

Méthodes

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- La **masse volumique** ρ d'une espèce chimique est sa masse par unité de volume. Elle permet d'identifier l'espèce chimique.

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

masse (en kg) ← masse (en kg)
volumique (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ← volume (en m^3)

- La **concentration** en **quantité de matière** d'une espèce en solution est la quantité de matière de soluté, dissoute dans un litre de solution.



Pour former la solution, le soluté a été dissous dans le solvant.

$$\text{concentration} \quad \xrightarrow{\text{(en mol} \cdot \text{L}^{-1})} \quad \mathbf{c = \frac{n}{V}} \quad \begin{matrix} \text{quantité} \\ \text{de matière} \\ \text{(en mol)} \end{matrix}$$

volume de la solution (en L)

- **Titrer** une espèce chimique en solution consiste à déterminer sa quantité de matière ou sa concentration en utilisant une réaction chimique.
 - Une transformation chimique cesse dès qu'au moins un des réactifs est totalement consommé : c'est le **réactif limitant**.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



SITUATION 1

L'eau est le solvant le plus utilisé en chimie.

Quelle est la valeur de sa masse volumique la plus couramment utilisée ?

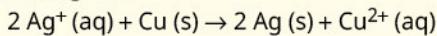
La convertir en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

SITUATION 2

Schématiser et légander le dispositif expérimental qu'il faut mettre en place.

SITUATION 3

Voici l'équation de la réaction modélisant la transformation entre les ions cuivre et les ions argent :



Si on fait réagir 1,0 mol d'ions cuivre avec 1,0 mol d'ions argent, quel est le réactif limitant ?

morceau de cuivre
+
solution de nitrate d'argent
 $(\text{Ag}^+(\text{aq}), \text{NO}_3^-(\text{aq}))$



État final
de la transformation



chimiques d'analyse

3

CHIMIE

Comment mettre en oeuvre une analyse d'eau pour déterminer sa concentration en un ou plusieurs de ses ions ?

EXERCICE 35



NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Titre massique et densité d'une solution.
- ▶ Titrage avec suivi pH-métrique.
- ▶ Titrage avec suivi conductimétrique.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- ▶ Réaliser une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'une solution de titre massique et de densité fournis. ➔ **Activité 1**
- ▶ Mettre en œuvre le suivi pH-métrique d'un titrage ayant pour support une réaction acide-base.
➔ **Activité 2**
- ▶ Mettre en œuvre le suivi conductimétrique d'un titrage.
➔ **Activité 3 ➔ Pour préparer l'ECE**

1. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(AN/RAI) Justifier un protocole expérimental

(RÉA) Mettre en œuvre les étapes d'une démarche en respectant les règles de sécurité

Dilution d'une solution

Comment préparer pour les TP de chimie une solution diluée à partir d'une solution commerciale concentrée, stockée dans l'armoire ventilée du laboratoire ?

DOC 1 L'acide chlorhydrique

On dispose au laboratoire d'une solution d'acide chlorhydrique concentré de titre massique $w = 34\%$ (voir doc. 2).

La densité (voir doc. 3) de la solution, inscrite sur le flacon, est $d = 1,17$.

Données :

- Masse molaire M du soluté dans la solution commerciale : $M(HCl) = 36,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masse volumique ρ de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.



DOC 2 Titre massique

Le titre massique w d'une solution est le quotient de la masse de soluté contenu dans un échantillon de solution par la masse de cet échantillon. Il s'exprime en pourcentage et sans unité.

$$w = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}} \times 100$$

masse de soluté (en g)
masse de solution (en g)

DOC 3 Densité

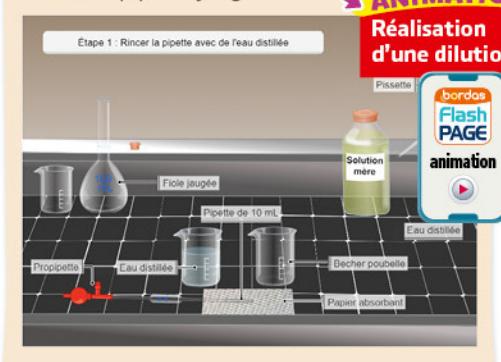
La densité d d'une solution est le quotient de sa masse volumique ρ par celle de l'eau ρ_{eau} , les deux masses volumiques étant exprimées dans la même unité.

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

masse volumique (par exemple, en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
masse volumique de l'eau (par exemple, en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

GESTE EXPÉRIMENTAL

Une dilution est réalisée dans une fiole jaugée. De l'eau distillée est ajoutée à un volume de solution-mère, prélevé avec une pipette jaugée.



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Lister le matériel nécessaire à la réalisation d'une dilution.

2 a. Calculer la masse d'un litre de solution commerciale prise dans l'armoire du laboratoire.

b. Quelle masse de soluté contient-elle ?

c. Déterminer sa concentration en quantité de matière de soluté.

3 Quelles consignes de sécurité faut-il respecter pour manipuler la solution commerciale ?

EXPÉRIENCE ET SYNTHÈSE

4 Préparer une solution de concentration en quantité de matière $c_{\text{diluée}} = 2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à partir de la solution commerciale et comparer avec la réponse donnée à la question 1.

Je réussis si...

- Je connais le titre massique d'une solution.
- Je sais différencier la masse volumique de la densité.
- Je suis capable d'adapter un protocole expérimental.

2. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre un protocole expérimental

(VAL) Comparer à une valeur de référence

Titrage suivi par pH-métrie

Comment déterminer la teneur en acide lactique d'un détartrant commercial utilisé pour éliminer le tartre d'une cafetière par exemple ?

GESTE
ECE
n°2

bordas
Flash
PAGE



DOC 1 Dépôt de tartre



Le tartre, qui s'y dépose peu à peu, fait figure d'ennemi numéro un pour les cafetières dites italiennes. Il peut en effet altérer le bon fonctionnement de ces machines, voire modifier le goût du café, un sacrilège pour les amateurs de café ! Il est donc indispensable de détartrer régulièrement les cafetières.



DOC 3 Approche de la quantité de matière par Python



Un programme en langage Python permet de simuler l'évolution des quantités de matière du couple acide-base AH (aq)/A⁻ (aq) auquel appartient l'acide lactique, en fonction du volume de solution titrante versé.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
C_B=0.2 #concentration (mol/L) de la solution titrante (soude)
V_A=5 #volume initial (mL) de la solution titrée (acide lactique)
V_E=17 #volume (mL) mesuré à l'équivalence
C_A=C_B*V_E/V_A
n_A=C_B*V_E*1e-3
V_B1=np.linspace(0,V_E,V_E*10+1)
n_a1=(C_A*V_A-C_B*V_B1)*1e-3
n_b1=C_B*(V_B1-V_E)*1e-3
n_B1=0*V_B1
V_B2=np.linspace(V_E,V_E*1.5,V_E*10+1)
n_a2=0*V_B2
n_b2=(0*V_B2+C_B*V_E)*1e-3
n_B2=C_B*(V_B2-V_E)*1e-3
plt.plot(V_B1,n_a1,color="blue",label="AH")
plt.plot(V_B1,n_b1,color="green",label="A-")
plt.plot(V_B1,n_B1,color="red",label="HO-")
plt.plot(V_B2,n_a2,color="blue")
plt.plot(V_B2,n_b2,color="green")
plt.plot(V_B2,n_B2,color="red")
plt.title("Evolution des quantités de matière des espèces en fonction du volume de solution titrante versée \nTitrage de l'acide lactique par la soude")
plt.legend(loc="upper right")
plt.xlabel("Volume de la solution titrante (en mL)")
plt.ylabel("Quantités de matière des espèces en solution (en mol)")
plt.grid()
plt.show()
```

DOC 2 Un détartrant commercial

Il est préférable d'utiliser un détartrant à base d'acide lactique, noté AH, car cet acide est biodégradable.

Le détartrant commercial liquide conditionné dans un petit flacon contient de l'acide lactique à 55 % en masse.

L'étiquette indique qu'il faut verser le contenu du flacon dans le réservoir de l'appareil à détartrer et ajouter de l'eau. On prépare ainsi une solution aqueuse d'acide lactique diluée.



Données :

- Masse molaire M de l'acide lactique : $M(AH) = 90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masse volumique ρ du détartrant : $\rho = 1,1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

EXPÉRIENCE ET EXPLOITATION

On veut titrer avec suivi pH-métrique un volume $V_A = 5,0 \text{ mL}$ de solution commerciale de détartrant à base d'acide lactique (AH), diluée 10 fois, par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na⁺ (aq), HO⁻ (aq)) de concentration en quantité de matière $c_B = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- Après avoir identifié les couples mis en jeu, écrire l'équation acide-base, support du titrage.
- Pourquoi faut-il diluer la solution commerciale avant le titrage ? Comment peut-on procéder ?
- Mettre en œuvre le titrage et déterminer la concentration en quantité de matière d'acide lactique dans la solution commerciale en précisant la démarche suivie.
- Exécuter le programme fourni (doc. 3) et commenter les courbes observées.

SYNTHÈSE

- Le résultat du titrage est-il cohérent avec l'indication du pourcentage massique (doc. 2) ?

Je réussis si...

- Je suis capable de choisir la verrerie appropriée pour effectuer une dilution.
- Je sais réaliser un titrage suivi par pH-métrie.
- Je peux exploiter un programme en langage Python.

3. TÂCHE COMPLEXE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(AN/R/A) Proposer une stratégie de résolution

Titrage par conductimétrie

LE PROBLÈME À RÉSOUVRE

Les déboucheurs chimiques sont très utilisés par les consommateurs pour résoudre les problèmes de canalisations. Il s'agit en général de solutions plus ou moins concentrées de soude, qui peuvent provoquer des brûlures.

Comment vérifier la teneur en hydroxyde de sodium dans un déboucheur préalablement dilué 10 fois en procédant à un titrage ?

COUP DE POUCE ↗ p. 593

DOC 1 Un déboucheur de canalisations

- ⌚ Déboucheur liquide.
- NL Vloeibare ontstopper *met bijtende soda.
- ⌚ Abflussfrei flüssig.

INGREDIENTS: www.info-detergent.com

⌚ Précautions d'emploi : Danger : Contient SODIUM HYDROXYDE. Peut être corrosif pour les métaux. Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux. Pas de portée des enfants. Conserver uniquement dans son emballage d'origine. Éliminer le contenu/récipient dans un centre de collecte des déchets dangereux ou spéciaux. Absorber toute substance renversée pour éviter qu'elle attaque les matériaux environnants. Ne pas



Un déboucheur du commerce possède un pourcentage massique en hydroxyde de sodium de 10 %, c'est-à-dire que 100 g de déboucheur contiennent 10 g d'hydroxyde de sodium.

La densité de cette solution est $d = 1,23$.

Donnée :

- La masse molaire du soluté est $M(NaOH) = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

GESTE ECE n° 1



DOC 2 Le conductimètre

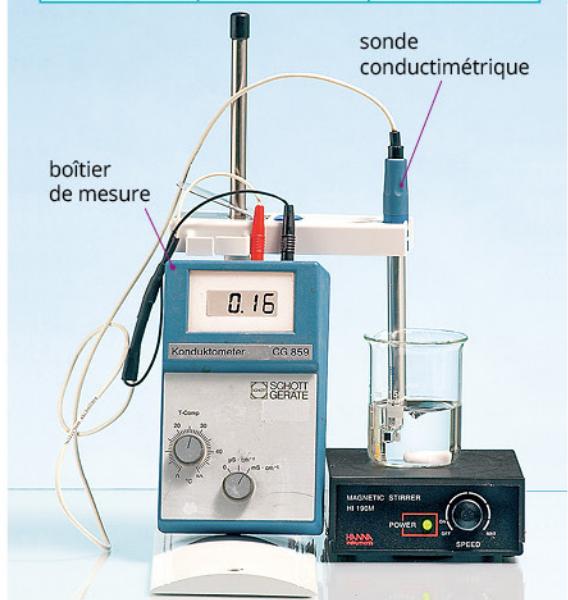
Température (en °C)	Concentration de la solution étalon (en mol · L ⁻¹)	
	$c = 1,0 \times 10^{-2}$	$c = 1,0 \times 10^{-1}$
20	1 279	11,70
21	1 305	11,96
22	1 331	12,22
23	1 359	12,47
24	1 387	12,73
25	1 412	12,97

Les conductimètres du commerce mesurent directement la **conductivité** σ d'une solution, exprimée en siemens par mètre ($S \cdot m^{-1}$). Ils se composent d'une sonde conductimétrique et d'un boîtier de mesure.

Pour effectuer une mesure, la sonde devant être bien immergée, on ajoute 100 mL d'eau distillée à une **prise d'essai** de 10 mL de cette solution.

Un étalonnage doit être réalisé au préalable à l'aide d'une solution aqueuse étalon de chlorure de potassium ($K^+(aq), Cl^-(aq)$), dont la conductivité est connue, le tableau ci-contre donne les valeurs de σ en fonction de la température pour deux concentrations différentes.

On effectue les mesures de conductivité de la solution la plus diluée à la plus concentrée.



VOCABULAIRE

► **Conductivité** : grandeur proportionnelle à la conductance G d'une solution.

La conductance, exprimée en siemens (S), traduit la capacité d'une solution à conduire le courant électrique

► **Prise d'essai** : volume précis de solution titrée, prélevé pour réaliser le titrage.

Je réussis si...

► Je suis capable de mettre en œuvre le suivi conductimétrique d'un titrage.

► Je sais exploiter un titrage pour déterminer une concentration.

1 Caractéristiques d'une solution

► Titre massique

Le **titre massique** w d'une solution est le quotient de la masse de soluté contenu dans un échantillon de solution par la masse de cet échantillon. Il s'exprime en pourcentage et sans unité.

$$\text{titre massique (\%)} \rightarrow w = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}} \times 100$$

masse de soluté (en g)

masse de solution (en g)

EXEMPLE

Une solution aqueuse commerciale de chlorure d'hydrogène, appelé aussi acide chlorhydrique [FIG. 1], a pour titre massique $w = 34\%$.

► Densité

■ La **masse volumique**, notion rencontrée en classe de seconde, caractérise une solution.

La **masse volumique** ρ d'une solution est sa masse par unité de volume.

$$\text{masse volumique (en } \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \rightarrow \rho = \frac{m}{V}$$

masse de la solution (en kg)

volume de la solution (en m³)

■ La **densité** d'une solution permet de comparer sa masse volumique à celle de l'eau.

La **densité** d d'une solution est le quotient de sa masse volumique ρ par celle de l'eau ρ_{eau} , les deux masses volumiques étant exprimées dans la même unité.

$$\text{densité (sans unité)} \rightarrow d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$$

masse volumique de la solution (par exemple, en kg · m⁻³)

masse volumique de l'eau (par exemple, en kg · m⁻³)

EXEMPLE

La masse volumique de l'eau est $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Si celle d'une solution aqueuse de chlorure d'hydrogène est $\rho = 1,18 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, sa densité est alors $d = 1,18$.



FIG. 1 Étiquette d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique.

► Préparation d'une solution diluée

■ On considère une solution de volume V et dont la densité est d et le titre massique w . La masse de soluté dans ce volume V est déduite de la relation

$$w = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}}, \text{ donc } m_{\text{soluté}} = m_{\text{solution}} \cdot w.$$

Comme $\rho = \frac{m}{V}$ alors $m = \rho \cdot V$, d'où $m_{\text{soluté}} = \rho \cdot V \cdot w$.

À partir de la relation $d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$, on a : $\rho = \rho_{\text{eau}} \cdot d$.

Donc : $m_{\text{soluté}} = \rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot V \cdot w$

La concentration c en quantité de matière de soluté dans cette solution est

$$c = \frac{n_{\text{soluté}}}{V}. \text{ Comme } n_{\text{soluté}} = \frac{m_{\text{soluté}}}{M} (M \text{ étant la masse molaire du soluté})$$

$$\text{alors : } c = \frac{m_{\text{soluté}}}{M \cdot V} = \frac{\rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot V \cdot w}{M \cdot V} \text{ soit } c = \frac{\rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot w}{M}.$$

Pour préparer une solution de concentration en quantité de matière donnée, on procède alors à une **dilution** (FIG. 2). Lors de cette opération, la quantité de matière de soluté n'est pas modifiée (FICHE PRATIQUE ➔ p. 571).

EXEMPLE

Une solution commerciale d'acide chlorhydrique (la solution-mère) a une densité $d = 1,18$ et un titre massique $w = 37\%$, la masse molaire du soluté étant $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Sachant que $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, sa concentration c en quantité de matière de soluté est :

$$c = \frac{\rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot w}{M} = \frac{1,000 \times 1,18 \times 0,37}{36,5} \text{ soit } c = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

On sait que la quantité de matière de soluté est conservée au cours d'une dilution, donc $n = n_{\text{dilué}}$ soit $c \cdot V = c_{\text{dilué}} \cdot V_{\text{dilué}}$.

Pour préparer par dilution à partir de la solution mère un volume $V_{\text{dilué}} = 500 \text{ mL}$ d'une solution de concentration $c_{\text{dilué}} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on doit en prélever un volume V :

$$V = \frac{c_{\text{dilué}} \cdot V_{\text{dilué}}}{c} = \frac{0,1 \times 500 \times 10^{-3}}{12} \text{ soit } V = 4 \times 10^{-3} \text{ L} = 4 \text{ mL.}$$

Comme il n'existe pas de pipette jaugée de volume 4 mL, on utilisera une burette graduée.

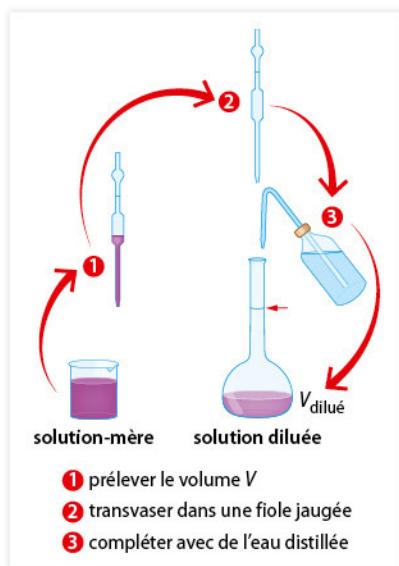


FIG. 2 Mise en œuvre d'une dilution à l'aide d'une pipette et d'une fiole jaugées.

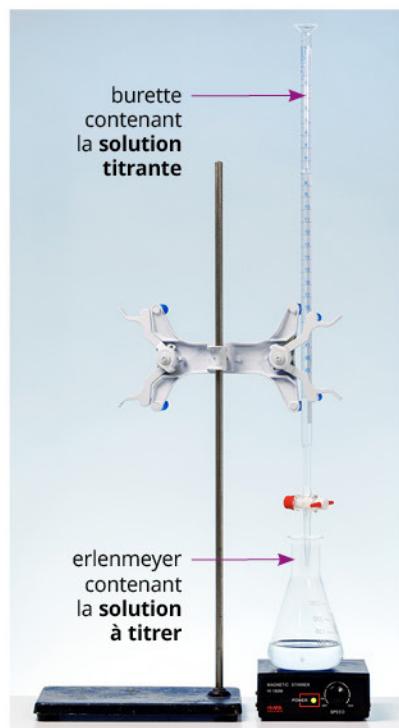


FIG. 3 Le dispositif mis en jeu lors d'un titrage se compose d'une burette graduée, d'un erlenmeyer et d'un agitateur magnétique.

2 Titrage

► Qu'est-ce qu'un titrage ?

Un **titrage** est une méthode de dosage qui consiste à déterminer la quantité de matière (ou la concentration ou la masse) d'une espèce chimique à l'aide d'une transformation chimique.

Pour qu'une **transformation chimique** puisse servir de support à un titrage, elle doit être **totale, rapide et unique**.

Unique signifie que l'espèce chimique titrante doit réagir uniquement avec l'espèce chimique à titrer.

Le titrage nécessite :

- une **solution titrante** dont la concentration en quantité de matière est connue ;
- une **solution titrée**.

On met en œuvre un titrage (FIG. 3) en versant à l'aide d'une burette graduée un volume de solution titrante dans un volume précis (prélevé à la pipette jaugée) de solution titrée contenu dans un erlenmeyer (ou un bécher), ce volume précis est la **prise d'essai** (FICHE PRATIQUE ➔ p. 574).

► Équivalence d'un titrage

À chaque ajout, l'espèce chimique que contient la solution titrante réagit totalement avec celle contenue dans la solution titrée. Cette dernière s'épuise au fur et à mesure des ajouts.

L'**équivalence du titrage** correspond à l'état du système chimique pour lequel les espèces chimiques, titrante et titrée, ont été mélangées dans les **proportions stœchiométriques** ; elles sont donc **totalement consommées**.

L'équivalence correspond aussi à l'état du système chimique pour lequel il y a **changement de réactif limitant**.

Avant l'équivalence, le réactif titrant est limitant.

Après l'équivalence il ne l'est plus ; ce réactif titrant, qui continue d'être ajouté, se trouve en excès.

VOCABULAIRE

Prise d'essai : volume précis de solution titrée, prélevé pour réaliser un titrage.

EXEMPLE

Lors du titrage de l'acide chlorhydrique par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, ou soude, la transformation est modélisée par la réaction d'équation : $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\ell)$

Les ions $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ sont progressivement consommés par les ions $\text{HO}^-(\text{aq})$ lors de l'ajout de soude. Avant l'équivalence, les ions $\text{HO}^-(\text{aq})$ sont le réactif limitant. Après l'équivalence, on continue de verser de la soude et les ions $\text{HO}^-(\text{aq})$ se trouvent alors en excès.

Le **volume équivalent**, noté V_E , est le volume de solution titrante versé pour atteindre l'équivalence.

L'avancement à l'équivalence de la réaction, qui modélise la transformation support du titrage, est noté x_E .

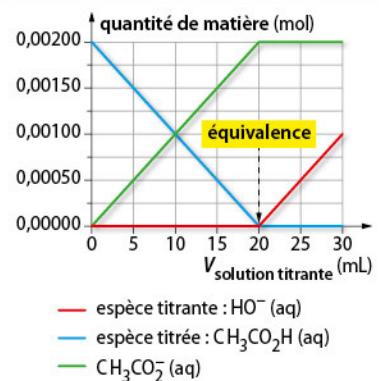


FIG. 4 Évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors du dosage de l'acide éthanoïque par la soude.

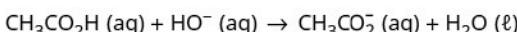
► Évolution des quantités de matière

■ La quantité de matière de l'espèce titrée diminue jusqu'à l'équivalence où elle s'annule et celle de l'espèce titrante reste nulle jusqu'à l'équivalence, puis elle augmente (FIG. 4).

À l'équivalence, les quantités de matière des espèces titrée et titrante sont toutes les deux nulles.

EXEMPLE

On peut utiliser un programme en langage Python pour visualiser l'évolution des quantités de matière des espèces lors du titrage d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque par la soude dont l'équation de réaction est (FIG. 4) :

**BONUS****Titrage pH-métrique**

bordas
Flash PAGE
animation

Cette animation décrit le protocole d'un titrage pH-métrique et montre le tracé de la courbe de suivi.

3 Titrage avec suivi pH-métrique

► Courbe de titrage

Quand le titrage a pour support une transformation chimique de type acide-base, on peut mesurer le **pH** après chaque ajout de solution titrante dans la solution titrée (FIG. 5) (FICHE PRATIQUE ➔ p. 572).

La courbe obtenue alors est **croissante** lors du titrage d'un acide par une base et **décroissante** si on titre une base par un acide.

► Équivalence

■ Sur la courbe d'évolution du pH en fonction du volume de solution titrante versé, l'équivalence correspond au volume de solution titrante versé pour lequel on observe un **saut important de pH** (FIG. 5).

L'équivalence est repérée par la **méthode des tangentes** ou par la **méthode de la dérivée** (FICHE PRATIQUE ➔ p. 574).

POINT MÉTHODE

Méthode des tangentes : on trace de part et d'autre de la zone de saut de pH deux tangentes à la courbe parallèles, puis une droite qui leur est parallèle et équidistante. Cette droite coupe la courbe de titrage au point d'abscisse V_E , le volume équivalent (FIG. 5A).

Méthode de la dérivée : à l'aide d'un logiciel, on trace la dérivée de la courbe $\text{pH} = f(V)$.

L'abscisse de l'extrémum de cette courbe est le volume équivalent V_E . L'extrémum ici est un *maximum* dans le cas du titrage d'un acide par une base (FIG. 5B). Il peut être un *minimum* lors du titrage d'une base par un acide.

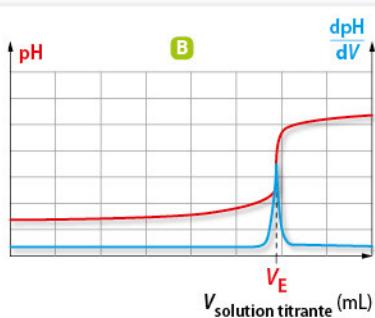
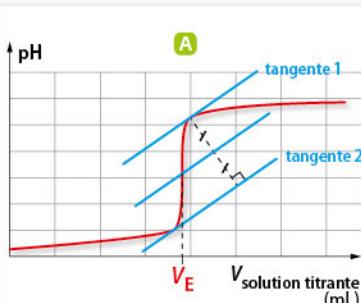


FIG. 5 Détermination du volume équivalent V_E sur la courbe de titrage d'un acide par une base par la méthode des tangentes A ou de la dérivée B.

► Exploitation du titrage

La connaissance du volume équivalent permet de calculer la quantité de matière, la concentration ou la masse d'une espèce chimique titrée.

À l'équivalence, les quantités de matière de l'acide A et de la base B (espèces titrante et titrée) sont égales : $n_A = n_B$ soit $c_A \cdot V_A = c_B \cdot V_B$.

EXEMPLE

Lors du titrage de $V_A = 10 \text{ mL}$ de solution aqueuse d'acide éthanoïque de concentration en quantité de matière c_A inconnue par la soude de concentration $c_B = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on a versé à l'équivalence $V_E = 20 \text{ mL}$ de soude.

Équation de la réaction :		$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} \text{ (aq)}$	$+ \text{HO}^- \text{ (aq)}$	$\rightarrow \text{CH}_3\text{CO}_2^- \text{ (aq)}$	$+ \text{H}_2\text{O} \text{ (l)}$
État du système	Avancement x (en mol)	Quantités de matière présentes dans le système (en mol)			
initial	$x = 0$	$n_A = c_A \cdot V_A$	$n_B = c_B \cdot V_B$	0	excès
si $V_B < V_E$	x	$c_A \cdot V_A - x$	$c_B \cdot V_B - x = 0$	x	
si $V_B = V_E$	$x = V_E$	$c_A \cdot V_A - V_E = 0$	$c_B \cdot V_E - V_E = 0$	V_E	

À l'équivalence, les quantités de matière des réactifs sont toutes les deux nulles, d'où la relation $c_A \cdot V_A = c_B \cdot V_E$, on en déduit alors :

- $n_A = c_B \cdot V_E = 1,0 \times 10^{-2} \times 20 \times 10^{-3}$ soit $n_A = 2,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$;
- $c_A = \frac{n_A}{V_A} = \frac{c_B \cdot V_E}{V_A} = \frac{1,0 \times 10^{-2} \times 20 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}}$ soit $c_A = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

4 Titrage avec suivi conductimétrique

► Courbe de titrage

Quand au moins une des espèces chimiques mises en jeu lors de la transformation, support du titrage, est ionique, on peut mesurer la **conductivité σ** (exprimée en siemens par mètre : $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$) de la solution au fur et à mesure de l'addition du **réactif titrant** (FIG. 6) (FICHE PRATIQUE p. 573).

► Équivalence

■ Lorsque la dilution (due à l'ajout de la solution titrante) est négligeable, les points expérimentaux se répartissent selon deux droites.

L'**équivalence** est repérée par le changement de pente de la courbe de titrage. Le volume équivalent V_E correspond à l'abscisse du point d'intersection des deux droites de la courbe de titrage (FIG. 6) (FICHE PRATIQUE p. 574).

■ Les **conductivités molaires ioniques** (exprimées en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) et les concentrations des ions en solution expliquent l'évolution de la pente de la courbe.

EXEMPLE

Au début du titrage de l'acide chlorhydrique par la soude, les ions présents en solution sont H_3O^+ et Cl^- . Au fur et à mesure que l'on verse de la solution titrante, des ions Na^+ et HO^- sont ajoutés à la solution. Les ions HO^- versés réagissent avec les ions H_3O^+ présents dans la solution pour former de l'eau, non conductrice. Tout se passe comme si les ions H_3O^+ initialement présents étaient remplacés par des ions Na^+ dont la conductivité molaire ionique est plus faible (FIG. 6) : la conductivité de la solution diminue (FIG. 6).

Après l'équivalence, on continue de verser des ions qui ne réagissent pas, donc la conductivité de la solution augmente (FIG. 6).

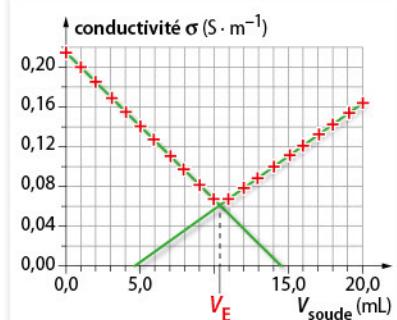


FIG. 6 Courbe de suivi du titrage conductimétrique d'acide chlorhydrique par la soude.

Ion	Conductivité molaire ionique λ (en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$)
H_3O^+	$35,0 \times 10^{-3}$
Na^+	$5,0 \times 10^{-3}$
K^+	$7,4 \times 10^{-3}$
HO^-	$19,8 \times 10^{-3}$
Cl^-	$7,6 \times 10^{-3}$
Br^-	$7,8 \times 10^{-3}$

FIG. 7 Valeurs de la conductivité ionique molaire de quelques ions à 25 °C.

1 Caractériser une solution

► Le **titre massique w** d'une solution :

$$\text{titre massique (\%)} \rightarrow w = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}} \times 100$$

masse de soluté (en g)
masse de solution (en g)

► La **densité d** d'une solution :

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

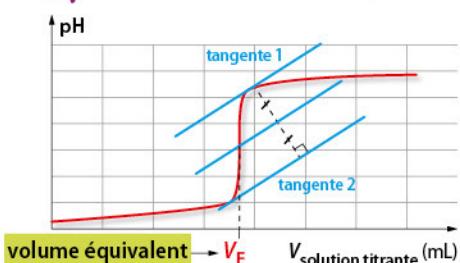
masse volumique de la solution (par exemple, en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
masse volumique de l'eau (par exemple, en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

► Pour préparer une solution de concentration en quantité de matière donnée, on procède à une **dilution**.

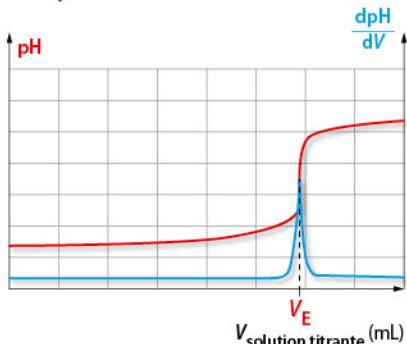
3 Titrage avec suivi pH-métrique

► L'**équivalence** est repérée par (ici, titrage d'un acide par une base) :

la **méthode des tangentes**



la **méthode de la dérivée**



► À l'**équivalence**, on a :

$$n_A = n_B \quad \text{soit} \quad c_A \cdot V_A = c_B \cdot V_B$$

n : quantité de matière

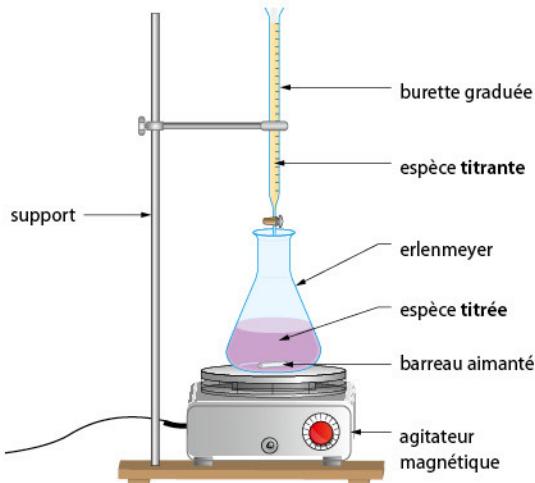
c : concentration en quantité de matière

V_A : volume de l'acide A V_B : volume de la base B

2 Titrage

► Un **titrage** est une **méthode de dosage** qui consiste à déterminer la quantité de matière (ou la concentration ou la masse) d'une espèce chimique à l'aide d'une transformation chimique.

Dispositif mis en jeu lors d'un titrage :

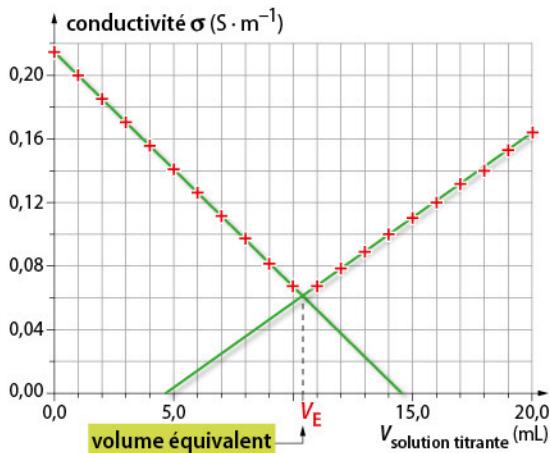


► L'**équivalence** du titrage correspond à l'état du système chimique pour lequel les espèces chimiques **titrante** et **titrée** ont été mélangées dans les **proportions stœchiométriques**.

4 Titrage avec suivi conductimétrique

► L'**équivalence** est repérée par (ici, l'une des espèces chimiques est ionique) :

la **changement de pente de la courbe de titrage**



► Les **conductivités molaires ioniques λ** (exprimées en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) et les concentrations des ions en solution expliquent l'évolution de la pente de la courbe.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ **SOLUTIONS EN PAGE 593**



1 Caractériser une solution

	A	B	C
1 Le titre massique d'une solution est :	le quotient de la masse de soluté par la masse de la solution.	le produit de la masse de soluté par la masse de la solution.	le quotient de la masse de solution par la masse de soluté.
2 Le titre massique d'une solution peut être égal à :	0,25	$25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	25 %
3 La masse volumique et la densité :	ont la même unité.	n'ont pas d'unité.	sont deux grandeurs différentes.

2 Titrage

	A	B	C
4 La réaction support d'un titrage est :	lente.	limitée.	unique.
5 Un titrage permet de déterminer :	une concentration.	une masse.	une quantité de matière.
6 Lors d'un titrage, le réactif limitant :	est le réactif titré jusqu'à l'équivalence.	est le réactif titrant jusqu'à l'équivalence.	change à l'équivalence.

3 Titrage avec suivi pH-métrique

	A	B	C
7 L'équivalence peut être toujours repérée :	par un changement de couleur.	par une méthode logicielle.	par une méthode géométrique.
8 À l'équivalence, les quantités de matière de l'acide et de la base :	sont égales.	sont toutes les deux nulles.	sont en proportions stœchiométriques.

9 La courbe bleue permet de déterminer l'équivalence lors du titrage d'une base par un acide.

4 Titrage avec suivi conductimétrique

	A	B	C
10 En fonction du volume de la solution titrante versé, on suit l'évolution :	de l'absorbance de la solution.	du pH de la solution.	de la conductivité de la solution.
11 La pente de la courbe de titrage :	reste constante au cours du titrage.	dépend des conductivités molaires ioniques des ions.	dépend des concentrations des ions.
12	D'après le graphique, le volume équivalent est $V_E = 11,0 \text{ mL}$.	D'après le graphique, le volume équivalent est $V_E = 12,0 \text{ mL}$.	D'après le graphique, le volume équivalent est $V_E = 11,2 \text{ mL}$.

EXERCICES

3 Titrage avec suivi pH-métrique

EN AUTONOMIE

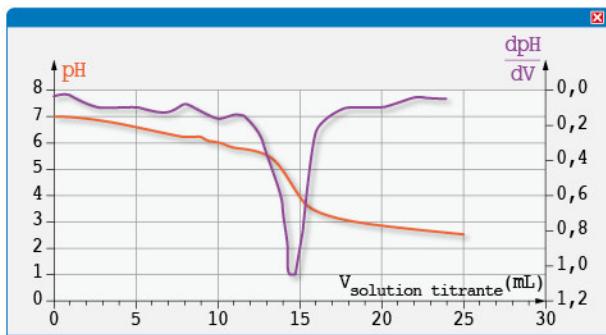
Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

- Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse.

→ Acquérir les bases : 21 → S'entraîner : 24 25

18 Titrage d'un acide ou d'une base ?

On a tracé cette courbe de titrage à l'aide d'un logiciel :



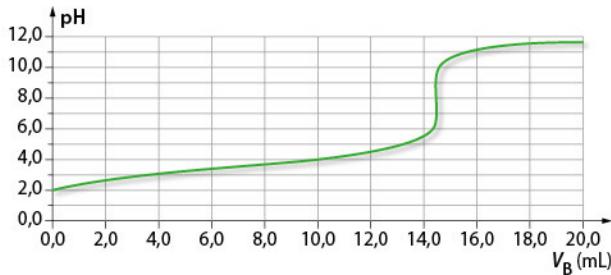
1. Schématiser le dispositif expérimental utilisé.
2. Expliquer comment repérer l'équivalence.
3. La solution titrée est-elle un acide ou une base ? Justifier la réponse.
4. Quelle autre méthode aurait-on pu utiliser ? La décrire.

19 « Vitamine C 500 »

L'acide ascorbique $C_6H_8O_6$, couramment dénommé vitamine C, est présent dans de nombreux fruits et légumes, et sous forme de comprimés en pharmacie.

- On écrase un comprimé de « vitamine C 500 ».
- On dissout la poudre dans un peu d'eau distillée, puis on introduit l'ensemble dans une fiole jaugée de 100,0 mL.
- On complète avec de l'eau distillée pour obtenir après homogénéisation la solution S.
- On en prélève un volume $V_A = 10,0 \text{ mL}$ que l'on dose par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration en quantité de matière $c_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

Voici la courbe de titrage obtenue :



Données :

- Masse molaire $M(C_6H_8O_6) = 176 \text{ g} \cdot mol^{-1}$.
 - Couples acide-base mis en jeu : $C_6H_8O_6(\text{aq}) / C_6H_7O_6^-(\text{aq})$; $H_2O(\ell) / HO^-(\text{aq})$.
1. Écrire l'équation de la réaction support du dosage.
 2. En utilisant du papier-calque, déterminer graphiquement le volume équivalent.

3. Calculer la quantité d'acide ascorbique dans les 10,0 mL de solution titrée.

4. En déduire la masse m (en mg) d'acide ascorbique contenue dans un comprimé. Justifier le titre de l'exercice.

20 Volume équivalent



Au cours d'une séance de TP, des élèves réalisent le titrage de l'acide éthanoïque d'un vinaigre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

Les valeurs des volumes équivalents V_E déterminés par les différents binômes sont regroupées ci-dessous.

Binômes 1 à 16

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
V_E (en mL)	12,2	11,9	16,3	12,3	12,4	11,8	12,0	11,2
N°	9	10	11	12	13	14	15	16
V_E (en mL)	11,6	12,9	11,7	12,1	11,5	12,8	11,9	12,0

1. Proposer une méthode permettant de déterminer le volume équivalent.

2. Pourquoi les valeurs sont-elles différentes ?

3. Expliquer pourquoi une (ou des) valeur(s) est (sont) aberrante(s). Que faut-il faire ?

4. a. Quelle est la meilleure estimation de la valeur du volume V_E (**FICHE PRATIQUE** p. 538) ?

b. Calculer la valeur de l'incertitude-type associée.

c. Donner alors le résultat final du volume V_E .

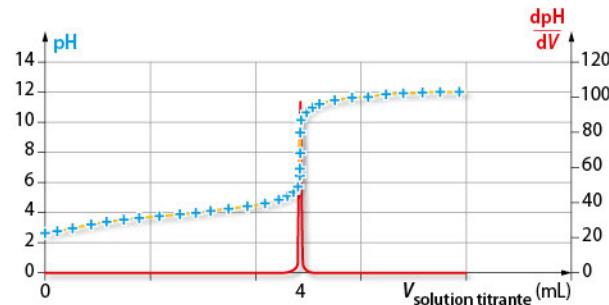
21 Condition physique d'un cheval

La condition physique d'un cheval de course est liée à la concentration d'acide lactique dans ses muscles pouvant entraîner des crampes douloureuses après une compétition. Le seuil de fatigue correspond à une concentration en acide lactique dans le sang, supérieure à $3,5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

Un vétérinaire prélève sur un cheval le volume $V = 1,00 \text{ mL}$ de sang dont il extrait l'acide lactique. Cet acide est dissout dans l'eau pour obtenir une solution S de volume $V_S = 50,0 \text{ mL}$ qu'il titre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na^+ (aq), HO^- (aq)) de concentration en quantité de matière : $c_1 = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

Données : couples acide-base mis en jeu

$AH(\text{aq}) / A^-(\text{aq})$; $H_2O(\ell) / HO^-(\text{aq})$.



1. Écrire l'équation de la réaction, support du dosage, en utilisant la notation AH pour l'acide lactique.

2. Expliquer comment déterminer le volume équivalent.

3. Calculer la concentration en quantité de matière d'acide lactique c_S de la solution S.

4. Quel est l'état physique du cheval ?

4 Titrage avec suivi conductimétrique**EN AUTONOMIE****Ce qu'on attend de moi le jour du BAC**

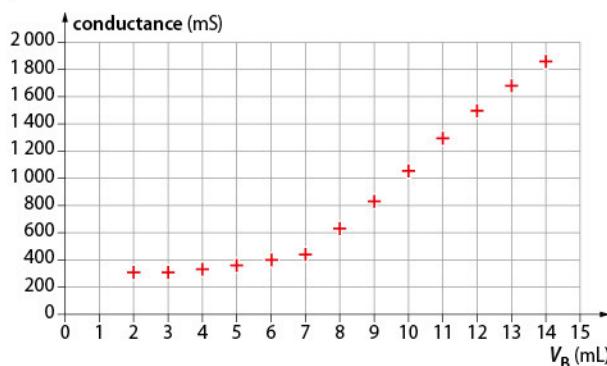
- Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse.
- Justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe de titrage à l'aide de données sur les conductivités molaires ioniques.

► Acquérir les bases : 23 ► S'entraîner : 26 27 30

22 Titrage de l'aspirine

On prépare $V = 250 \text{ mL}$ d'une solution S en dissolvant une masse $m = 0,32 \text{ g}$ d'acide acétylsalicylique, noté AH, dans de l'eau distillée.

Un échantillon de volume $V_A = 100 \text{ mL}$ est titré par une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$, $\text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration $c_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Un suivi du titrage par conductimétrie donne la courbe suivante :

**Données :**

- Masse molaire $M(\text{AH}) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Couples acide-base mis en jeu : $\text{AH}(\text{aq}) / \text{A}^-(\text{aq})$; $\text{H}_2\text{O}(\ell) / \text{HO}^-(\text{aq})$.

1. Écrire l'équation de la réaction acide-base support du titrage.
2. Justifier l'allure de la courbe.
3. Déterminer le volume V_E de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

4. Pour la solution S, calculer :

- a. la concentration c_A en quantité de matière d'acide acétylsalicylique ;

- b. la masse d'acide acétylsalicylique.

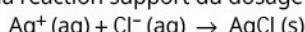
Est-elle compatible avec la valeur m donnée ?

23 Titrage des ions chlorure

Dans un laboratoire d'analyse, un technicien titre les ions chlorure dans $20,0 \text{ mL}$ de lait mélangé à 200 mL d'eau déminéralisée par une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq}), \text{NO}_3^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Les ions argent réagissent avec les ions chlorure pour former un précipité de chlorure d'argent $\text{AgCl}(\text{s})$.

L'équation de la réaction support du dosage est :



Le titrage est suivi par conductimétrie.

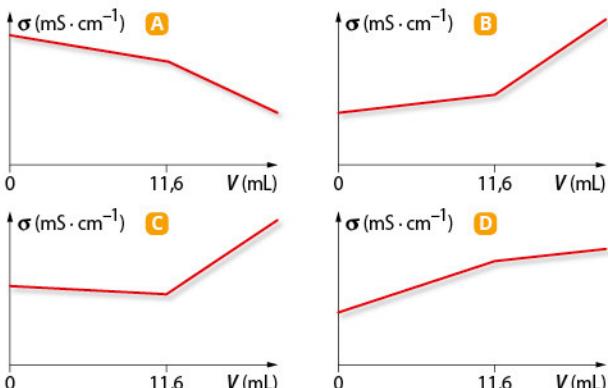
Données :

- Conductivités molaires ioniques à 25°C :

$$\lambda_{\text{Cl}^-(\text{aq})} = 76,3 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{NO}_3^-(\text{aq})} = 71,4 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{Ag}^+(\text{aq})} = 61,9 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

1. Schématiser le montage expérimental.**2. Parmi les représentations graphiques A à D, quelle est celle qui représente l'allure de l'évolution de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé ? Justifier la réponse.****3. Quel est le volume équivalent ? Justifier la réponse.****Faire le point avant d'aller plus loin**

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

PRÉPA
BAC

Définir le titre massique d'une solution.

Donner la différence entre densité et masse volumique.

Définir un titrage.

Citer les propriétés d'une transformation chimique qui sert de support à un titrage.

Schématiser le dispositif expérimental d'un titrage.

Définir l'équivalence d'un titrage.

Expliquer les différentes méthodes de détermination de l'équivalence lors d'un titrage suivi par pH-métrie ou conductimétrie.

Interpréter l'évolution des pentes d'une courbe de titrage conductimétrique.

Retrouver ces questions en version numérique

bordas Flash PAGE cartes mémos

EXERCICES

Exercice résolu

EN AUTONOMIE

24 Solution commerciale diluée



On dispose d'une solution commerciale S d'acide chlorhydrique de densité $d = 1,19$ et de titre massique $w = 37\%$.

On prépare une solution diluée dont un échantillon de volume $V_A = 10,0 \text{ mL}$ est titré avec suivi pH-métrique. La solution titrante est la soude ($\text{Na}^+(\text{aq})$, $\text{HO}^-(\text{aq})$) à la concentration $c_B = 3,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le volume de soude versé pour atteindre l'équivalence est $V_E = 20,0 \text{ mL}$.

Données :

- Couples acide-base mis en jeu : $\text{H}_2\text{O}(\ell) / \text{HO}^-(\text{aq}) ; \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$.
- Masse molaire du soluté dans la solution S : $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Incertitudes-types : $u_{V_E} = 0,16 \text{ mL}$; $u_{V_A} = 0,10 \text{ mL}$; $u_{c_B} = 0,010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► La **densité** et le **titre massique** sont deux grandeurs qui caractérisent une solution commerciale.

1. Déterminer la concentration c_{com} en quantité de matière de la solution S.

2. Écrire l'équation de la réaction acide-base support du titrage réalisé.

3. Déterminer la concentration c en quantité de matière de la solution diluée.

4. Calculer l'incertitude-type u_c sur cette concentration sachant que :

$$\frac{u_c}{c} = \sqrt{\left(\frac{u_{V_E}}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u_{V_A}}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{u_{c_B}}{c_B}\right)^2}$$

5. Préciser quelle verrerie a pu être utilisée pour préparer la solution diluée.

LES VERBES D'ACTION

► Déterminer : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

► Préciser : apporter une information nouvelle.

EXEMPLE DE RÉDACTION

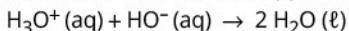
1. La concentration en quantité de matière est $c_{\text{com}} = \frac{m_{\text{soluté}}}{M \cdot V}$.

À partir de l'expression du titre massique $w = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}}$, on déduit que

$m_{\text{soluté}} = m_{\text{solution}} \cdot w = \rho \cdot V \cdot w = \rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot V \cdot w$ donc :

$$c_{\text{com}} = \frac{\rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot V \cdot w}{M \cdot V} = \frac{\rho_{\text{eau}} \cdot d \cdot w}{M} \quad AN : c_{\text{com}} = \frac{1,0 \times 10^3 \times 1,19 \times 0,37}{36,5} \text{ soit } c_{\text{com}} = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

2. L'équation de la réaction acide-base support du titrage est :



3. À l'équivalence, on a : $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{HO}^-)$ soit $c \cdot V_A = c_B \cdot V_E$. D'où $c = \frac{c_B \cdot V_E}{V_A}$.

$$AN : c = \frac{3,00 \times 10^{-2} \times 20,0}{10,0} \text{ soit } c = 6,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$4. u_c = c \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{V_E}}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u_{V_A}}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{u_{c_B}}{c_B}\right)^2} \quad AN : u_c = 6,0 \times 10^{-2} \times \sqrt{\left(\frac{0,16}{20,0}\right)^2 + \left(\frac{0,10}{10,0}\right)^2 + \left(\frac{0,010}{3,00 \times 10^{-2}}\right)^2} ; u_c = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

5. Le facteur de dilution est $\frac{c_{\text{com}}}{c}$, soit $\frac{12}{6,00 \times 10^{-2}} = 200$. Donc, pour préparer la solution diluée, on peut utiliser une pipette jaugée de 1 mL et une fiole jaugée de 200 mL.

QUELQUES CONSEILS

3. Utiliser la définition de l'équivalence.

5. Calculer le facteur de dilution.

EXERCICE SIMILAIRE



25 Titrage acide-base

On dispose d'une solution commerciale S d'acide sulfurique de densité $d = 1,82$ et de titre massique $w = 92\%$.

On prépare une solution diluée dont un échantillon de volume $V_A = 20,0 \text{ mL}$ est titré avec suivi pH-métrique.

La solution titrante est la soude ($\text{Na}^+(\text{aq})$, $\text{HO}^-(\text{aq})$) à la concentration $c_B = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le volume de soude versé pour atteindre l'équivalence est $V_E = 10,0 \text{ mL}$.

Données :

- Couples acide-base : $\text{H}_2\text{O}(\ell) / \text{HO}^-(\text{aq}) ; \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$.
- Masse molaire du soluté dans la solution S : $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Incertitudes-types : $u_{V_E} = 0,15 \text{ mL}$; $u_{V_A} = 0,10 \text{ mL}$; $u_{c_B} = 0,010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

► Reprendre les questions 1 à 4 de l'exercice 24.

Exercice résolu

EN AUTONOMIE**26 Des larmes artificielles**

Ces unidoses de larmes artificielles contiennent une solution aqueuse de chlorure de sodium (Na^+ (aq), Cl^- (aq)) de titre massique $w = 0,9\%$ et dont la densité est $d = 1,0$.

On dose 5,0 mL de ces larmes artificielles (dans 1 unidose) par une solution de nitrate d'argent (Ag^+ (aq), NO_3^- (aq)) de concentration en quantité de matière $c = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

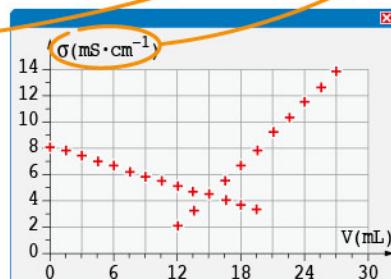
L'équation support du titrage est :



On enregistre la courbe ci-contre :

Donnée : masse molaire $M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. **Préciser** de quel type de titrage il s'agit.
2. Quel est le volume versé à l'équivalence ?
3. **Déterminer** la quantité de matière d'ions chlorure présents dans 1 unidose de 5,0 mL de larmes artificielles.
4. **En déduire** la masse de chlorure de sodium dissout, contenu dans 1 unidose. La **comparer** à celle indiquée par le fabricant sur la boîte.

**EXEMPLE DE RÉDACTION**

1. La conductivité σ montre qu'il s'agit d'un titrage suivi par conductimétrie.
2. On trace sur du papier-calque deux segments de droite passant par le maximum de points. Leur intersection a pour abscisse $V_E = 15 \text{ mL}$.
3. À l'équivalence, les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques : $n(\text{Cl}^-) = n(\text{Ag}^+)$ donc $n(\text{Cl}^-) = c \cdot V_E$.

$$\text{AN : } n(\text{Cl}^-) = 5,00 \times 10^{-2} \times 15 \times 10^{-3} \text{ soit } n(\text{Cl}^-) = 7,5 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

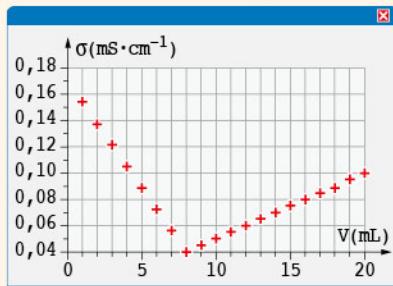
$$4. m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl})$$

$$\text{Or } n(\text{NaCl}) = n(\text{Cl}^-) \text{ donc } m(\text{NaCl}) = n(\text{Cl}^-) \cdot M(\text{NaCl})$$

$$\text{AN : } m(\text{NaCl}) = 7,5 \times 10^{-4} \times 58,5 \text{ soit } m(\text{NaCl}) = 4,4 \times 10^{-2} \text{ g.}$$

Comme $d = 1,0$ alors 1 unidose de volume 5,0 mL a pour masse 5,0 g.

Le fabricant annonce un titre massique $w = 0,9\%$, donc la masse dans 1 unidose est : $m(\text{NaCl}) = w \cdot m_{\text{solution}} = 0,9 \times 10^{-2} \times 5,0$ soit $m(\text{NaCl}) = 4,5 \times 10^{-2} \text{ g}$, cette valeur est voisine de la masse calculée ($4,4 \times 10^{-2} \text{ g}$).

EXERCICE SIMILAIRES**27 Une lotion capillaire**

On désire vérifier que le pourcentage en masse de chlorure de sodium (Na^+ (aq), Cl^- (aq)) dissout dans une lotion capillaire correspond à 0,1 %, valeur indiquée sur le contenant.

On réalise un titrage suivi par conductimétrie d'un échantillon de lotion de 10 mL par une solution de nitrate d'argent (Ag^+ (aq), NO_3^- (aq)) dont la concentration est $c = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'équation support du titrage est : $\text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl} (\text{s})$. La courbe de titrage obtenue est présentée ci-contre.

Données : masse molaire $M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; densité de la lotion $d = 0,98$.

1. Préciser le volume versé à l'équivalence.
2. Déterminer la quantité de matière d'ions chlorure présents dans l'échantillon de lotion.
3. En déduire la masse de chlorure de sodium dissout, contenu dans cet échantillon. La comparer à celle indiquée par le fabricant.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- **L'équation support** permet de connaître la stœchiométrie de la réaction.
- **La grandeur** sur l'axe des ordonnées informe sur la méthode de titrage utilisée.

LES VERBES D'ACTION

- **Préciser** : apporter une information nouvelle.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire** : intégrer la donnée précédente pour répondre.
- **Comparer** : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

QUELQUES CONSEILS

2. Penser à prolonger les deux portions de droite.
4. Tenir compte de la densité de la solution.



S'entraîner pour maîtriser

SAVOIR RÉDIGER

28 Proposer une correction de la solution donnée par un élève à l'énoncé.

Énoncé

Les produits chimiques sont commercialisés purs ou en solutions très concentrées. À partir de ces composés, les laborantins préparent les solutions diluées utilisées en TP. On dispose d'une solution d'acide nitrique concentré HNO_3 dont le titre massique est $w = 90\%$. La masse volumique de cette solution est $\rho = 1,4 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

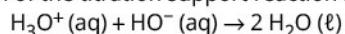
Solution proposée par un élève

- Le titre massique est le quotient de la masse d'acide nitrique par la masse d'un litre de solution.) Considérer un échantillon donné
- La masse d'un litre de solution est $1,4 \text{ kg}$ et il contient $0,90 \times 1,4 = 1,26 \text{ kg}$ de HNO_3
soit : $n = \frac{1,26}{63} = 0,020 \text{ mol}$) Garder la même unité
Sa concentration en quantité de matière est $c = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Il faut diluer d'un facteur 10, donc utiliser une pipette jaugeée de 10 mL pour une fiole jaugeée de 100 mL .

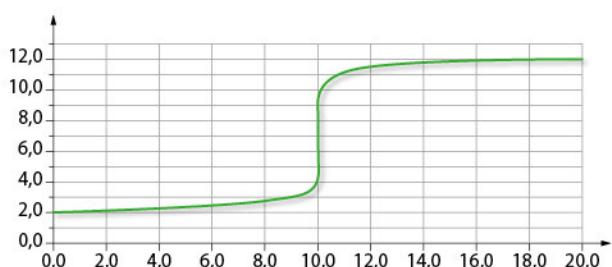
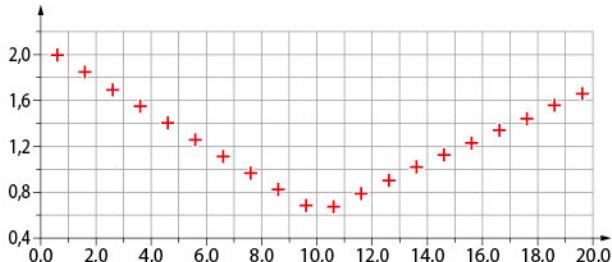
29 From a graph

Two aqueous solutions of hydrogen chloride are titrated by caustic soda (aqueous solution of sodium hydroxide), one by pH-metry and the other by conductometry.

The equation of the titration support reaction is:



Graphs of results obtained during titrations are as follows.



Data: ionic molar conductivity at 25°C

$$\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})} = 34.98 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1};$$

$$\lambda_{\text{Na}^+(\text{aq})} = 5.011 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}.$$

- Specify the quantities represented on the axes of the graphs, as well as their units.
- Determine the equivalent volume in both cases.
- Explain the appearance of the graph obtained during the titration by conductometry.

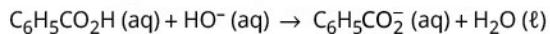
Donnée : masse molaire $M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- À quoi correspond le titre massique ?
- Calculer la concentration en quantité de matière d'acide nitrique dans cette solution concentrée.
- On souhaite préparer une solution diluée à $2,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Quelle verrerie faudra-t-il utiliser ?

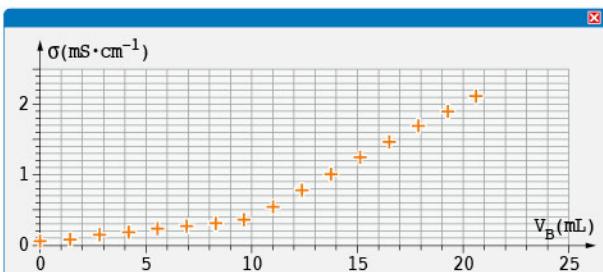
30 Acide benzoïque DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

On titre par conductimétrie un volume $V = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse S d'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$ par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}), \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière : $c_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La réaction support du titrage est :



Voici la courbe obtenue :



DÉMARCHE EXPÉRTE

Calculer la concentration c en quantité de matière d'acide benzoïque dans la solution S .

DÉMARCHE AVANCÉE

- Déterminer le volume équivalent.
- Établir la relation entre les quantités de matière d'acide benzoïque et d'ions hydroxyde.
- En déduire la concentration c en quantité de matière d'acide benzoïque dans la solution S .

31 Acide chlorhydrique commercial

Sur l'étiquette d'un flacon d'acide chlorhydrique concentré, pris dans l'armoire du laboratoire, on lit :

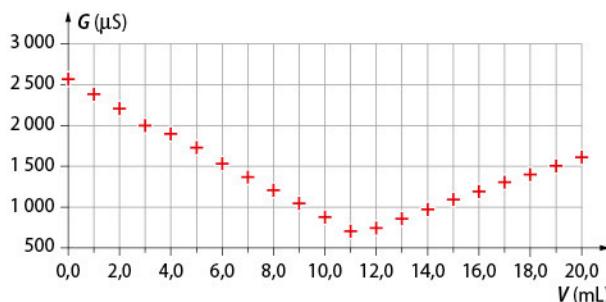
densité $d = 1,16$ titre massique $w = 33\% \text{ minimum}$

On appelle S_0 la solution de ce flacon, dont on veut connaître la concentration c_0 en quantité de matière.

On dilue 1 000 fois la solution S_0 , on obtient alors une solution S_1 de concentration c_1 .

On préleve précisément un volume $V_1 = 100,0 \text{ mL}$ de solution S_1 que l'on dose (par conductimétrie) par une solution aqueuse titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La représentation graphique de la conductance de la solution en fonction du volume V de solution titrante versé est donnée ci-dessous.

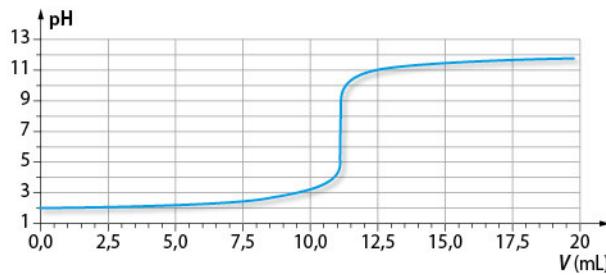


- Écrire l'équation de la réaction acide-base support du titrage.
- En utilisant du papier-calque, déterminer graphiquement le volume V_E versé à l'équivalence.

JE VÉRIFIQUE QUE J'AI...

- correctement tracé les deux segments de droite pour trouver l'équivalence.

- Écrire l'expression reliant c_1 , c_B , V_E et V_1 .
- Calculer la concentration c_1 en quantité de matière de la solution S_1 d'acide chlorhydrique diluée.
- En déduire la concentration c_0 de la solution S_0 d'acide chlorhydrique concentrée.
- Calculer la masse m_0 de soluté dissout dans un litre de solution.
- Quelle est la masse m d'un litre de solution S_0 ?
- Calculer le titre massique de la solution S_0 .
- L'indication de l'étiquette du flacon d'acide chlorhydrique concentré est-elle correcte ?
- On dose maintenant par pH-métrie la solution S_1 avec la même solution titrante. Voici la courbe obtenue :



En utilisant du papier-calque, déterminer graphiquement le volume V_E versé à l'équivalence en explicitant la méthode employée.

32 Évolution suivie par Python



On étudie le titrage d'une solution d'acide AH par la soude (Na^+ (aq), HO^- (aq)).

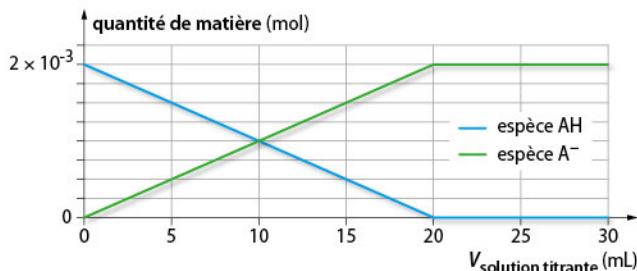
Pour suivre l'évolution des quantités de matière des espèces en fonction du volume de solution titrante versé, on rédige un programme en langage Python, le voici :

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3
4 c_B=0.1 #concentration (mol/L) de la solution titrante
5 V_A=20 #volume initial (mL) de solution titrée
6 V_E=20 #volume équivalent (mL)
7 c_A=c_B*V_E/V_A
8
9 V_B1=np.linspace(0,V_E,V_E*10+1)
10 n_a1=(c_A*V_A-c_B*V_B1)*1e-3
11 n_b1=c_B*V_B1*1e-3
12 n_B1=0*V_B1
13
14 V_B2=np.linspace(V_E,V_E*1.5,V_E*10+1)
15 n_a2=0*V_B2
16 n_b2=(0*V_B2+c_B*V_E)*1e-3
17 n_B2=c_B*(V_B2-V_E)*1e-3
18
19 plt.plot(V_B1,n_a1,color="blue")
20
21
22 plt.plot(V_B2,n_a2,color="blue")
23
24
25 plt.show()

```

L'exécution du programme permet de tracer ces courbes :



Données :

- Couples acide-base : $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$ (aq); AH (aq) / A^- (aq).
- Écrire l'équation de la réaction acide-base support du titrage.
- Indiquer la ligne du programme codant l'information correspondant à la concentration en quantité de matière de la solution titrée. Justifier la réponse.
- Calculer la valeur de cette concentration.
- Écrire les instructions cachées des lignes 20 et 23 permettant de tracer l'évolution de la quantité de matière d'ions A^- (aq) en fonction du volume de solution titrante versé.
- Représenter l'allure de la courbe que l'on obtiendrait si on souhaitait suivre l'évolution de la quantité d'ions HO^- (aq) en fonction du volume de solution titrante versé.

JE VÉRIFIQUE QUE J'AI...

- compris qu'à l'équivalence il y a changement de réactif limitant.

EXERCICES

33 Titrage du lait

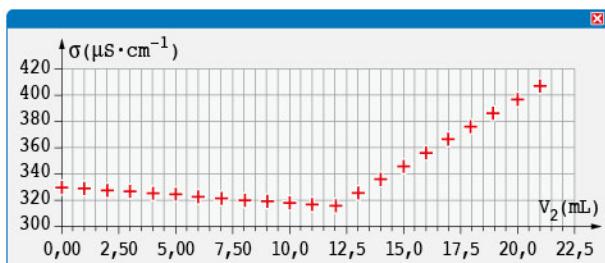


Avant de procéder à sa transformation ou à sa commercialisation, le lait doit subir divers contrôles pour garantir sa qualité et préserver la santé des consommateurs.

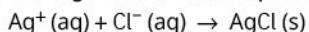
PARTIE 1

On verse un volume $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de lait dans un bêcher et on y plonge une sonde conductimétrique. On ajoute, mL par mL, une solution aqueuse S de nitrate d'argent (Ag^+ (aq), NO_3^- (aq)) de concentration $c_2 = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le suivi conductimétrique du titrage permet d'obtenir à l'aide d'un logiciel la courbe d'évolution de la conductivité σ du milieu réactionnel en fonction du volume V_2 de la solution de nitrate d'argent versé.



La transformation chimique met uniquement en jeu les ions chlorure et les ions argent selon cette équation de réaction :



Données :

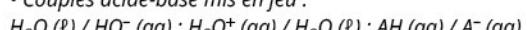
- Conductivités molaires ioniques à 25 °C :

$$\lambda_{\text{Cl}^- (\text{aq})} = 76,3 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1};$$

$$\lambda_{\text{NO}_3^- (\text{aq})} = 71,4 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1};$$

$$\lambda_{\text{Ag}^+ (\text{aq})} = 61,9 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}.$$

- Couples acide-base mis en jeu :



- Masse molaire de l'acide lactique $M(\text{AH}) = 90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- Incertitudes-types : $u_{V_E} = 0,16 \text{ mL}$; $u_{V_A} = 0,10 \text{ mL}$;

$$u_{c_B} = 0,010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

1. Quelle est l'origine de la conductivité initiale de la solution S ?

2. Interpréter la variation de la valeur de la conductivité σ du milieu réactionnel au cours du dosage.

Coup de pouce

Seuls les ions participent à la conductivité de la solution, pas le solide formé. Comparer les valeurs des conductivités molaires ioniques et se rappeler qu'à l'équivalence, il y a changement de réactif limitant.

3. Déterminer, en utilisant du papier-calque, le volume V_E de solution de nitrate d'argent, versé à l'équivalence.

4. Quelle est alors la relation entre la quantité de matière en ions argent introduits et la quantité de matière en ions chlorure initialement présents ?

5. En déduire la concentration c_1 en quantité de matière d'ions chlorure dans le lait.

PARTIE 2

On considère qu'un lait frais a une concentration en acide lactique (noté AH) inférieure à $1,8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

En supposant que c'est le seul acide présent dans le lait étudié, on effectue un dosage de cet acide par une solution d'hydroxyde de sodium (Na^+ (aq), HO^- (aq)), ou soude, de concentration $c_B = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On prélève un volume $V_A = 20,0 \text{ mL}$ de lait que l'on place dans un bêcher et on suit l'évolution du pH en fonction du volume V_B de soude versé.

On obtient ces valeurs :

V_B (en mL)	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	11
pH	2,9	3,2	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9
V_B (en mL)	11,5	12	12,5	13	14	16	
pH	6,3	8,0	10,7	11,0	11,3	11,5	

6. a. Écrire l'équation de la réaction qui se produit lors du mélange.

b. Quelles caractéristiques doit présenter cette réaction pour être adaptée à un dosage ?

7. a. Déterminer le volume V_E de solution de soude, versé à l'équivalence.

b. En déduire la quantité de matière d'acide lactique présent dans le volume V_A de lait.

8. Quelle est la masse m d'acide lactique présent dans un litre de lait ? Conclure.

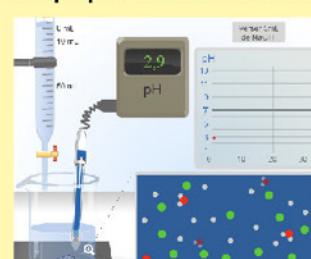
9. Évaluer l'incertitude-type sur la masse m sachant que :

$$\frac{u_m}{m} = \sqrt{\left(\frac{u_{V_E}}{V_E} \right)^2 + \left(\frac{u_{V_A}}{V_A} \right)^2 + \left(\frac{u_{c_B}}{c_B} \right)^2}$$

À L'ORAL

34 Titrage pH-métrique

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer cette animation :



ANIMATION
Titrage pH-métrique



Les mots-clés à utiliser

- pH
- agitateur magnétique
- barreau aimanté
- solutions titrée et titrante
- saut de pH
- équivalence

35 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Les laboratoires effectuent régulièrement des analyses d'eau.

Préparer un exposé oral expliquant une technique d'analyse de l'eau pour déterminer sa concentration en un ou plusieurs de ses ions.



Développer ses compétences

36 Analyser un beurre

RÉSOLUTION DE PROBLÈME



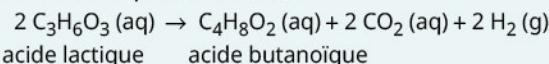
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

Comme tous les produits frais, les laitages s'altèrent très vite et ne se conservent pas longtemps, des normes existent pour encadrer le taux de certains de leurs composés.

DOC 1 Beurre et fromage rances

L'acide butanoïque est l'un des composés responsables de l'odeur très forte et du goût piquant de certains fromages et beurres rances.

■ Dans les fromages, il est produit par fermentation de l'acide lactique du lait en présence de la bactérie *Clostridium tyrobutyricum*. Cette fermentation est modélisée par la réaction d'équation suivante :



Les premiers signes de cette fermentation sont généralement visibles après 6 à 10 semaines d'affinage, et se manifestent par un goût rance et, très souvent, un gonflement, voire un éclatement des fromages.

■ Le beurre est sensible à la réaction d'oxydation du butanal par le dioxygène de l'air qui forme l'acide butanoïque.

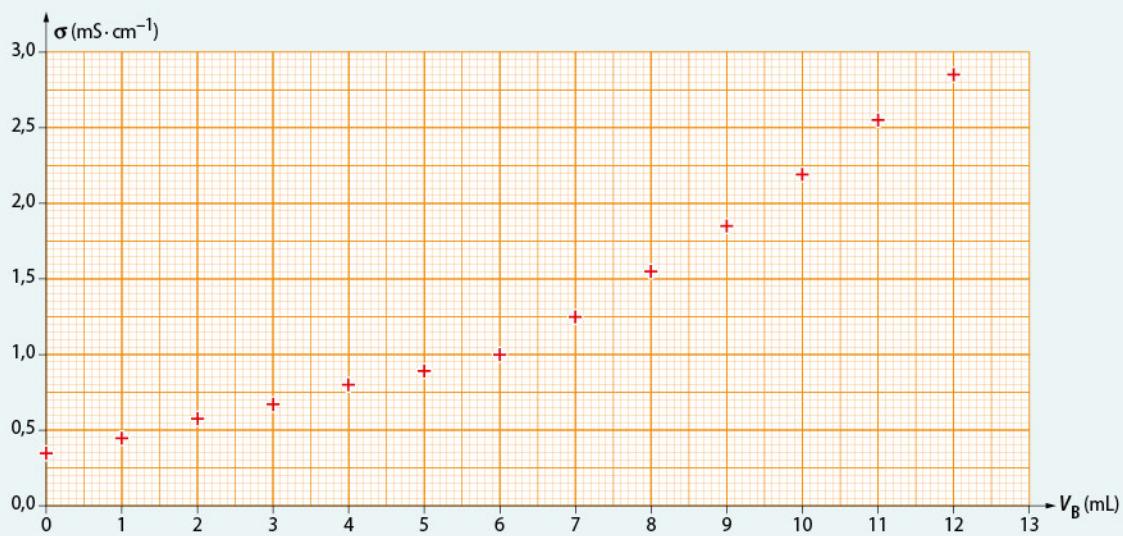
Un beurre est rance si son pourcentage massique en acide butanoïque est supérieur ou égal à 4 %.

Donnée : masse molaire $M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) = 88,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.



DOC 3 Courbe de titrage

La courbe représentant les variations de la conductivité σ de la solution S en fonction du volume V_B de solution d'hydroxyde de sodium, versé lors du titrage de l'acide butanoïque, est donnée ci-dessous.



QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Justifier le gonflement des fromages lors de la fermentation de l'acide lactique.
- Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- a. Définir l'équivalence.
b. Comment peut-on repérer le volume équivalent sur la courbe fournie (Doc. 3) ?
c. Déterminer sa valeur après avoir reproduit la courbe.

LE PROBLÈME À RÉSOUTRE

Le beurre analysé est-il rance ?

Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti, et de justifier toute réponse.

37 Un soda universel

RÉSOLUTION DE PROBLÈME

(AN/RAI) Proposer une stratégie de résolution

Les différents ingrédients qui composent les boissons doivent être contrôlés, ils peuvent causer potentiellement des problèmes de santé tels que le diabète, l'insuffisance rénale, etc.

DOC 1 Boisson au cola

Au XIX^e siècle, une boisson à base de feuilles de coca et de noix de cola était préconisée par son inventeur comme remède contre les problèmes gastriques.



Une boisson de ce type est actuellement vendue partout comme soda. Sur l'étiquette, on lit :

Ingrédients :

eau gazéifiée au dioxyde de carbone ; sucre ; colorant (caramel) ; conservateur (acide benzoïque) ; acidifiant (acide phosphorique) ; extraits végétaux ; arômes naturels (extraits végétaux dont caféine).



Des études récentes laissent penser que l'acide phosphorique H_3PO_4 , contenu dans ces sodas au cola, est responsable d'un accroissement des risques d'insuffisance rénale et d'ostéoporose s'il est consommé en quantités trop importantes.

Données :

- Une canette de soda de 33 cL contient environ 35 mg de caféine.
- La masse d'une personne adulte ici est de 70 kg.
- Masse molaire de la caféine $M = 194,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masses molaires atomiques M_X (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) : $M_H = 1,0$; $M_C = 12,0$; $M_N = 14,0$; $M_O = 16,0$; $M_P = 31,0$.

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- a. Évaluer à combien de canettes de soda correspond la dose journalière admissible de caféine pour une personne adulte.
- b. En déduire la concentration en quantité de matière de caféine dans le soda choisi.
2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage proposé (Doc. 2).



DOC 2 Titrage de l'acide phosphorique

Pour déterminer la concentration en acide phosphorique dans le soda choisi, on dégaze un volume $V = 10,0 \text{ mL}$ de ce soda afin d'éliminer le dioxyde de carbone dissout.

On réalise ensuite le titrage de la boisson dégazée par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$, $\text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière $c = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le titrage est suivi par pH-métrie.

Voici les mesures effectuées lors de ce titrage (V étant le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé) :

V (en mL)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
pH	2,9	3,1	3,2	3,3	3,6	4,5

V (en mL)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
pH	5,8	6,2	6,3	6,4	6,4

On admet que seul le couple $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ / $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})$ intervient dans la réaction de titrage et que l'acide benzoïque étant en faible quantité, sa présence influe très peu sur le titrage de l'acide phosphorique.

Données :

- Couples acide-base mis en jeu : $\text{H}_2\text{O}(\ell)$ / $\text{HO}^-(\text{aq})$; $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ / $\text{H}_2\text{O}(\ell)$.

DOC 3 Dose journalière admissible

La dose journalière admissible DJA est la dose maximale d'une substance à laquelle on peut être exposée de façon répétée sans risque pour la santé.

La DJA est exprimée en mg par kg de masse corporelle et par jour.

Pour l'acide phosphorique, la DJA est de $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$.

Pour la caféine, la DJA est de $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$.

LE PROBLÈME À RÉSOUTRE

Combien de canettes de soda de 33 cL une personne adulte peut-elle consommer par jour en écartant tout risque de dangerosité de l'acide phosphorique pour sa santé ?

Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti, et de justifier toute réponse.

38 Nettoyage chimique ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS**APP** Rechercher et organiser l'information

Les molécules chimiques ont des usages très variés. On utilise par exemple du vinaigre pour nettoyer des pièces de monnaie.

DOC 1 Bain de jouvence

Un collectionneur souhaite nettoyer des pièces de monnaie en utilisant du vinaigre blanc, en effet, il a lu dans une revue que les pièces en argent, or et cuivre ne sont pas altérées par l'acide éthanoïque.

Il dispose justement dans sa cuisine d'une bouteille qu'il utilise régulièrement pour nettoyer les vitres de son appartement. Ce collectionneur sait que le vinaigre blanc est une solution d'acide éthanoïque. Pour rendre leur éclat à ses pièces, il les plonge dans un bain de vinaigre.

**ANALYSE**

- Quelle est la masse volumique du vinaigre utilisé ?
- Rédiger avec précision le protocole expérimental à mettre en œuvre pour diluer d'un facteur 10 le vinaigre pur du collectionneur.
- Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'acide éthanoïque, contenu dans le vinaigre, et la soude.

DOC 2 Données sur le vinaigre

- Le degré d'un vinaigre est la masse d'acide éthanoïque contenue dans 100 grammes de vinaigre.
- Densité $d = 1,0$.
- Masse molaire $M = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Couple acide-base : $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}(\text{aq}) / \text{CH}_3\text{CO}_2^-(\text{aq})$.

**DOC 3** Titrage du vinaigre

Un volume $V_A = 10,0 \text{ mL}$ de vinaigre dilué dix fois est titré par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Pour obtenir l'équivalence, il faut verser un volume d'hydroxyde de sodium $V_E = 13,3 \text{ mL}$.

Données :

- Couples acide-base mis en jeu : $\text{H}_2\text{O}(\ell) / \text{HO}^-(\text{aq})$; $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$.

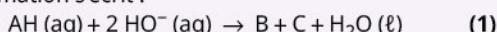
SYNTHÈSE

La valeur de degré indiquée sur l'étiquette du vinaigre utilisé est-elle validée ?

VERS LE SUP'**39** Dosage de l'aspirine

L'aspirine, ou acide acétylsalicylique, noté AH, est le médicament le plus vendu dans le monde. Par dissolution d'un comprimé 500 mg, on prépare une solution aqueuse d'aspirine, ensuite on suit les deux étapes ci-après.

Étape 1 : dans un ballon, on transforme l'aspirine en la faisant réagir avec un excès de soude. On utilise $V_B = 10,0 \text{ mL}$ de soude dont la concentration en quantité de matière est $c_B = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'équation de réaction modélisant cette transformation s'écrit :



On récupère alors un volume $V = 100 \text{ mL}$ de solution S.

Étape 2 : on dose 10,0 mL de cette solution S (contenant l'excès de base HO^-) par une solution d'acide chlorhydrique de concentration $c_A = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Expérimentalement, le volume équivalent d'acide versé vaut : $V_E = 8,4 \text{ mL}$.

L'équation support du dosage s'écrit :

**Donnée :**

- La masse molaire de l'aspirine est $M(\text{AH}) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Calculer la quantité initiale de matière $n_i(\text{HO}^-)$ d'ions hydroxyde introduits dans le ballon.

2. Déduire du volume équivalent versé, la quantité de matière n d'ions hydroxyde en excès, présente dans le prélèvement de 10,0 mL, puis la quantité de matière n' d'ions hydroxyde en excès, présente dans les 100,0 mL de la solution S de départ.

3. Déterminer la quantité de matière $n(\text{HO}^-)$ d'ions hydroxyde, consommée lors de la transformation 1.

4. Utiliser l'équation 1 pour en déduire la quantité d'aspirine présente dans le ballon.

5. En déduire la masse m d'aspirine contenue dans le comprimé et la comparer à celle indiquée sur la boîte.

Élevage d'artémias

Contexte

L'artémia est le nom scientifique d'un petit crustacé qui a la particularité de vivre dans des milieux très salés tels que certains lacs et marais salants.

Le projet professionnel de Noémie est d'implanter un élevage d'artémias dans les marais salants du Sud de la France, la région de son enfance.

Le but de cette épreuve est d'analyser un échantillon de l'eau du marais afin de savoir si elle est favorable au développement de ce crustacé. On sait que cette eau contient exclusivement des ions sodium et des ions chlorure.



Documents mis à disposition

DOC 1 Milieu de vie

Les artémias ont besoin de vivre dans un milieu marin dont la concentration en masse moyenne d'ions chlorure Cl^- est supérieure à $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Dans ces conditions, leur développement n'est pas compromis car les prédateurs aquatiques ne supportent pas des salinités aussi élevées.

DOC 2 Préparation de la solution S_1

Un prélèvement d'échantillon d'eau a été effectué dans le marais salant où Noémie pense planter l'élevage d'artémias. Cette eau a été diluée 10 fois pour obtenir une solution S_1 .

DOC 3 Réaction de précipitation

Les ions chlorure Cl^- réagissent avec les ions argent Ag^+ selon la réaction de précipitation d'équation : $\text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl} (\text{s})$

Cette transformation peut être considérée comme totale.

Matériel mis à disposition

- Ordinateur muni d'un tableur-grapheur
- Conductimètre avec sa sonde de conductimétrie (préalablement étalonné)
- Agitateur magnétique avec un turbulent
- Béchers, pipettes jaugées, erlenmeyer, burette graduée
- Solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+ (\text{aq}), \text{NO}_3^- (\text{aq})$) de concentration $c_2 = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- Échantillon d'eau du marais salant
- Eau distillée

Travail à effectuer

1. (AN/RAD) Proposition de protocole expérimental (10 min conseillées)

- À partir des documents et du matériel disponible, proposer un protocole expérimental qui permette de déterminer la concentration en ions chlorure d'un échantillon $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de la solution S_1 obtenue à partir de l'eau prélevée dans le marais salant.



Être en mesure de présenter le protocole

2. (RÉA) Mise en œuvre du protocole expérimental (35 min conseillées)

- Mettre en œuvre le protocole et effectuer l'acquisition d'une courbe à l'aide du tableur-grapheur.



Être en mesure de présenter l'acquisition informatisée

3. (VAL) Exploitation du résultat obtenu (15 min conseillées)

Donnée : masse molaire $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. À partir de la courbe obtenue et de l'équation de réaction fournie, déterminer en détaillant les différentes étapes du raisonnement, la concentration c en quantité de matière d'ions chlorure dans l'eau du marais salant.
2. Cette concentration c est-elle favorable au développement des artémias ? Justifier la réponse.
3. Identifier les principales sources d'incertitude de ce résultat.

Défaire le montage et ranger la paillasse.

UNE QUESTION

Comment établir la composition d'une eau ?

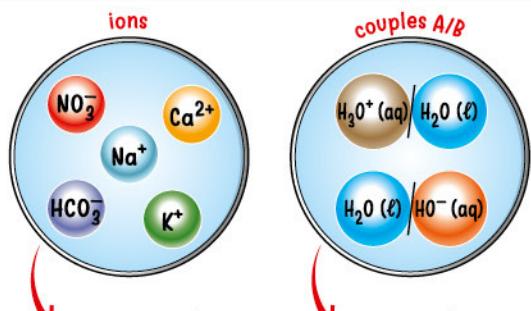
Enjeu de la question

L'eau douce est une ressource essentielle pour l'humanité. Son utilisation fait l'objet d'une attention particulière depuis son prélèvement, où l'on doit mesurer sa qualité, jusqu'au rejet des eaux usées dépolluées. La dépollution permet d'augmenter la ressource disponible à un moindre coût, notamment dans les régions touchées par les pénuries d'eau et la sécheresse.

Proposition de plan de présentation

1. L'eau contient des ions.
2. Les couples de l'eau et son pH.
3. Méthodes physiques d'analyse.
4. Méthodes chimiques d'analyse.

Exemple de support de présentation



suivi par conductimétrie suivi par pH-métrie

Les espèces chimiques d'une eau

Les mots-clés

conductance ▶ conductivité molaire ionique ▶ ions oxonium et hydroxyde ▶ pH ▶ couples A / B ▶ titrage ▶ équivalence

QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

Quelles techniques de titrage peuvent être envisagées par un chimiste pour mesurer la qualité d'une eau ?

Quelles sont les différentes méthodes qui permettent de déterminer l'équivalence lors d'un titrage ?

Comment peut-on exploiter les techniques de spectroscopie UV-visible ou IR ?

Quelles menaces pèsent sur l'eau, une ressource épuisable ?

À propos de la composition d'une eau

Qu'est-ce qu'un dosage par étalonnage ?

UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Responsable de la qualité et de la quantité d'eau utilisée par son usine, le technicien d'exploitation de l'eau a un rôle clé dans les industries qui utilisent cette ressource tout au long du processus de fabrication, par exemple les entreprises de fabrication de papiers et cartons. Le technicien d'exploitation de l'eau veille aussi au recyclage de l'eau et à son impact sur l'environnement lorsqu'elle est rejetée. Autonome et ayant le sens des responsabilités, ce professionnel travaille souvent seul. Il surveille les données sur un écran d'ordinateur, effectue des prélèvements et des contrôles quotidiens, veille au bon état des équipements, dose les produits pour l'assainissement de l'eau, etc. Grâce à un bagage technique varié, il est recherché par les employeurs qui ne peuvent se passer d'un tel professionnel.

Après le bac : 2 ans pour préparer un BTS métiers de l'eau ou un DUT génie biologique. D'autres formations à bac+2 existent dans les domaines de l'environnement, de la chimie, de la biochimie, de la biologie, du contrôle industriel ou de l'électrotechnique.

Autres métiers : responsable de réseau d'assainissement, responsable de réseau eau potable, chef de station de traitement des eaux.

lorsqu'elle est rejetée. Autonome et ayant le sens des responsabilités, ce professionnel travaille souvent seul. Il surveille les données sur un écran d'ordinateur, effectue des prélèvements et des contrôles quotidiens, veille au bon état des équipements, dose les produits pour l'assainissement de l'eau, etc. Grâce à un bagage technique varié, il est recherché par les employeurs qui ne peuvent se passer d'un tel professionnel.

