

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date:

Détermination du degré d'un vinaigre blanc par suivi pressiométrique

<input checked="" type="checkbox"/> Objectifs	 Classe
<input type="checkbox"/> Exploiter la loi de Beer-Lambert, la loi de Kohlrausch ou l'équation d'état du gaz parfait pour déterminer une concentration ou une quantité de matière. Citer les domaines de validité de ces relations. <input type="checkbox"/> Réaliser une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'une solution de titre massique et de densité fournis.	Terminale Spé
	 Durée
	2 h

Sur la paillasse

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Une pipette jaugée de 5,0 mL ; ▪ Poire à pipeter ; ▪ Une éprouvette de 10 mL ; ▪ Une capsule de pesée et une spatule ; ▪ Une pipette en plastique ; ▪ Une balance de précision ; ▪ Une fiole jaugée de 50,0 mL ; ▪ 2 béchers de 50 mL ; | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Un erlenmeyer de 250 mL muni d'un bouchon troué connecté à un tube en verre puis un tuyau ; ▪ Une bouteille de vinaigre à 4° ; ▪ Un manomètre ; ▪ De l'huile ; ▪ Une pissette d'eau distillée ; ▪ Un pot de bicarbonate de soude ; ▪ Un thermomètre. |
|--|--|

Lors de cette séance de TP, on se propose de déterminer la concentration en acide acétique (ou acide éthanoïque) d'un vinaigre blanc à 4°, d'en déduire son degré d'acidité puis de comparer la valeur trouvée avec celle fournie par le fabricant.

Document 1: L'acide éthanoïque, composant essentiel du vinaigre

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le vinaigre est une solution contenant essentiellement de l'acide éthanoïque. ▪ Le fabricant indique sur l'étiquette de la bouteille le degré d'acidité du vinaigre. Le degré d'aci- | <p>dité d'un vinaigre blanc du commerce représente le pourcentage massique (ou titre massique) d'acide éthanoïque contenu dans 100 g de vinaigre.</p> |
|---|---|

Document 2: Données diverses

- Masse volumique de l'eau : $\rho_0 = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Couple acide base de l'acide éthanoïque : $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} / \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$.
- Couple acide base du bicarbonate de soude : $\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})} / \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$. On pourra noter que $\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ se dissocie en $\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})} = \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masses molaires : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Na}) = 23,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Incertitude du manomètre : $u(P) = 2\% \times P + 4 \text{ hPa}$.

1 Détermination de la masse volumique du vinaigre

1. À l'aide du matériel disponible, proposer un protocole permettant de mesurer très précisément la masse volumique du vinaigre commercial.

Solution:

- On mesure la masse de la fiole de 50 mL sèche et à vide à l'aide d'une balance de précision.
- On mesure un volume de 50 mL de vinaigre à l'aide de cette fiole. On fera attention à la position du ménisque.
- On mesure la masse de vinaigre contenu dans la fiole.
- On calcule $\rho = \frac{m}{V}$.

Appel 1

Appeler le professeur pour qu'il puisse vérifier le protocole.

2. Appliquer le protocole et mesurer la masse volumique. Déterminer l'incertitude sur la mesure de cette grandeur physique. Pour la balance, le fabricant donne $\Delta m = 0,03$ g.

Solution: On mesure $m = 50,22$ g pour un volume de 50,0 mL. On a donc $\rho = \frac{m}{V} = \frac{50,22}{50} = 1,004$ g · mL⁻¹.
L'incertitude-type est de type composée :

$$\frac{u(\rho)}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} \quad (1)$$

- $u(m) = \frac{\text{tolerance}}{\sqrt{3}} = \frac{0,03}{\sqrt{3}}$
- $u(V) = \frac{\text{tolerance}}{\sqrt{3}} = \frac{0,06}{\sqrt{3}}$

On a donc

$$\frac{u(\rho)}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\frac{0,03}{\sqrt{3}}}{50,22}\right)^2 + \left(\frac{\frac{0,06}{\sqrt{3}}}{50,00}\right)^2} = 7,74 \times 10^{-4} \quad (2)$$

donc $u(\rho) = \rho \times 7,74 \times 10^{-4} \approx 1 \times 10^{-3}$ g · mL⁻¹.On a donc $\rho(\text{vinaigre}) = 1,004 \pm 0,001$ g · mL⁻¹

2 Détermination de la concentration en acide éthanoïque par suivi pressiométrique

3. Rappeler la loi des gaz parfaits, en précisant les unités de chaque terme.

Solution: La pression P d'un gaz, son volume V , sa température T et sa quantité de matière n sont liés par la loi des gaz parfaits :

$$P \times V = n \times R \times T \quad (3)$$

avec

- P s'exprime en pascals (Pa),

- V en mètres cubes (m^3),
- n en moles (mol),
- T en kelvins (K),
- R est la constante des gaz parfaits ($R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$).

4. Suivre le protocole suivant :



- Dissoudre une masse $m = 1 \text{ g}$ de bicarbonate de soude dans 10 mL d'eau distillée.
- Placer la solution dans l'erlenmeyer.
- Rajouter, doucement et en penchant l'erlenmeyer à 45° , une fine couche d'huile qui permettra aux bulles de s'échapper plus lentement.
- Connecter le bouchon muni du tuyau au manomètre. Relever la valeur de la pression initiale.
- Prélever précisément 5 mL de vinaigre et les placer dans un bécher.
- Verser le vinaigre dans l'erlenmeyer et reboucher immédiatement avec le bouchon connecté au manomètre. On pourra agiter légèrement l'erlenmeyer de sorte que la réaction se fasse. \triangle Maintenir la main sur le bouchon en exerçant une force vers le bas pour éviter que le bouchon ne ressorte comme un bouchon de champagne !
- Attendre que la valeur de la pression se stabilise. Relever la valeur finale de la pression.
- Retirer le bouchon et mesurer la température de la phase gazeuse dans l'erlenmeyer.

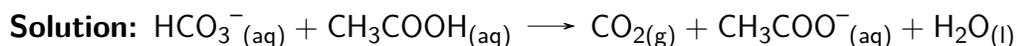
Solution:

$$P_i = 1027 \text{ hPa} \quad (4)$$

$$P = 1192 \text{ hPa} \quad (5)$$

$$\theta = 22^\circ \text{C} \quad (6)$$

5. Déterminer l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre le bicarbonate de soude et l'acide éthanoïque.



6. Effectuer un tableau d'avancement de la réaction précédente.

Solution:

Équation de la réaction		$\text{HCO}_3^- (\text{aq})$	$+$	$\text{CH}_3\text{COOH} (\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{CO}_2 (\text{g})$	$+$	$\text{CH}_3\text{COO}^- (\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O} (\text{l})$
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)								
		$n(\text{HCO}_3^- (\text{aq}))$		$n(\text{CH}_3\text{COOH} (\text{aq}))$		$n(\text{CO}_2 (\text{g}))$		$n(\text{CH}_3\text{COO}^- (\text{aq}))$		$n(\text{H}_2\text{O} (\text{l}))$
État initial	$x = 0$	$n_i(\text{HCO}_3^- (\text{aq})) = \frac{m}{M}$		$n_i(\text{CH}_3\text{COOH} (\text{aq})) = \frac{m}{CV}$		0		0		0
État intermédiaire	x	$\frac{m}{M} - x$		$CV - x$		x		x		x
État final	x_f	$\frac{m}{M} - x_f$		$CV - x_f$		x_f		x_f		x_f

7. À l'état final, quel est le réactif limitant ? Que peut-on en déduire en la quantité de dioxyde de carbone formée et celle d'acide éthanoïque initiale ?

Solution: Le réactif limitant est l'acide puisqu'il disparaît totalement à la fin de la réaction.

8. Calculer la masse d'acide éthanoïque présente initialement. Δ Le manomètre relève la pression totale à l'intérieur du récipient. Pour connaître la pression dû au dioxyde de carbone uniquement, on utilisera la variation de pression dans notre calcul et non la pression totale. Δ Le volume de gaz contenu dans l'erenmeyer est ici $V_{gaz} = 315 \text{ mL}$.

Solution: Calculons l'avancement final. On relève $\Delta P = 1,65 \times 10^4 \text{ Pa}$. Or, d'après la loi des gaz parfait,

$$PV = nRT \iff n = \frac{PV}{RT} \quad (7)$$

On peut donc déterminer l'avancement final selon

$$x_f = \frac{\Delta PV}{RT} = \frac{1,65 \times 10^4 \text{ Pa} \times 315 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 295,15 \text{ K}} = 2,12 \times 10^{-3} \text{ mol} \quad (8)$$

On suppose que la réaction est totale. On a alors

$$n_i(\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)}) = x_{max} = x_f = 2,12 \times 10^{-3} \text{ mol} \quad (9)$$

3 Détermination du degré du vinaigre et conclusion

9. En déduire le degré du vinaigre.

Solution:

$$t = \frac{m_{\text{acide éthanoïque}}}{m_{\text{solution}}} = \frac{n \times M}{\rho \times V} = \frac{2,12 \times 10^{-3} \text{ mol} \times (2 \times 12,0 + 4 \times 1,0 + 2 \times 16,0) \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{1,004 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 5,0 \text{ mL}} = 2,5\% \quad (10)$$

10. Déterminer l'incertitude liée à cette mesure. Pour cela, il faut prendre en compte l'incertitude-type liée aux mesures de la pression, du volume de gaz dans la fiole, de la masse volumique et du volume d'acide éthanoïque prélevé. L'incertitude-type sur le volume de gaz est $u(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{3}}$ avec $\Delta V = 10 \text{ mL}$. On ne prendra pas en compte l'incertitude-type liée à la température.

Solution: On a

$$\begin{aligned} \frac{u(t)}{t} &= \sqrt{\left(\frac{u(n)}{n}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho)}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{u(P)}{P}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{firole})}{V_{firole}}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho)}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2\% \times 1,65 \times 10^4 \text{ Pa}}{1,65 \times 10^4 \text{ Pa}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{10 \text{ mL}}{\sqrt{3}}}{315 \text{ mL}}\right)^2 + \left(\frac{0,001 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}}{1,004 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}}\right)^2 + \left(\frac{0,015}{\sqrt{3}}\right)^2} \\ &\approx 2,7\% \end{aligned}$$

11. Comparer par rapport à la valeur donnée par le fabricant. Conclure, à l'aide du z-score, sur la méthodologie employée.

Solution:

$$z = \frac{|t_{th} - t_{exp}|}{u(t)} = \frac{|4,0 - 2,5|}{2,5 \times 2,7\%} \approx 22 \quad (11)$$

$z > 2$ donc la valeur mesurée n'est pas compatible avec la donnée du fabricant.

On peut s'interroger sur la méthode employée : les pertes de gaz lors des premières secondes de la réaction est cruciale. En effet, la quantité de gaz perdue ne permet pas de mesurer avec précision la quantité de matière en CO_2 . Il faudrait trouver un moyen de verser le vinaigre dans l'erenmeyer avec le bouchon déjà en place. De plus, la pression totale est peut-être faussée par des pertes au niveau des joints entre les tuyaux. Enfin, dans le calcul de l'incertitude-type, on ne prend pas en compte ces premières secondes, ce qui n'est pas correct.

Cette méthode n'est donc pas recommandée pour mesurer le degré du vinaigre.