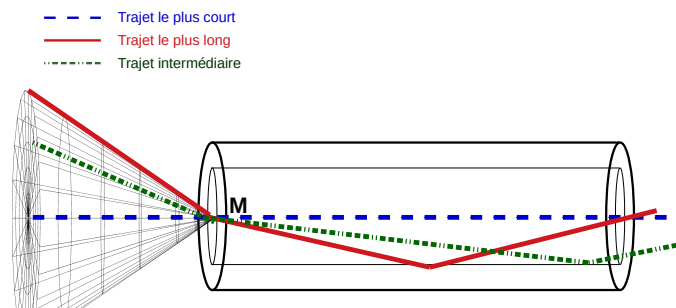


FIGURE 2 – Trajet le plus long et trajet le plus court à travers la fibre optique.

2.4 Différence de durée de parcours $\Delta t_{\max} = n_1 \frac{L}{c_0} \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)$.

2.5 La largeur des impulsions à la sortie de la fibre est égale à Δt_{\max} .

2.6 Débit maximal R_{\max} de la fibre optique ? La période T des impulsions doit être inférieure à la largeur des impulsions en sortie soit :

$$T \geq \Delta t_{\max}$$

Or $R_{\max} = \frac{1}{T_{\max}}$ = donc :

$$R_{\max} = \frac{1}{\Delta t_{\max}} = \frac{c_0}{n_1 L \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)}$$

A.N. : pour $L = 50 \text{ km}$, $R_{\max} = 1,37 \text{ kbit} \cdot \text{s}^{-1}$. Cette valeur est très faible devant les standards actuels qui utilisent une tout autre technologie de fibre optique.