C1 | Chimie

Réaction chimique et équilibre

Prérequis

Étude des circuits électronique	Collège/lycée
Relation puissance - énergie	Collège et lycée
Résistor. Résistance électrique	Collège - Lycée
Notion mathématique : dérivée, mise au même dénominateur, inverse du somme	Lycée

Plan

I. Les transformations de la matière

I.A. Transformations physiques

I.B. Transformations nucléaires

I.C. Transformations chimiques

II. Description d'un système physico-chimique

II.A. Corps purs et mélanges

II.B. Caractérisation des espèces physico-chimiques

- 1. Masse volumique
- 2. Concentration molaire et massique
- 3. Fraction molaire et massique
- 4. Pression partielle

III. La réaction chimique

III.A. Exemples de réactions chimiques

III.B. Modèle de l'équation de réaction chimique

IV. Avancement d'une réaction chimique

IV.A. Tableau d'avancement (TA)

- 1. Tableau en quantité de matière (ξ)
- 2. Tableau en concentration (x)

IV.B. Réaction équilibrée ou réaction totale ?

IV.C. Quotient de réaction (Q_r)

IV.D. Constante d'équilibre ($K°$)

IV.E. Sens d'évolution de la réaction chimique

V. Méthode de détermination de l'équilibre

V.A. Cas d'une réaction équilibrée

V.B. Cas d'une réaction totale

V.C. Cas d'une rupture d'équilibre (réaction hétérogène)

Savoirs

Les trois états de la matière et les noms des changements de phase	I
Un corps pur change de phase à température constante	I
Diagramme (PT)	I
Définitions : corps pur, mélange, corps simple (ie O_2), corps composés (ie H_2O)	II

- Défintion : masse volumique, concentration en quatité de matière, concentration massique, fraction molaire, fraction massique, pression partielle — II
- Loi d'état des gaz parfait. — II
- Écrire une équation de réaction sous forme générique : — III

$$\sum_i \nu_i X_i = 0$$

où $\nu_i > 0$ pour les produits et $\nu_i < 0$ pour les réactifs

- L'avancement en quatité de mantière se note ξ et en concentration x — IV
- Différence entre réaction totale et réaction équilibrée — IV
- Quotient de réaction Q ou Q_r — IV
- Constante d'équilibre $K^\circ = Q_{r,eq}$. Ne dépend que de la température. Jamais des conditions initiales. — IV

Savoir-Faire

- Placer les états de la matière sur un diagramme (P,T) — I
- Équilibre une équation de réaction : conservation du nombre d'atomes et de la charge — I
- Calculer une concentration massique ou en quatité de matière — II
- Déterminer et calculer la pression partielle d'un gaz en utilisant la loi des gaz parfaits — II
- Faire un tableau d'avancement — IV
- Déterminer l'avancement maximal (théorique) d'une réaction donnée — IV
- Identifier le réactif limitant — IV
- Calculer le quotient de réaction à un instant donné — IV
- Calculer la constante d'équilibre pour un état d'équilibre donné — IV
- Déterminer le sens d'évolution d'une réaction en comparant Q_r et K° — IV
- Déterminer les quantité de matière et/ou les concentration à l'équilibre d'une réaction chimique, la constante d'équilibre (K°) étant donnée — V

Application 1 : Nombre d'*Avogadro*

Énoncé Combien y a-t-il d'entités dans 3 moles ?
Solution $N = n\mathcal{N}_A$
A.N. $N = 18 \times 10^{23}$

Application 2 : Dissolution du sel

Énoncé Nous déposons dans un litre d'eau 3 g de sel (NaCl) qui se solvate complètement.
Données : $M_{\text{Cl}} = 35\,\text{g mol}^{-1}$ et $M_{\text{Na}} = 23\,\text{g mol}^{-1}$.
1 Quelle est la concentration en quantité de matière en ions sodium (Na^+) et en ions chlorure (Cl^-) ?
Solution $[\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = 5{,}2 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$.

Application 3 : Serum physiologique

Le sérum physiologique est dit à $0{,}9\,\%$. C'est-à-dire qu'il contient une fraction massique $0{,}9\,\%$ de sel (NaCl).
1 Quelle est la concentration molaire en ions chlorure (Cl^-) ?
Donnée : $M_{\text{Cl}} = 35\,\text{g mol}^{-1}$ et $M_{\text{Na}} = 23\,\text{g mol}^{-1}$. La masse volumique de la solution est celle de l'eau : $\rho_{sol} = 1\,\text{kg L}^{-1}$.
Solution

$$w_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{sol}}$$

TA de la solvatation du sel :

n	NaCl	=	Na^+	Cl^-
EI	n	||	0	0
EF	0	||	n	n

Donc

$$n_{\text{Cl}^-} = [\text{Cl}^-]\,V_{sol} = n_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}}$$
$$[\text{Cl}^-] = \frac{m_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}} V_{sol}} = \frac{w_{\text{NaCl}} m_{sol}}{M_{\text{NaCl}} V_{sol}} = \frac{w_{\text{NaCl}} \rho_{sol}}{M_{\text{NaCl}}}$$

A.N. $[\text{Cl}^-] = 1{,}6 \times 10^{-1}\,\text{mol L}^{-1}$

Application 4 : Quotient de réaction

Énoncé Dans les cas suivants :
1 équilibrer la réaction chimique
2 exprimer le quotient de réaction

1. $N_{2(g)} + H_{2(g)} = NH_{3(g)}$
2. $CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$
3. $Ag^+_{(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)} = Ag_{(s)} + Fe^{3+}_{(aq)}$

Solution

$$Q_{r,1} = \frac{P^2_{\text{NH}_3} P^{\circ 2}}{P_{\text{N}_2} P^3_{\text{H}_2}}$$
$$Q_{r,2} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]\,[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}^+]\,C^\circ}$$
$$Q_{r,3} = \frac{[\text{Fe}^{3+}]\,C^\circ}{[\text{Ag}^+]\,[\text{Fe}^{2+}]}$$

CC BY NC SA

Application 5 : Constante d'équilibre

Énoncé Soit la réaction suivante :

$$HCOO^-_{(aq)} + HNO_{2(aq)} = HCOOH_{(aq)} + NO_2^-{}_{(aq)}$$

1 À l'équilibre $[HCOO^-] = [HNO_2] = 3{,}86 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$ et $[HCOOH] = [NO_2^-] = 6{,}14 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$. Déterminer la constante d'équilibre K°.

2 Nous réalisons une expérience pour laquellle :

- $\rightsquigarrow$ $[HCOO^-] = 8{,}68 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$
- $\rightsquigarrow$ $[HNO_2] = 6{,}80 \times 10^{-3}\,\text{mol L}^{-1}$
- $\rightsquigarrow$ $[HCOOH] = 1{,}13 \times 10^{-1}\,\text{mol L}^{-1}$
- $\rightsquigarrow$ $[NO_2^-] = 1{,}32 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$

Ce système est-il à l'équilibre ?

3 Nous réalisons une expérience pour laquellle :

- $\rightsquigarrow$ $[HCOO^-] = 4{,}03 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$
- $\rightsquigarrow$ $[HNO_2] = 6{,}96 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$
- $\rightsquigarrow$ $[HCOOH] = 2{,}23 \times 10^{-2}\,\text{mol L}^{-1}$
- $\rightsquigarrow$ $[NO_2^-] = 1{,}48 \times 10^{-1}\,\text{mol L}^{-1}$

Ce système est-il à l'équilibre ?

Solution :

1 $K^\circ = 2{,}53$

2 oui, à justifier par le calcul de Q_r

3 non, à justifier par le calcul de Q_r

Application 6 : Cas d'une réaction équilibrée

Énoncé Nous étudions la réaction suivante :

$$CO_3^{2-}{}_{(aq)} + NH_4^+{}_{(aq)} = HCO_3^-{}_{(aq)} + NH_{3(aq)}$$

dont la constante d'équilibre est : $K^\circ = 12{,}6$.
Nous introduisons initialement la même concentration en ions carbonate et ammonium $C_0 = 2{,}00\,\text{mol L}^{-1}$.
Déterminer les concentrations de toutes les espèces lorsque l'équilibre est atteint.

Solution

$$\left[CO_3^{2-}\right]_f = 0{,}44\,\text{mol L}^{-1}$$
$$\left[NH_4^{1+}\right]_f = 0{,}44\,\text{mol L}^{-1}$$
$$[HCO_3^-]_f = 1{,}56\,\text{mol L}^{-1}$$
$$[NH_3]_f = 1{,}56\,\text{mol L}^{-1}$$

Application 7 : Cas d'une réaction totale

Énoncé Nous étudions la réaction suivante :

$$CH_3COOH_{(aq)} + NH_{3(aq)} = CH_3COO^-{}_{(aq)} + NH_4^+{}_{(aq)}$$

dont la constante d'équilibre est : $K^\circ = 10^{4{,}4}$.
Nous introduisons initialement $C_1 = 1{,}5\,\text{mol L}^{-1}$ d'acide éthanoïque et $C_2 = 1{,}0\,\text{mol L}^{-1}$ d'ammoniac.
Déterminer les concentrations de toutes les espèces lorsque l'équilibre est atteint.

Solution

$$[CH_3COOH]_f = 0{,}5 \times 10^{-3}\,\text{mol L}^{-1}$$
$$\left[CH_3COO^{1-}\right]_f = 1{,}0 \times 10^{-3}\,\text{mol L}^{-1}$$
$$\left[NH_4^+\right]_f = 1{,}0 \times 10^{-3}\,\text{mol L}^{-1}$$
$$[NH_3]_f = 8{,}0 \times 10^{-8}\,\text{mol L}^{-1} \ll [CH_3COOH]_f$$

L'hypothèse de réaction quasi-totale est bien vérifiée.

Application 8 : Cas d'une rupture d'équilibre

Énoncé Nous étudions la réaction suivante :

$$Ca(OH)_{2(s)} = Ca^{2+}_{(aq)} + {}_2HO^-_{(aq)}$$

dont la constante d'équilibre est : $K^\circ = 10^{-5,2}$.
Nous introduisons initialement n_0 hydroxyde de calcium dans $V_0 = 100\,\text{mL}$ d'eau.
1 Déterminer ξ_{eq} en fonction de K° et V_0.
2 Si $n_0 = 1{,}0 \times 10^{-6}$ mol, déterminer les quantités de matière de toutes les espèces à l'état d'équilibre final.
3 Si $n_0 = 5{,}0 \times 10^{-5}$ mol, déterminer les quantités de matière de toutes les espèces à l'état d'équilibre final.

Solution

1

$$\xi_{eq} = \sqrt[3]{\frac{K^\circ}{4}} V_0$$

A.N $\xi_{eq} = 1{,}16 \times 10^{-5}$ mol

2

$$n_{f,Na(OH)_2} = 0\,\text{mol} \quad \text{rupture d'équilibre}$$
$$n_{f,Na^{2+}} = 1{,}0 \times 10^{-6}\,\text{mol}$$
$$n_{f,HO^-} = 2{,}0 \times 10^{-6}\,\text{mol}$$

3

$$n_{f,Na(OH)_2} = 3{,}84 \times 10^{-5}\,\text{mol}$$
$$n_{f,Na^{2+}} = 1{,}16 \times 10^{-5}\,\text{mol}$$
$$n_{f,HO^-} = 2{,}32 \times 10^{-5}\,\text{mol}$$