

Équilibre chimique

Corrigé des exercices - niveau Terminale

Voici le corrigé détaillé des exercices sur l'équilibre chimique. Pour chaque calcul, vérifie ta démarche : tableau d'avancement, expression de Q_r , application numérique avec unités et chiffres significatifs. La méthode compte autant que le résultat.

Ce corrigé est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

La correction détaillée : corrigé équilibre chimique

Correction de l'exercice 1 : Questions de cours

1. Totale : le réactif limitant disparaît, $x_f = x_{\max}$; **non totale** : $x_f < x_{\max}$, réactifs et produits coexistent.
2. À l'équilibre, la composition est constante mais les réactions **directe et inverse se poursuivent à la même vitesse**.
3. $Q_r = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$.
4. À l'équilibre $Q_{r,eq} = K$, la constante d'équilibre.
5. K ne dépend que de l'**équation** de la réaction et de la **température**.

Correction de l'exercice 2 : Vrai ou faux ?

- a. **Faux** : les deux réactions continuent (équilibre dynamique).
- b. **Vrai** : $x_f = x_{\max}$.
- c. **Vrai** : c'est la définition.
- d. **Vrai** : les concentrations des produits sont nulles, donc le numérateur vaut 0.
- e. **Faux** : $Q_{r,eq} = K$ ne dépend que de la température.
- f. **Faux** : le solvant n'intervient pas dans Q_r .

Correction de l'exercice 3 : Écrire des quotients de réaction

- a. $Q_r = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$ (l'eau est le solvant).
- b. $Q_r = \frac{[NH_4^+][HO^-]}{[NH_3]}$.
- c. $Q_r = \frac{[FeSCN^{2+}]}{([Fe^{3+}][SCN^-])}$.
- d. $Q_r = [Ag^+][Cl^-]$ (solide absent).
- e. $Q_r = \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$ (solides absents).

Correction de l'exercice 4 : Taux d'avancement d'un acide faible

- $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$.
- Tableau : état initial $n_0 = c \times V = 2,0 \times 10^{-3}$ mol d'acide, 0 et 0 pour les ions ; en cours : $n_0 - x$, x , x ; état final : $n_0 - x_f$, x_f , x_f .
- $x_{\text{max}} = n_0 = \mathbf{2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}}$. $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,25} = 5,6 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ donc $x_f = 5,6 \times 10^{-4} \times 0,100 = \mathbf{5,6 \times 10^{-5} \text{ mol}}$.
- $\tau = 5,6 \times 10^{-5} \div 2,0 \times 10^{-3} = \mathbf{2,8 \%}$: transformation **non totale**.
- $Q_{r,\text{eq}} = (5,6 \times 10^{-4})^2 \div (2,0 \times 10^{-2} - 5,6 \times 10^{-4}) = 3,1 \times 10^{-7} \div 1,94 \times 10^{-2} = \mathbf{1,6 \times 10^{-5}}$.

Correction de l'exercice 5 : Une estérification suivie dans le temps

- Le réactif limitant est l'un ou l'autre (mélange équimolaire) : $x_{\text{max}} = \mathbf{0,100 \text{ mol}}$ (10 sur l'axe).
- Le palier est à environ $\mathbf{6,7 \times 10^{-2} \text{ mol}}$: $\tau = 6,7 \times 10^{-2} \div 0,100 = \mathbf{67 \%}$.
- Oui : la courbe devient horizontale, l'avancement ne varie plus, et $x_f < x_{\text{max}}$: c'est un état d'équilibre (transformation non totale).
- $n(\text{ester}) = n(\text{eau}) = 6,7 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $n(\text{acide}) = n(\text{alcool}) = 0,100 - 0,067 = 3,3 \times 10^{-2} \text{ mol}$. $\mathbf{K = (6,7 \times 10^{-2})^2 \div (3,3 \times 10^{-2})^2 \approx 4,1}$, soit environ 4 aux erreurs de lecture près.

Correction de l'exercice 6 : Sens d'évolution du système Fe^{3+} et SCN^-

- État 1 : $Q_{r,i} = 1,0 \times 10^{-4} \div (1,0 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 10^{-3}) = \mathbf{1,0 \times 10^2 < K}$: sens **direct**.
État 2 : $Q_{r,i} = 5,0 \times 10^{-2} \div (5,0 \times 10^{-4})^2 = 5,0 \times 10^{-2} \div 2,5 \times 10^{-7} = \mathbf{2,0 \times 10^5 > K}$: sens **inverse**.
État 3 : $Q_{r,i} = 2,8 \times 10^{-4} \div (2,0 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 10^{-3}) = \mathbf{1,4 \times 10^2 = K}$: le système est **déjà à l'équilibre**, il n'évolue pas.

Correction de l'exercice 7 : Suivre Q_r pendant l'estérification

- Avec V constant : $Q_r = (x/V)(x/V) \div ((0,100 - x)/V)^2 = x^2 \div (0,100 - x)^2$, le volume se simplifie car il y a autant de moles au numérateur qu'au dénominateur.
- $t = 2 \text{ h} : (0,026 \div 0,074)^2 = \mathbf{0,12}$; $t = 6 \text{ h} : (0,052 \div 0,048)^2 = \mathbf{1,2}$; $t = 12 \text{ h} : (0,063 \div 0,037)^2 = \mathbf{2,9}$; $t = 20 \text{ h} : (0,066 \div 0,034)^2 = \mathbf{3,8}$.
- Toujours $Q_r < K = 4,0$: évolution dans le **sens direct**. À 20 h, $Q_r = 3,8$ est très proche de K : l'équilibre est **pratiquement atteint** mais pas tout à fait.

Correction de l'exercice 8 : Effet de la dilution

- $S_1 : [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,41} = 3,9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\tau_1 = 3,9 \times 10^{-4} \div 1,0 \times 10^{-2} = \mathbf{3,9 \%}$. $S_2 : [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,93} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\tau_2 = 1,2 \times 10^{-4} \div 1,0 \times 10^{-3} = \mathbf{12 \%}$.

2. $Q_1 = (3,9 \times 10^{-4})^2 \div (1,0 \times 10^{-2} - 3,9 \times 10^{-4}) = \mathbf{1,6 \times 10^{-5}}$; $Q_2 = (1,2 \times 10^{-4})^2 \div (1,0 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-4}) = \mathbf{1,6 \times 10^{-5}}$.

3. Les deux quotients sont **égaux** ($K = 1,6 \times 10^{-5}$) alors que τ **augmente** avec la dilution : K est indépendant de l'état initial, τ non.

Correction de l'exercice 9 : Dissolution du chlorure d'argent

1. $Q_r = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$.

2. $s^2 = K$ donc $s = \sqrt{1,8 \times 10^{-10}} = \mathbf{1,3 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}$. Masse : $m = s \times M = 1,3 \times 10^{-5} \times 143,3 \approx \mathbf{1,9 \times 10^{-3} \text{ g}}$ par litre (environ 1,9 mg).

3. Pour $1,0 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$: $Q_r = 1,0 \times 10^{-10} < K$, **pas de précipité** (la solution n'est pas saturée). Pour $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$: $Q_r = 1,0 \times 10^{-8} > K$: sens inverse, un **précipité se forme**.

Correction de l'exercice 10 : L'ammoniac en solution

1. $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$.

2. $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10,6} = 2,5 \times 10^{-11} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $[\text{HO}^-] = K_e \div [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \times 10^{-14} \div 2,5 \times 10^{-11} = \mathbf{4,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}$.

3. $\tau = 4,0 \times 10^{-4} \div 1,0 \times 10^{-2} = \mathbf{4,0 \%}$: réaction non totale.

4. $K = (4,0 \times 10^{-4})^2 \div (1,0 \times 10^{-2} - 4,0 \times 10^{-4}) = 1,6 \times 10^{-7} \div 9,6 \times 10^{-3} \approx \mathbf{1,7 \times 10^{-5}}$.

Correction de l'exercice 11 : Taux d'avancement et concentration

1. Quand c diminue, τ **augmente** (de 1,3 % à 33 %).

2. Pour $c = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\tau \approx \mathbf{12 \%}$; $[\text{H}_3\text{O}^+] = \tau \times c = 0,12 \times 1,0 \times 10^{-3} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $\text{pH} = -\log(1,2 \times 10^{-4}) = \mathbf{3,9}$.

3. Il tend vers **100 %** : à dilution infinie la réaction devient quasi totale.

4. Non : τ dépend de l'état initial. Ce qui reste constant est le **quotient à l'équilibre** $Q_{r,\text{éq}} = K$.

Correction de l'exercice 12 : Propriétés de K

a. **Faux** : K ne dépend pas de l'état initial.

b. **Vrai**.

c. **Faux** : un catalyseur accélère les deux sens de la même façon, K est inchangé.

d. **Vrai** : à l'équilibre le rapport produits/réactifs est très grand ; en pratique la transformation est quasi totale.

e. **Faux** : si on double les coefficients, Q_r est élevé au carré, donc K devient K^2 .

Correction de l'exercice 13 : Le rôle du catalyseur

1. Les états finaux sont **identiques** : même composition, même τ (67 %), même K

(4,0).

2. Le catalyseur modifie la **vitesse** d'évolution, c'est-à-dire la durée pour atteindre l'équilibre.

3. Parce que $Q_{r,eq} = K$ et que K dépend uniquement de l'équation et de la température, identiques dans les deux mélanges.

Correction de l'exercice 14 : Mesure de conductivité

1. Chaque molécule d'acide qui réagit donne un ion H_3O^+ et un ion CH_3COO^- : leurs concentrations sont égales (les ions de l'eau sont négligeables).

2. $\sigma = (\lambda(H_3O^+) + \lambda(CH_3COO^-)) \times [H_3O^+]$, donc $[H_3O^+] = 1,5 \times 10^{-2} \div (39,09 \times 10^{-3}) = \mathbf{0,38 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3} = 3,8 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}$.

3. $\tau = 3,8 \times 10^{-4} \div 1,0 \times 10^{-2} = \mathbf{3,8 \%}$; $Q_{r,eq} = (3,8 \times 10^{-4})^2 \div (1,0 \times 10^{-2} - 3,8 \times 10^{-4}) = 1,44 \times 10^{-7} \div 9,62 \times 10^{-3} \approx \mathbf{1,5 \times 10^{-5}}$.

4. $pH = -\log(3,8 \times 10^{-4}) = \mathbf{3,42}$, en accord avec la mesure par pH-métrie.

Correction de l'exercice 15 : Améliorer le rendement par excès de réactif

1. À l'état initial il n'y a ni ester ni eau : $Q_{r,i} = 0 < K$: sens **direct**.

2. À l'équilibre : $n(\text{ester}) = n(\text{eau}) = x$, $n(\text{acide}) = 1 - x$, $n(\text{alcool}) = 3 - x$. Comme V est constant, $K = x^2 \div ((1 - x)(3 - x)) = 4$, soit $x^2 = 4(3 - 4x + x^2)$ et $\mathbf{3x^2 - 16x + 12 = 0}$.

3. $\Delta = 256 - 144 = 112$, $\sqrt{\Delta} = 10,58$. $x = (16 - 10,58) \div 6 = \mathbf{0,90 \text{ mol}}$ (l'autre racine, 4,43 mol, dépasse $x_{\max} = 1,00 \text{ mol}$). $\tau = 0,90 \div 1,00 = \mathbf{90 \%}$.

4. Le taux passe de 67 % à 90 % : un **excès de l'un des réactifs** déplace l'équilibre vers les produits sans changer K .

Correction de l'exercice 16 : Perturber un équilibre

1. $K = x^2 \div (1 - x)^2 = 9$ donc $x \div (1 - x) = 3$, soit $x = \mathbf{0,75 \text{ mol}}$: A et B : 0,25 mol chacun ; C et D : 0,75 mol chacun ; $\tau = \mathbf{75 \%}$.

2. Après ajout : $n(A) = 1,00 \text{ mol}$, $n(B) = 0,25 \text{ mol}$, $n(C) = n(D) = 0,75 \text{ mol}$. $Q_r = 0,75^2 \div (1,00 \times 0,25) = \mathbf{2,25 < 9}$: sens **direct**.

3. $(0,75 + y)^2 = 9(1,00 - y)(0,25 - y)$ conduit à $8y^2 - 12,75y + 1,6875 = 0$. $\Delta = 162,56 - 54,00 = 108,56$, $\sqrt{\Delta} = 10,42$; $y = (12,75 - 10,42) \div 16 = \mathbf{0,146 \text{ mol}}$ (l'autre racine dépasse 0,25). Nouvelle composition : $n(A) = 0,854 \text{ mol}$; $n(B) = 0,104 \text{ mol}$; $n(C) = n(D) = 0,896 \text{ mol}$. Vérification : $0,896^2 \div (0,854 \times 0,104) = 9,0$.

Correction de l'exercice 17 : Trois acides de même concentration

1. A : $[H_3O^+] = 10^{-3,41} = 3,9 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\tau = \mathbf{3,9 \%}$. B : $10^{-2,90} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\tau = \mathbf{13 \%}$. C : $10^{-2,00} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\tau = \mathbf{100 \%}$.

2. L'acide **C** ($\tau = 1$, $pH = -\log c$).

3. Pour B : $Q_{r,eq} = (1,26 \times 10^{-3})^2 \div (1,0 \times 10^{-2} - 1,26 \times 10^{-3}) = 1,59 \times 10^{-6} \div 8,74 \times$

$$10^{-3} \approx \mathbf{1,8 \times 10^{-4}}.$$

4. Plus l'acide réagit avec l'eau, plus K est grand : $\mathbf{K(C) > K(B) > K(A)}$ ($K(A) = 1,6 \times 10^{-5}$, $K(B) = 1,8 \times 10^{-4}$, $K(C)$ très grand).

Correction de l'exercice 18 : Approximation d'un acide faible

1. À l'équilibre, $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = x_v$ et $[\text{CH}_3\text{COOH}] = c - x_v$: $\mathbf{K = x_v^2 \div (c - x_v)}$.
2. Si $x_v \ll c$, $c - x_v \approx c$, donc $x_v^2 \approx K \times c$ et $\mathbf{x_v \approx \sqrt{(K \ c)} = \sqrt{(1,6 \times 10^{-5} \times 5,0 \times 10^{-2})} = \sqrt{(8,0 \times 10^{-7})} = \mathbf{8,9 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}$; $\text{pH} = \mathbf{3,05}$; $\tau = 8,9 \times 10^{-4} \div 5,0 \times 10^{-2} = \mathbf{1,8 \%}$.
3. Racine positive exacte : $x_v = (-K + \sqrt{K^2 + 4Kc}) \div 2 = (-1,6 \times 10^{-5} + 1,789 \times 10^{-3}) \div 2 = 8,87 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. L'écart est d'environ 1 % : l'approximation est **justifiée** car τ est très inférieur à 5 %.

Correction de l'exercice 19 : Problème, déplacer l'équilibre d'estérification

1. Mélange équimolaire : $x = 0,667 \text{ mol}$; $n(\text{ester}) = n(\text{eau}) = \mathbf{0,667 \text{ mol}}$; $n(\text{acide}) = n(\text{alcool}) = \mathbf{0,333 \text{ mol}}$.
2. Après élimination de 0,50 mol d'eau : $n(\text{eau}) = 0,167 \text{ mol}$. $Q_r = (0,667 \times 0,167) \div (0,333 \times 0,333) = \mathbf{1,0 < 4,0}$: sens **direct**.
3. Nouvel avancement y : $(0,667 + y)(0,167 + y) = 4(0,333 - y)^2$, soit $3y^2 - 3,5y + 0,333 = 0$; $y = (3,5 - \sqrt{8,25}) \div 6 = \mathbf{0,105 \text{ mol}}$. Ester final : $0,667 + 0,105 = \mathbf{0,77 \text{ mol}}$; rendement **77 %**.
4. A donne 0,90 mol (90 %), B donne 0,77 mol (77 %), contre 0,67 mol au départ. Dans les deux cas on rend Q_r inférieur à K (excès de réactif au dénominateur, ou produit retiré du numérateur) : le système évolue encore dans le sens direct. K n'a pas changé.

Correction de l'exercice 20 : Concevoir une expérience

Protocole possible. (1) Étalonner le pH-mètre. (2) Préparer par dilutions successives au dixième (pipette jaugée de 10,0 mL, fiole jaugée de 100,0 mL) les solutions à $1,0 \times 10^{-2}$, $1,0 \times 10^{-3}$ et $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, en gardant celle à $1,0 \times 10^{-1}$. (3) Mesurer le pH de chaque solution, de la plus diluée à la plus concentrée, en rinçant l'électrode. (4) Calculer $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$, puis $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ et $[\text{CH}_3\text{COOH}] = c - [\text{H}_3\text{O}^+]$. (5) Calculer $Q_{r,\text{eq}} = [\text{H}_3\text{O}^+]^2 \div (c - [\text{H}_3\text{O}^+])$ pour chaque solution.

Critère : les quatre valeurs de $Q_{r,\text{eq}}$ doivent différer de moins de 10 % de leur moyenne ; on conclut alors qu'elles sont indépendantes de c , alors que τ varie.

Comment progresser après ce corrigé

Reprends les exercices 4, 15 et 16 sans regarder la correction : ils couvrent le tableau d'avancement, l'équation du second degré et le critère d'évolution. Pense à écrire à chaque fois Q_r sans solvant ni solide, à garder deux chiffres significatifs (comme les données) et à vérifier que x reste entre 0 et x_{max} . Un calcul de K est juste si l'ordre de grandeur est

cohérent avec τ .

[Retour aux énoncés des exercices](#)