

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE · CHAPITRE 3



R. RINGUET · 2026 – 2027

Exercices 1 Titrages

Les bases : solution commerciale et dilution, réaction support, équivalence, suivis pH-métrique, conductimétrique et colorimétrique

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

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

- Déterminer la concentration d'une solution commerciale (densité, pourcentage massique) et préparer par dilution une solution titrée avec la verrerie adaptée.
- Justifier le choix de la réaction support, identifier réactif titrant et réactif titré, écrire la relation à l'équivalence avec les nombres stœchiométriques.
- Déterminer un volume équivalent (tangentes, intersection de deux droites, changement de couleur), choisir un indicateur coloré, décrire la composition du système avant et après l'équivalence.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

- **Solution commerciale** : $\rho = d \times \rho_{\text{eau}}$ avec $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$; pourcentage massique $p = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}}$; titre massique $t = p \times \rho$; concentration $c = \frac{t}{M}$. **Dilution** : $c_{\text{mère}} V_{\text{prélevé}} = c_{\text{fille}} V_{\text{fiole}}$; facteur $F = \frac{c_{\text{mère}}}{c_{\text{fille}}} = \frac{V_{\text{fiole}}}{V_{\text{prélevé}}}$.
- **Titrage direct** : la réaction support doit être *rapide, totale et unique*. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : le réactif limitant change. Pour $a A + b B \rightarrow$ produits, A étant titré et B titrant : $\frac{c_A V_A}{a} = \frac{c_B V_E}{b}$.
- **Repérer l'équivalence** : saut de pH (méthode des tangentes ou maximum de $|\text{dpH}/\text{dV}|$) • rupture de pente sur $\sigma = f(V)$ (intersection de deux droites) • changement de couleur (réactif coloré, ou indicateur dont la zone de virage contient le pH à l'équivalence et reste comprise dans le saut de pH).

Exercice 1 L'ammoniaque de droguerie

●○○

L'étiquette d'un flacon d'ammoniaque porte les indications suivantes : solution aqueuse d'ammoniac NH_3 , pourcentage massique $p = 20,0 \%$, densité $d = 0,920$. Données : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ • $M(\text{NH}_3) = 17,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 1.1 Calculer la masse volumique de cette solution, puis la masse d'un litre de solution commerciale. En déduire la masse d'ammoniac qu'il contient, c'est-à-dire le titre massique t en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.
- 1.2 Calculer la concentration en quantité de matière c_0 de la solution commerciale, en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- 1.3 Établir l'expression littérale $c_0 = \frac{p \times d \times \rho_{\text{eau}}}{M}$ et vérifier qu'elle redonne la valeur précédente.

Exercice 2 Préparer une solution titrée

●○○

On dispose d'une solution mère S_0 d'acide chlorhydrique de concentration $c_0 = 1,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, de fioles jaugées de 100,0 mL, 250,0 mL et 500,0 mL, et de pipettes jaugées de 5,00 mL, 10,0 mL et 20,0 mL.

- 2.1 On veut préparer $V_1 = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution S_1 de concentration $c_1 = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Calculer le facteur de dilution, puis le volume de S_0 à prélever. Décrire le protocole en nommant la verrerie utilisée.
- 2.2 Même question pour $V_2 = 250,0 \text{ mL}$ d'une solution S_2 de concentration $c_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté prélevée est-elle modifiée ? Et sa concentration ?

- 2.3** Pour diluer l'ammoniaque de l'exercice 1 ($c_0 = 10,8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) jusqu'à $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ environ, on prélève $5,00 \text{ mL}$ que l'on complète à $500,0 \text{ mL}$. Calculer la concentration obtenue : pourquoi n'est-il pas possible d'atteindre exactement $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ avec cette verrerie ?

Exercice 3 Écrire la relation à l'équivalence

●○○

Pour chacun des trois titrages suivants (c_A , V_A : solution titrée; c_B : solution titrante; V_E : volume équivalent), écrire la relation à l'équivalence en tenant compte des nombres stoechiométriques, puis calculer c_A .

- 3.1** $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HO}^- \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$; $V_A = 20,0 \text{ mL}$ d'acide, $c_B = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $V_E = 12,5 \text{ mL}$.
- 3.2** $\text{I}_2 + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \longrightarrow 2 \text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$; $V_A = 10,0 \text{ mL}$ de solution de diiode, $c_B = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions thiosulfate, $V_E = 16,0 \text{ mL}$.
- 3.3** $5 \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2 \text{MnO}_4^- + 6 \text{H}^+ \longrightarrow 10 \text{CO}_2 + 2 \text{Mn}^{2+} + 8 \text{H}_2\text{O}$; $V_A = 20,0 \text{ mL}$ de solution d'acide oxalique, $c_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions permanganate, $V_E = 20,0 \text{ mL}$.

Exercice 4 Choisir la réaction support

●○○

- 4.1** Citer les trois propriétés que doit posséder la réaction support d'un titrage; pour chacune, expliquer en une phrase ce qui se passerait si elle n'était pas vérifiée. Définir ensuite l'équivalence, et préciser quel est le réactif limitant avant puis après l'équivalence.
- 4.2** Trois réactions sont envisagées pour titrer une même espèce : indiquer, en justifiant, laquelle convient. **a)** transformation achevée en moins d'une seconde, mais qui cesse d'évoluer alors qu'il reste 4 % du réactif limitant; **b)** transformation totale et rapide, mais le réactif titrant réagit aussi avec un autre constituant de la solution titrée; **c)** transformation totale et rapide, le réactif titrant ne réagissant qu'avec l'espèce titrée.

Exercice 5 Le montage d'un titrage

●○○

La figure 1 représente le montage utilisé pour le titrage pH-métrique d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium.

- 5.1** Nommer les six éléments repérés sur la figure.
- 5.2** Quelle solution est placée dans la burette ? dans le bécher ? Comment appelle-t-on chacun des deux réactifs correspondants ?
- 5.3** On doit prélever exactement $20,0 \text{ mL}$ de la solution à titrer. Quelle verrerie utilise-t-on ? Pourquoi une éprouvette graduée ne conviendrait-elle pas ?
- 5.4** Pour que la sonde soit correctement immergée, on ajoute environ 50 mL d'eau distillée dans le bécher. Expliquer pourquoi cet ajout ne modifie pas le volume équivalent. Quel est par ailleurs le rôle de l'agitateur magnétique ?

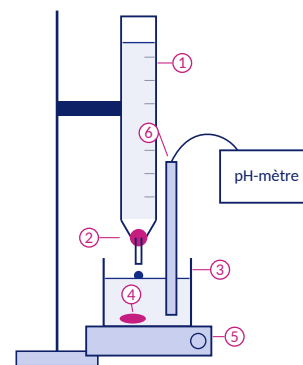


Figure 1 — Montage d'un titrage pH-métrique

Exercice 6 Un titrage colorimétrique

●●○

On titre $V_A = 20,0 \text{ mL}$ d'une solution S d'ions fer(II) par une solution de permanganate de potassium de concentration $c_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions MnO_4^- , en milieu acide; le volume équivalent vaut $V_E = 12,0 \text{ mL}$. Équation support : $5 \text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_4^- + 8 \text{H}^+ \longrightarrow 5 \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + 4 \text{H}_2\text{O}$. Les ions MnO_4^- sont violets; les ions Mn^{2+} , Fe^{2+} et Fe^{3+} donnent des solutions très peu colorées. Donnée : $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

- 6.1** Expliquer pourquoi ce titrage ne nécessite aucun indicateur coloré. Quelle est la couleur du contenu du bécher avant l'équivalence ? juste après le premier excès de titrant ?
- 6.2** Écrire la relation à l'équivalence, calculer la concentration c_A en ions fer(II) de S , puis la masse d'ions fer(II) contenue dans les $20,0 \text{ mL}$ prélevés.
- 6.3** L'équivalence est repérée à la goutte près, une goutte ayant un volume de $0,050 \text{ mL}$. Calculer l'incertitude relative que cela introduit sur V_E , donc sur c_A . Commenter.

Exercice 7 Un suivi pH-métrique et la méthode des tangentes



On titre $V_A = 20,0 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. La courbe $\text{pH} = f(V)$ obtenue est donnée figure 2, avec la construction des tangentes.

- 7.1 Écrire l'équation de la réaction support et décrire l'allure de la courbe au voisinage de l'équivalence.
- 7.2 Expliquer en quelques lignes la construction de la figure 2, puis déterminer graphiquement V_E et le pH à l'équivalence. En déduire la concentration c_A de la solution d'acide chlorhydrique.
- 7.3 À l'aide du tableau ci-dessous, choisir l'indicateur coloré adapté et préciser le changement de couleur observé. Pourquoi n'en verse-t-on que quelques gouttes ?

indicateur	zone de virage	teintes
hélianthine	3,1 - 4,4	rouge / jaune
bleu de bromothymol	6,0 - 7,6	jaune / bleu
phénolphtaléine	8,2 - 10,0	incolore / rose

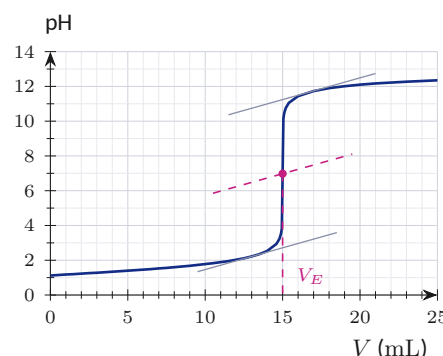


Figure 2 — Courbe $\text{pH} = f(V)$ et construction des tangentes

Exercice 8 Un suivi conductimétrique



On titre $V_A = 20,0 \text{ mL}$ d'une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) par une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$) de concentration $c_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Après chaque ajout, on relève la conductivité, que l'on corrige de la dilution : la figure 3 donne la conductivité corrigée σ' en fonction du volume versé. Conductivités molaires ioniques à 25°C , en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$: $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 35,0$ • $\lambda(\text{HO}^-) = 19,9$ • $\lambda(\text{Na}^+) = 5,01$ • $\lambda(\text{Cl}^-) = 7,63$.

- 8.1 Écrire l'équation de la réaction support et donner la liste des ions présents dans le bécher avant l'équivalence.
- 8.2 Justifier qualitativement que σ' diminue avant l'équivalence puis augmente après, et que la pente est plus forte après qu'avant.
- 8.3 Déterminer graphiquement le volume équivalent, puis calculer la concentration c_A de la solution d'hydroxyde de sodium.
- 8.4 Pourquoi repérer l'équivalence par le point le plus bas de la courbe serait-il moins précis ?

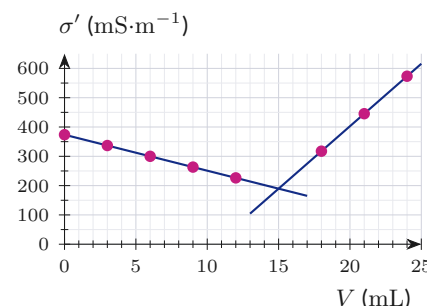


Figure 3 — Conductivité corrigée en fonction de V

Exercice 9 La composition du système au cours du titrage



On titre $V_A = 20,0 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $c_A = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. La réaction support, totale, a pour équation $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HO}^- \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$. Les volumes s'ajoutent.

- 9.1 Calculer la quantité initiale d'ions oxonium dans le bécher, puis le volume équivalent V_E .
- 9.2 Construire le tableau d'avancement pour un volume versé $V = 4,0 \text{ mL}$ (l'eau est en excès), préciser le réactif limitant et la quantité d'ions oxonium restants, puis calculer $[\text{H}_3\text{O}^+]$.
- 9.3 Reprendre la question précédente pour $V = V_E$, puis pour $V = 15,0 \text{ mL}$ (calculer alors $[\text{HO}^-]$ dans le bécher). Expliquer, à partir de ces trois situations, pourquoi l'équivalence correspond au changement de réactif limitant.