

Analyser un système chimique par des méthodes chimiques

Vidéo : [Accéder à la vidéo du cours](#)

Manuel : pages 55 à 58



Vidéo du cours

3.1 Masse volumique, densité, concentration massique

3.1.1 Masse volumique

Σ ♥ Formule à connaître

La masse volumique d'une espèce chimique correspond à la masse par unité de volume :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Avec :

- m la masse de l'espèce chimique en kilogramme (kg) ;
- V le volume de solution en mètre cube (m^3) ;
- ρ la masse volumique en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Remarque

Il faut savoir s'adapter aux unités données dans les exercices et réaliser les conversions. Rappel : $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$.

3.1.2 Densité

Σ ♥ Formule à connaître

La densité d d'un solide ou d'un liquide correspond au rapport entre sa masse volumique et celle de l'eau :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$$

Remarque

Les deux masses volumiques doivent être exprimées dans les mêmes unités. La masse volumique de l'eau est $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

3.1.3 Concentration en masse et titre massique

Σ ♥ Formule à connaître

La concentration en masse correspond à la masse de soluté par unité de volume de solution :

$$C_m = \frac{m}{V}$$

Avec :

- m la masse de soluté en kilogramme (kg) ;
- V le volume de solution en mètre cube (m^3) ;

- C_m la concentration en masse en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Σ ♥ Formule à connaître

Le titre massique t_m correspond au rapport entre la masse de soluté et la masse de la solution :

$$t_m = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}}$$

📎 Remarque

Le titre massique pourra être noté P_m voire w dans certains exercices. Il sera également appelé quelquefois « pourcentage massique »

✓ Exemple

Une solution de 250 mL de Destop© commercial contient une quantité de matière apportée en hydroxyde de sodium égale à $n = 7,4 \times 10^{-1} \text{ mol}$. La densité du Destop© est de 1,13 et la masse molaire de l'hydroxyde de sodium NaOH(s) est de $M = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. En déduire la valeur du titre massique de la solution.

La masse de soluté est $m_{\text{soluté}} = n \times M$.

La masse de la solution est $m_{\text{solution}} = d \times \rho_{\text{eau}} \times V$.

D'où :

$$t_m = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}} = \frac{n \times M}{d \times \rho_{\text{eau}} \times V}$$

Application numérique :

$$t_m = \frac{7,4 \times 10^{-1} \times 40}{1,13 \times 1000 \times 0,250} = 0,10 = 10 \%$$

3.2 Le titrage par dosage direct

3.2.1 Principe d'un titrage direct

♥ À retenir

Un dosage par titrage direct consiste à faire réagir une solution de concentration connue précisément (la solution **titrante**) avec la solution dont on cherche la concentration (la solution **titrée**).

La réaction support du titrage doit être :

- **totale** : les réactifs titré et titrant réagissent intégralement;
- **rapide** : la réaction est quasiment instantanée;
- **sélective** : la solution titrante réagit uniquement avec l'espèce à titrer.

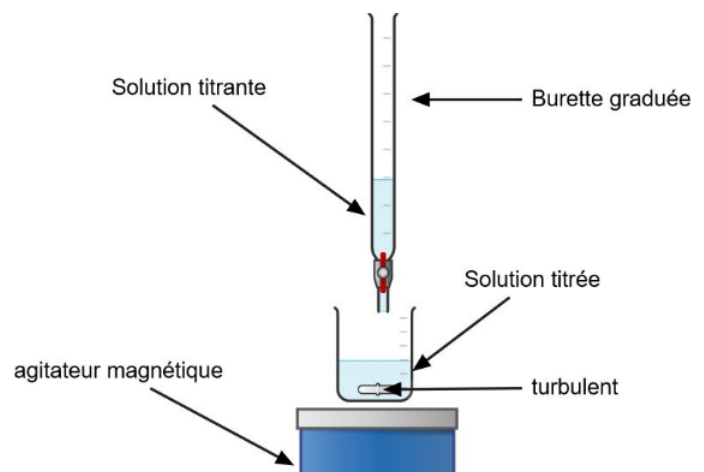


FIGURE 1 – Éléments de base d'un titrage

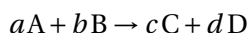
♥ À retenir

À l'**équivalence**, les réactifs titrant et titré sont introduits en proportions stœchiométriques. Les deux réactifs disparaissent intégralement : ils sont tous deux limitants.

Le but est de déterminer le volume à l'équivalence, noté V_E , qui représente le volume de solution titrante versé à l'équivalence. Connaissant la concentration de la solution titrante, on en déduit la quantité de matière de l'espèce titrée présente dans le bécher.

3.2.2 Exploitation d'un titrage direct

Considérons une réaction totale de la forme :



où A représente l'espèce titrée et B l'espèce titrante.

Le tableau d'avancement est :

		$aA + bB \longrightarrow cC + dD$			
Avancement	Quantités de matière	... de A	... de B	... de C	... de D
0	apportées	n_A	n_B	0	0
x_{eq}	à l'équivalence	$n_A - a \times x_{eq} = 0$	$n_B - b \times x_{eq} = 0$	$c \times x_{eq}$	$d \times x_{eq}$

On a donc :

$$\begin{cases} n_A - a \times x_{eq} = 0 \iff n_A = a \times x_{eq} \iff x_{eq} = \frac{n_A}{a} \\ n_B - b \times x_{eq} = 0 \iff n_B = b \times x_{eq} \iff x_{eq} = \frac{n_B}{b} \end{cases}$$

Il vient que :

$$\boxed{\frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b}}$$

♥ À retenir

À l'équivalence d'un titrage direct, les réactifs sont en proportions stœchiométriques :

$$\frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b}$$

Si l'on cherche la concentration, avec $n = C \times V$:

$$\boxed{\frac{C_A \times V_A}{a} = \frac{C_B \times V_B}{b}}$$

3.2.3 Titrage direct avec suivi pH-métrique

En terminale, on utilise deux méthodes pour déterminer le volume à l'équivalence. La première consiste à **suivre l'évolution du pH** de la solution titrée.

On ajoute une sonde pH-métrique dans la solution et on note la valeur de pH à chaque millilitre de solution titrante versée.

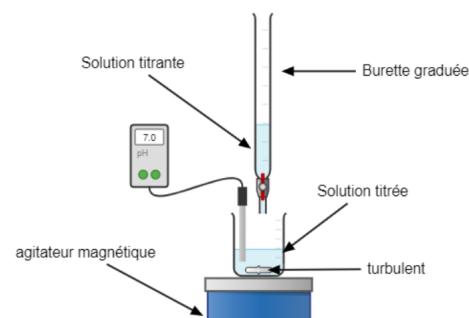


FIGURE 2 – Montage d'un titrage pH-métrique

On obtient deux types de courbes :

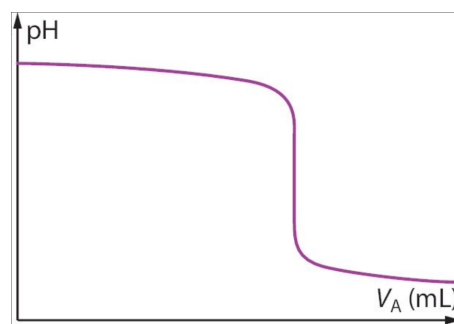
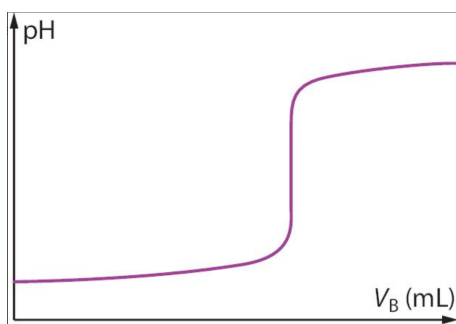


FIGURE 3 – Titrage d'un acide par une base : le pH augmente

FIGURE 4 – Titrage d'une base par un acide : le pH diminue

Dans chaque cas, on observe un **saut de pH** à l'équivalence. Deux méthodes permettent de déterminer les coordonnées du point d'équivalence :

- la méthode des tangentes;
- la méthode de la dérivée (nécessite un tableur).

À retenir

Méthode des tangentes

- Tracer une tangente à la courbe un peu avant le saut de pH;
- Tracer une droite parallèle tangente après le saut de pH;
- Tracer une droite parallèle aux deux précédentes, à mi-distance. Cette droite coupe la courbe au point d'équivalence;
- Lire le volume V_E en abscisse et le pH à l'équivalence en ordonnée.

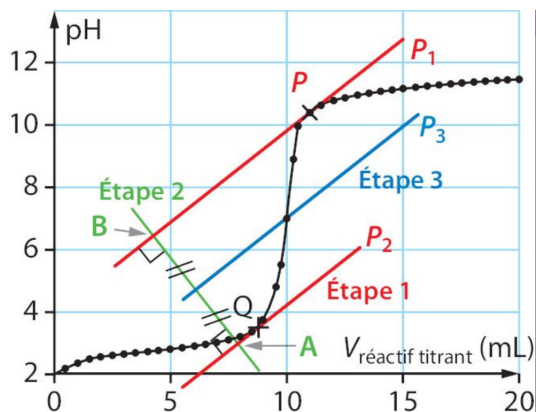


FIGURE 5 – Tracé des tangentes

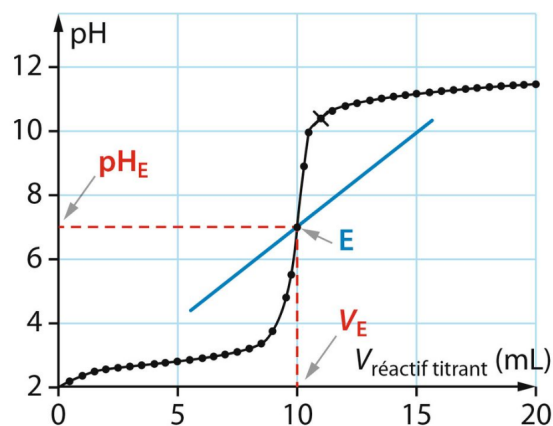


FIGURE 6 – Lecture de V_E et de pH_E

Méthode de la dérivée

À retenir

Lors du saut de pH, le coefficient directeur de la tangente est extrême. La dérivée $\frac{d(pH)}{dV} = f(V_{\text{versé}})$ atteint donc un maximum (ou minimum) à l'équivalence.

Les courbes de dérivée montrent un extremum (maximum ou minimum) à l'équivalence, ce qui permet une détermination rapide de V_E .

Cette méthode est plus rapide que la méthode des tangentes et utile lors des ECE

3.2.4 Titrage direct avec suivi conductimétrique

Lorsque l'espèce titrée est un ion, on peut utiliser un suivi conductimétrique.

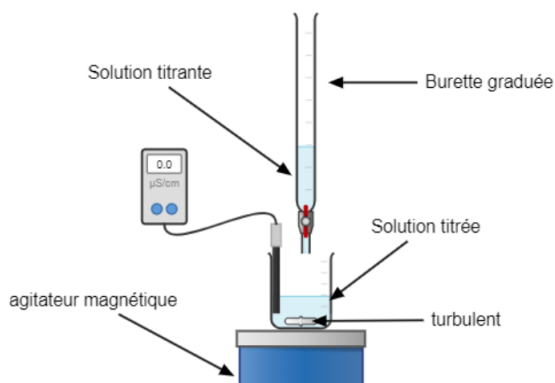


FIGURE 7 – Schéma du montage

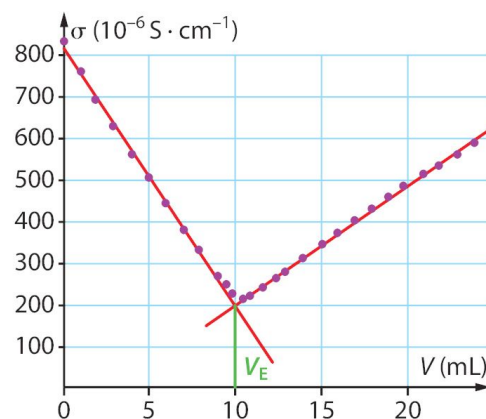


FIGURE 8 – Conductivité en fonction du volume versé

À retenir

Lors d'un titrage direct avec suivi conductimétrique, on observe une **rupture de pente** à l'équivalence. L'intersection des droites tracées avant et après l'équivalence donne le volume V_E .

✓ Exemple

On titre un volume $V_A = 20,0 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}), \text{Cl}^-(\text{aq})$ par une solution d'hydroxyde de sodium $\text{Na}^+(\text{aq}), \text{HO}^-(\text{aq})$ de concentration $[\text{HO}^-] = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Question : Déterminer la concentration de l'acide chlorhydrique et justifier l'allure des pentes.

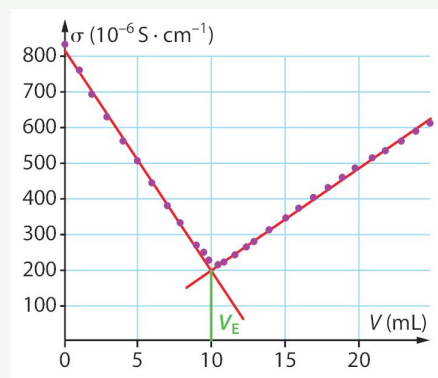
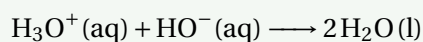


FIGURE 9 – Graphique obtenu

Réponse :

L'équation de la réaction est :



À l'équivalence :

$$\begin{aligned} \frac{n_A}{1} &= \frac{n_B}{1} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] \times V_A &= [\text{HO}^-] \times V_E \\ [\text{H}_3\text{O}^+] &= \frac{[\text{HO}^-] \times V_E}{V_A} \end{aligned}$$

Application numérique :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{5,00 \times 10^{-2} \times 10,0}{20,0} = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Pour justifier les pentes, on analyse l'évolution des concentrations :

Concentration	Avant l'équivalence	Après l'équivalence
$[\text{H}_3\text{O}^+]$	$\searrow$	0
$[\text{Cl}^-]$	$\longrightarrow$	$\longrightarrow$
$[\text{HO}^-]$	0	$\nearrow$
$[\text{Na}^+]$	$\nearrow$	$\nearrow$

- Après l'équivalence, la concentration totale en ions augmente : la conductivité augmente.
- Avant l'équivalence, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ diminue mais $[\text{Na}^+]$ augmente.

Comparaison des conductivités molaires ioniques :

- $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\lambda_{\text{Na}^+} = 5,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

Puisque $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} > \lambda_{\text{Na}^+}$, la conductivité suit l'évolution de l'ion oxonium : la pente est négative avant l'équivalence.

3.2.5 Compétences travaillées

Maîtrise			
Compétence			
Établir la composition du système après ajout d'un volume de solution titrante.			
Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse.			
Dans le cas d'un titrage avec suivi conductimétrique, justifier qualitativement l'évolution de la pente à l'aide de données sur les conductivités ioniques molaires.			
<i>Compétence expérimentale : Réaliser une solution de concentration donnée à partir d'une solution de titre massique et de densité fournis.</i>			
<i>Compétence expérimentale : Mettre en œuvre le suivi pH-métrique d'un titrage.</i>			
<i>Compétence expérimentale : Mettre en œuvre le suivi conductimétrique d'un titrage.</i>			