

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE · CHAPITRE 7



R. RINGUET · 2026 – 2027

Exercices 1 Sens d'évolution spontanée

Les bases : transformation non totale, équilibre chimique, taux d'avancement final, quotient de réaction, constante d'équilibre, critère d'évolution

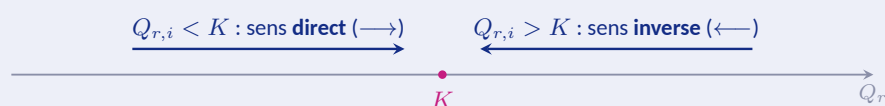
8 exercices · niveau ●○○ · durée conseillée : 1 h 45 · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Reconnaître une transformation non totale ; décrire un état d'équilibre chimique et le modèle de l'équilibre dynamique ; calculer un taux d'avancement final τ .
- Écrire et calculer le quotient de réaction Q_r , puis prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système en comparant $Q_{r,i}$ à la constante d'équilibre K .
- Déterminer K à partir de mesures (pH-métrie, conductimétrie, spectrophotométrie) et vérifier qu'elle ne dépend pas de la composition initiale.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

- Transformation non totale** : dans l'état final, tous les réactifs et tous les produits sont présents ; le système est dans un **état d'équilibre chimique**, noté par une double flèche $\rightleftharpoons$. Modèle de l'**équilibre dynamique** : les deux réactions inverses se poursuivent à la même vitesse, si bien que la composition n'évolue plus à l'échelle macroscopique. **Taux d'avancement final** : $\tau = x_f/x_{\max}$, sans unité, avec $0 \leq \tau \leq 1$; $\tau = 1$: transformation totale, $\tau < 1$: transformation non totale.
- Quotient de réaction**. Pour $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$: $Q_r = \frac{(\text{act. C})^c \times (\text{act. D})^d}{(\text{act. A})^a \times (\text{act. B})^b}$, l'activité d'un soluté valant $[X]/c^\circ$ (avec $c^\circ = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$), celle d'un solide ou du solvant (l'eau) valant 1. Q_r est sans unité.
- Constante d'équilibre** $K(T) = Q_{r,\text{eq}}$: valeur prise par Q_r à l'équilibre ; elle ne dépend que de la température, et pas de la composition initiale. **Critère d'évolution** : on compare $Q_{r,i}$ à K ; dans tous les cas Q_r tend vers K , et si $Q_{r,i} = K$ le système est déjà à l'équilibre.



Exercice 1 Totale ou non totale ?

●○○

Deux expériences sont réalisées à 25 °C. (a) On agite 2,00 g d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans 1,0 L d'eau pendant une heure : un dépôt blanc subsiste au fond du bécher et la solution surnageante est basique. (b) Deux solutions de même concentration $c = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ont pour pH 2,0 pour l'acide chlorhydrique et 3,4 pour l'acide propanoïque.

- Rappeler ce qui caractérise l'état final d'une transformation *non totale* et comment on le traduit dans l'équation de la réaction. Laquelle des deux solutions de l'expérience (b) est le siège d'une transformation totale ? Justifier.
- Le système (a) est en équilibre : à l'échelle microscopique, la dissolution du solide et la précipitation des ions se poursuivent-elles ? Énoncer le modèle correspondant et expliquer pourquoi la composition ne varie plus.

Exercice 2 Un taux d'avancement final

●○○

On dissout $n_0 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ d'acide propanoïque $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ dans de l'eau ; on complète à $V = 200,0 \text{ mL}$. La transformation est modélisée par la réaction d'équation $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$; le pH de la solution obtenue vaut 3,4.

- 2.1** Construire le tableau d'avancement de la transformation en quantités de matière; en déduire l'avancement maximal $x_{\max}$ et le réactif limitant.
- 2.2** Calculer $[\text{H}_3\text{O}^+]$ dans l'état final, puis x_f et le taux d'avancement final τ ; conclure sur le caractère total ou non de la transformation.
- 2.3** Une solution d'acide chlorhydrique de même concentration a un pH égal à 2,0 : calculer son taux d'avancement final et commenter la différence.

Exercice 3 Écrire, puis calculer un quotient de réaction

●○○

Écrire l'expression du quotient de réaction Q_r associé à chacune des six équations suivantes.

- a) $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ b) $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
- c) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{FeSCN}]^{2+}(\text{aq})$ d) $2\text{Cu}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$
- e) $\text{I}_2(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_3^-(\text{aq})$ f) $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{HCO}_3^-(\text{aq})$
- 3.1** Justifier, pour les équations (b), (d) et (f), que le solide n'intervient pas dans Q_r ; pour les équations (a) et (f), que l'eau n'intervient pas non plus. Quelle est l'unité de Q_r ? Expliquer en précisant le rôle de la concentration standard $c^\circ = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- 3.2** Calculer Q_r (concentrations en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) : pour (e) avec $[\text{I}_2] = 1,0 \times 10^{-3}$, $[\text{I}^-] = 1,0 \times 10^{-2}$, $[\text{I}_3^-] = 4,0 \times 10^{-3}$; pour (b), en présence du solide, avec $[\text{Ag}^+] = 1,0 \times 10^{-5}$, $[\text{Cl}^-] = 2,0 \times 10^{-5}$; pour (a) avec $[\text{CH}_3\text{COOH}] = 9,0 \times 10^{-3}$ et $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \times 10^{-4}$.

Exercice 4 Prévoir le sens d'évolution

●●○

Les ions fer(III) et thiocyanate donnent un complexe rouge sang selon $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{FeSCN}]^{2+}(\text{aq})$, de constante d'équilibre $K = 1,0 \times 10^2$ à 25°C . On relève la composition de trois mélanges juste après l'introduction des espèces.

mélange	$[\text{Fe}^{3+}]_i$	$[\text{SCN}^-]_i$	$[\text{FeSCN}^{2+}]_i$
M_1	$5,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$
M_2	$2,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$
M_3	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-4}$

concentrations en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

- 4.1** Calculer le quotient de réaction initial de chacun des trois mélanges.
- 4.2** Énoncer le critère d'évolution spontanée, puis prévoir pour chaque mélange le sens d'évolution et dire si la couleur rouge s'intensifie, pâlit ou reste inchangée. Dans l'état final de M_2 , $[\text{SCN}^-]$ a-t-elle augmenté ou diminué? Vers quelle valeur Q_r tend-il?

Exercice 5 Une constante qui ignore les conditions initiales

●●○

En solution aqueuse, le diiode et les ions iodure donnent l'ion triiodure : $\text{I}_2(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_3^-(\text{aq})$. Trois expériences sont menées à 25°C avec des compositions initiales différentes; on mesure les concentrations une fois l'équilibre atteint.

à l'équilibre	exp. 1	exp. 2	exp. 3
$[\text{I}_2]$	$1,00 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-3}$
$[\text{I}^-]$	$2,00 \times 10^{-3}$	$8,00 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-3}$
$[\text{I}_3^-]$	$1,40 \times 10^{-3}$	$2,80 \times 10^{-3}$	$2,10 \times 10^{-3}$

concentrations en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

- 5.1** Calculer $Q_{r,\text{éq}}$ pour chacune des trois expériences. Que constate-t-on? Quel nom porte cette grandeur et de quel paramètre dépend-elle?
- 5.2** Une quatrième expérience, à la même température, conduit à $[\text{I}_2] = [\text{I}^-] = [\text{I}_3^-] = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$: ce système est-il à l'équilibre? Sinon, prévoir son sens d'évolution. La même série, conduite à 50°C , donne cette fois $Q_{r,\text{éq}} = 4,1 \times 10^2$ dans les trois cas : ce résultat contredit-il la question 5.1?

Exercice 6 Deux mélanges, un seul équilibre



Deux mélanges M_A et M_B de compositions initiales différentes contiennent I_2 , I^- et I_3^- en solution aqueuse à 25°C . Un suivi spectrophotométrique donne leur quotient de réaction, associé à $I_2(\text{aq}) + I^-(\text{aq}) \rightleftharpoons I_3^-(\text{aq})$, au cours du temps (figure 1).

- 6.1 Relever les quotients de réaction initiaux, puis la valeur commune vers laquelle ils tendent : comment se nomme cette valeur ?
- 6.2 En déduire le sens de l'évolution spontanée de chaque mélange et dire si $[I_3^-]$ y augmente ou diminue. Les deux systèmes ont-ils pour autant la même composition finale ? Justifier.
- 6.3 Au bout de 20 min, les courbes sont horizontales : les réactions se sont-elles arrêtées ? Répondre à l'aide du modèle de l'équilibre dynamique.

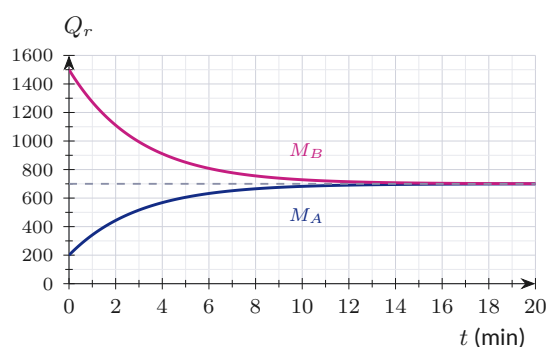


Figure 1 — Quotient de réaction des deux mélanges

Exercice 7 Mettre un équilibre en évidence par conductimétrie



On introduit $m = 2,00\text{ g}$ d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$ dans $V = 1,00\text{ L}$ d'eau distillée à 25°C , sous agitation constante, et on suit la conductivité σ du mélange (figure 2). La dissolution est modélisée par $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{HO}^-(\text{aq})$.

- 7.1 Interpréter l'allure de la courbe ; que reste-t-il au fond du bécher lorsque le palier est atteint ? Relever σ_f et, à l'aide de la loi de Kohlrausch, montrer que la solubilité de l'hydroxyde de calcium vaut $s = 1,10 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- 7.2 Écrire l'expression de Q_r , calculer la constante d'équilibre K de cette dissolution, puis le taux d'avancement final de la transformation. Conclure.
- 7.3 On ajoute $1,0\text{ g}$ d'hydroxyde de calcium solide : la conductivité ne varie pas. Expliquer à l'aide de l'expression de Q_r .

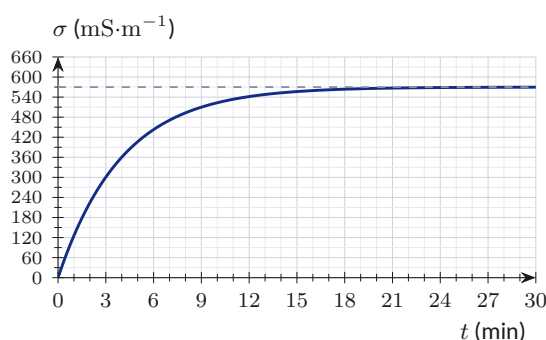


Figure 2 — Conductivité du mélange au cours du temps
 $\lambda(\text{Ca}^{2+}) = 11,9$ et $\lambda(\text{HO}^-) = 19,9\text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74,1\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Exercice 8 Y aura-t-il un précipité ?



À 25°C , la solubilité du chlorure d'argent dans l'eau pure vaut $s = 1,3 \times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- 8.1 Écrire l'équation de la réaction de dissolution du chlorure d'argent dans l'eau et l'expression de son quotient de réaction ; établir la relation entre K et s , puis calculer K .
- 8.2 On mélange $50,0\text{ mL}$ de solution de nitrate d'argent à $2,0 \times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $50,0\text{ mL}$ de solution de chlorure de sodium à $2,0 \times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Calculer $[\text{Ag}^+]$ et $[\text{Cl}^-]$ juste après le mélange, puis $Q_{r,i}$: un précipité apparaît-il ? Reprendre avec deux solutions dix fois plus concentrées, puis conclure sur la méthode permettant de prévoir l'apparition d'un précipité.