

Objectifs

- Constante d'équilibre de solubilité K_s .
- Prévoir l'apparition d'un précipité ou sa dissolution totale par comparaison de $Q_{r,max}$ et K_s .
- Déterminer la composition d'une solution saturée.

1. Dissolution d'un soluté dans l'eau : Étude du chlorure d'argent

• On dissout des cristaux de chlorure d'argent dans un volume donné d'eau. La réaction de dissolution correspondante est : $AgCl_{(s)} \rightleftharpoons Ag^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$.

↳ Cet équilibre est caractérisé par une constante d'équilibre de solubilité notée $K_s = 1,77 \cdot 10^{-10}$ ($T = 25^\circ C$)

↳ L'expression du quotient de réaction est : $Q_r = \frac{a_{Ag^+} \times a_{Cl^-}}{a_{AgCl}}$ qui devient $Q_r = \frac{[Ag^+_{(aq)}]}{c^\circ} \times \frac{[Cl^-_{(aq)}]}{c^\circ}$.

• La constante d'équilibre de solubilité K_s sert de point de comparaison au quotient de réaction à l'état maximal. Pour connaître l'état final du système, il est nécessaire de comparer le quotient de réaction à l'état maximal $Q_{r,max}$ avec la constante d'équilibre K_s :

$Q_{r,max} < K_s$	$Q_{r,max} \geq K_s$
La réaction est totale ; l'équilibre est rompu. « → » dans l'écriture de l'équation de réaction.	L'équilibre peut être atteint. « $\rightleftharpoons$ » dans l'écriture de l'équation de réaction.
Tout le soluté est dissout.	Il reste du soluté en solution, la solution est saturée.
L'avancement final x_f est résolu grâce à la disparition totale du soluté : $x_f = x_{max}$.	L'avancement final x_f est déterminé par la résolution de l'équation $Q_r(x_{eq}) = K_s$: $x_f = x_{eq}$.

2. Exemple où la dissolution est totale

- Pour cet exemple, on dissout 10^{-5} mol de $AgCl_{(s)}$ dans $V_{solution} = 1$ L d'eau.

Unité : mol		$AgCl_{(s)}$	→	$Ag^+_{(aq)}$	+	$Cl^-_{(aq)}$
État initial	$x = 0$	10^{-5}		0		0
État intermédiaire	x	$10^{-5} - x$		x		x
État final	$x_f = x_{max}$	$10^{-5} - x_{max} = 0$		$x_{max} = 10^{-5}$		$x_{max} = 10^{-5}$

↳ Les quantités d'ions en solution sont alors : $n(Ag^+)_{max} = x_{max}$ et $n(Cl^-)_{max} = x_{max}$

↳ Les concentrations en ions argent et en ions chlorure sont notées $[Ag^+_{(aq)}]$ et $[Cl^-_{(aq)}]$. À l'état maximal :

$$[Ag^+_{(aq)}]_{max} = \frac{n(Ag^+)_{max}}{V_{solution}} = \frac{x_{max}}{V_{solution}} = \frac{10^{-5}}{1} = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad [Cl^-_{(aq)}]_{max} = \frac{n(Cl^-)_{max}}{V_{solution}} = \frac{x_{max}}{V_{solution}} = \frac{10^{-5}}{1} = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La valeur du quotient de réaction à l'état maximal est : $Q_{r,max} = \frac{[Ag^+_{(aq)}]_{max}}{c^\circ} \times \frac{[Cl^-_{(aq)}]_{max}}{c^\circ} = 10^{-5} \times 10^{-5} = 10^{-10}$.

- Dans cet exemple : $Q_{r,max} = 10^{-10} < K_s = 1,77 \cdot 10^{-10}$.

Le quotient de réaction $Q_{r,max}$ pour l'avancement maximal est inférieur à la constante d'équilibre de solubilité K_s .

↳ La dissolution est totale ; l'état final du système correspond à son état maximal. $Q_{r,final} = Q_{r,max}$.

3. Exemple où l'équilibre est atteint

- Pour cet exemple, on dissout 10^{-4} mol de $\text{AgCl}_{(s)}$ dans $V_{\text{solution}} = 1 \text{ L}$ d'eau.

Unité : mol		$\text{AgCl}_{(s)}$	$\rightleftharpoons$	$\text{Ag}^+_{(aq)}$	+	$\text{Cl}^-_{(aq)}$
État initial	$x = 0$	10^{-4}		0		0
État intermédiaire	x	$10^{-4} - x$		x		x
État final	$x_f = x_{\text{max}}$	$10^{-4} - x_{\text{max}} = 0$		$x_{\text{max}} = 10^{-4}$		$x_{\text{max}} = 10^{-4}$

↳ Comme précédemment, on détermine les concentrations en ions argent et en ions chlorure à l'état maximal. On trouve : $[\text{Ag}^+_{(aq)}]_{\text{max}} = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[\text{Cl}^-_{(aq)}]_{\text{max}} = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La valeur du quotient de réaction à l'état maximal est : $Q_{r,\text{max}} = \frac{[\text{Ag}^+_{(aq)}]_{\text{max}}}{c^\circ} \times \frac{[\text{Cl}^-_{(aq)}]_{\text{max}}}{c^\circ} = 10^{-4} \times 10^{-4} = 10^{-8}$.

- Dans cet exemple : $Q_{r,\text{max}} = 10^{-8} > K_s = 1,77 \cdot 10^{-10}$.

Le quotient de réaction $Q_{r,\text{max}}$ pour l'avancement maximal est supérieur à la constante d'équilibre de solubilité K_s .

↳ La dissolution n'est pas totale ; la solution est saturée.

↳ L'état final du système correspond à son état d'équilibre : $Q_{r,\text{final}} = Q_{r,\text{eq}} = K_s$. Il faut établir la composition de cet état final pour modifier la dernière ligne du tableau.

4. Composition à l'état final

- L'état final est différent de l'état maximal. Le tableau d'avancement doit être revu pour déterminer la valeur de l'avancement x_{eq} lorsque l'équilibre est atteint. Le volume de la solution est toujours $V_{\text{solution}} = 1 \text{ L}$.

Unité : mol		$\text{AgCl}_{(s)}$	$\rightleftharpoons$	$\text{Ag}^+_{(aq)}$	+	$\text{Cl}^-_{(aq)}$
État initial	$x = 0$	10^{-4}		0		0
État intermédiaire	x	$10^{-4} - x$		x		x
État final	$x_f = x_{\text{eq}}$	$10^{-4} - x_{\text{eq}}$		x_{eq}		x_{eq}

↳ À l'équilibre, les expressions des concentrations sont :

$$[\text{Ag}^+_{(aq)}]_{\text{eq}} = \frac{n(\text{Ag}^+_{(aq)})_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{x_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}} \quad [\text{Cl}^-_{(aq)}]_{\text{eq}} = \frac{n(\text{Cl}^-_{(aq)})_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{x_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}}$$

↳ L'expression du quotient de réaction est : $Q_{r,\text{eq}} = [\text{Ag}^+_{(aq)}]_{\text{eq}} \times [\text{Cl}^-_{(aq)}]_{\text{eq}}$ soit $Q_{r,\text{eq}} = \frac{x_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}} \times \frac{x_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}}$.

Comme l'équilibre est atteint, $Q_{r,\text{eq}} = K_s$.

Pour trouver x_{eq} , il suffit de résoudre : $\left(\frac{x_{\text{eq}}}{V_{\text{solution}}} \right)^2 = K_s$.

AN : $x_{\text{eq}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$ pour $K_s = 1,77 \cdot 10^{-10}$.

- La dernière ligne du tableau peut être complétée :

Unité : mol		$\text{AgCl}_{(s)}$	$\rightleftharpoons$	$\text{Ag}^+_{(aq)}$	+	$\text{Cl}^-_{(aq)}$
État initial	$x = 0$	10^{-4}		0		0
État intermédiaire	x	$10^{-4} - x$		x		x
État final	$x_{\text{eq}} = 1,33 \cdot 10^{-5}$	$8,67 \cdot 10^{-5}$		$1,33 \cdot 10^{-5}$		$1,33 \cdot 10^{-5}$