

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

Dosage conductimétrique de l'acide éthanoïque d'un vinaigre blanc

<input checked="" type="checkbox"/> Objectifs	Classe
<input type="checkbox"/> Titrage avec suivi conductimétrique. <input type="checkbox"/> Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse. <input type="checkbox"/> <i>Mettre en œuvre le suivi conductimétrique d'un titrage.</i>	Terminale Spé
	Durée
	2 h

Sur la paillasse

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pipettes jaugées de 5,0 mL, 10,0 mL et 20,0 mL ; ▪ Poire à pipeter ; ▪ Une pipette en plastique ; ▪ Une fiole jaugée de 100,0 mL ; ▪ 2 béchers de 50 mL ; ▪ 1 bécher de 200 mL ; ▪ Une burette graduée de 25 mL ; | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Une bouteille de vinaigre à 4° ; ▪ Un solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; ▪ Un conductimètre ; ▪ Un agitateur magnétique et son turbulent ; ▪ Pissette d'eau distillée, gants et lunettes ; ▪ Un ordinateur avec le logiciel <i>Regressi</i>. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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 fabricant¹.

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 à la concentration $C_0 = 0,675 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. ▪ Le fabricant indique sur l'étiquette de la bou- | <p>teille le degré d'acidité du vinaigre. Le degré d'acidité d'un vinaigre blanc du commerce représente le pourcentage massique d'acide éthanoïque contenu dans 100 g de vinaigre.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Document 2: Données diverses

- Masse molaire moléculaire de l'acide acétique : $M = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Densité du vinaigre : $d = 1,01$.
- 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 de la soude : $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} / \text{HO}^-_{(\text{aq})}$
- Conductivités molaires ioniques : $\lambda_{\text{OH}^-} = 19,8 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 4,1 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, $\lambda_{\text{Na}^+} = 5,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$.

1 Protocole expérimental

1. À l'aide des documents mis à votre disposition et de vos connaissances, proposer un protocole pour doser, par conductimétrie, l'acide éthanoïque présent dans $V_A = 20 \text{ mL}$ de vinaigre dilué 10 fois. On notera $C_{1\text{exp}}$ la concentration de l'acide éthanoïque.

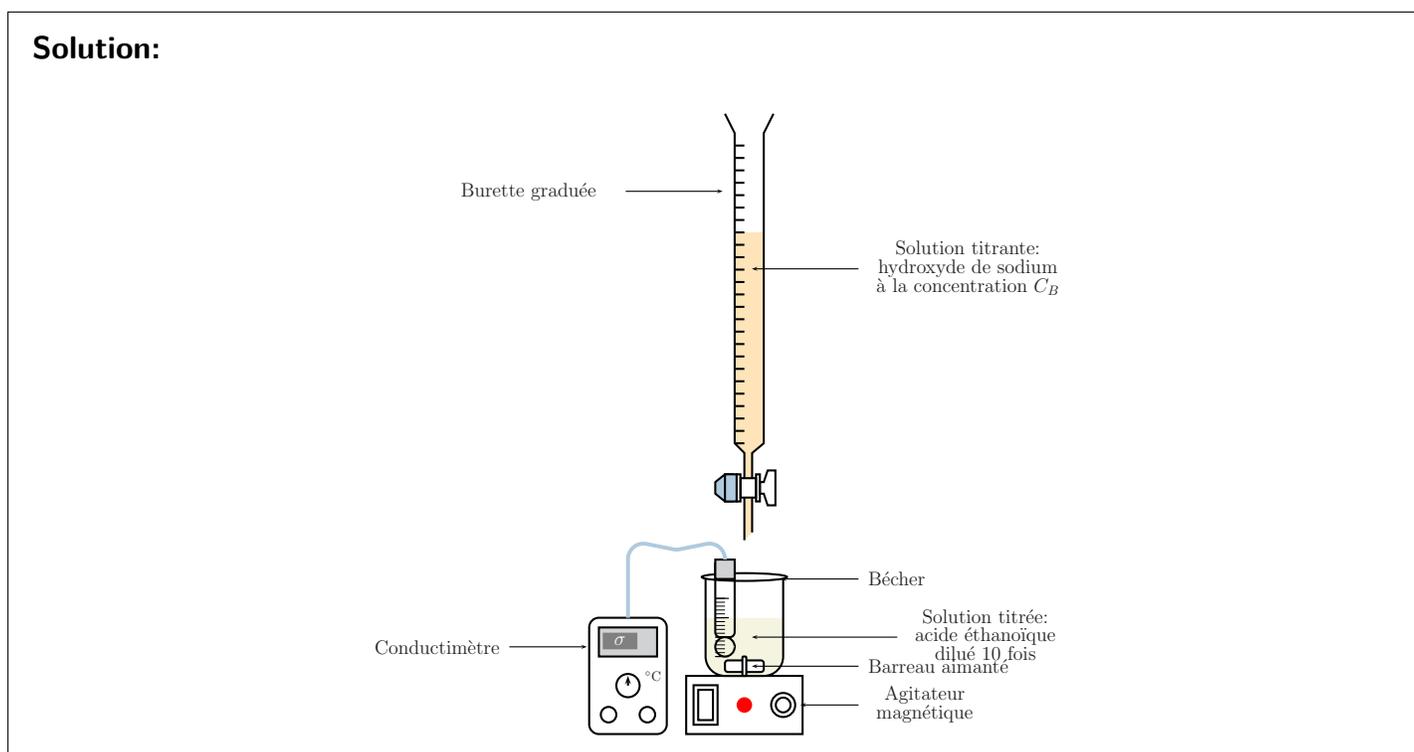
1. Travail basé sur les documents de <https://dlatreyte.github.io>

Solution: On effectue un dosage par titrage de l'acide éthanóïque par l'hydroxyde de sodium :

- On prélève un volume précis de vinaigre qu'on place dans un bécher monté sur agitation ;
- On remplit une burette à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium.
- On place la sonde d'un conductimètre dans le bécher ;
- Pour chaque millilitre d'hydroxyde de sodium versé, on mesure la conductivité du milieu réactionnel.
- L'équivalence sera mesurée à l'intersection des droites modélisant les deux parties de la courbe $\sigma = f(V)$.

2. Schématiser le montage expérimental.

Solution:



👋 Appel 1

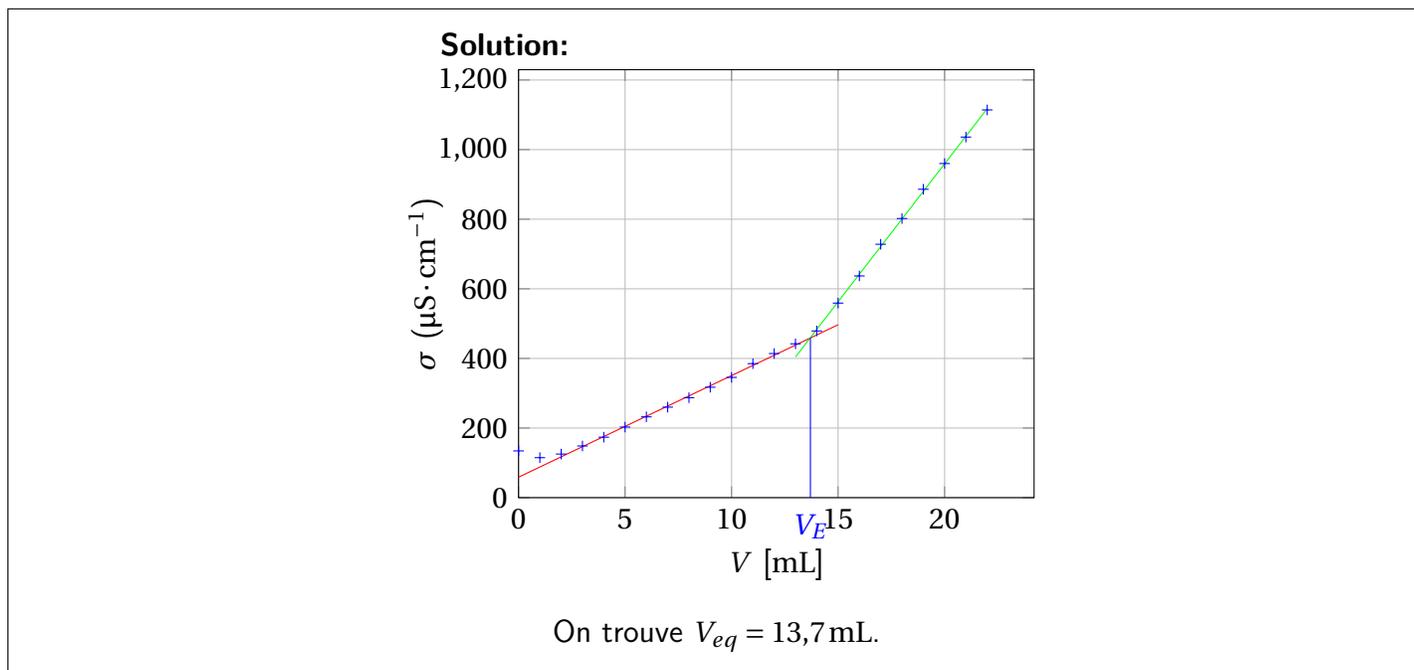
Appeler le professeur pour lui présenter le protocole et le schéma expérimental.

2 Mise en œuvre du protocole expérimental

3. Mettre en œuvre le protocole proposé. On fera attention aux points suivants :

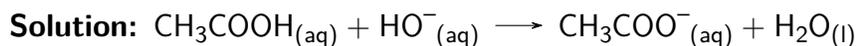
- Dans un bécher de 200 mL, introduire avec précision $V_3 = 20,0\text{ mL}$ de solution de vinaigre diluée 10 fois (solution à préparer).
- Ajouter dans ce même bécher un volume de 250 mL d'eau distillée.
- Rincer la burette à l'eau distillée puis avec la solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Remplir la burette avec la solution d'hydroxyde de sodium.
- Vérifier l'absence de bulle d'air dans le bas de la burette et ajuster au zéro.

- Essuyer l'électrode à l'aide de papier absorbant et la plonger dans la solution.
- Mettre en marche l'agitateur magnétique afin que l'agitation soit adaptée à la situation. Attention le barreau aimanté ne doit pas toucher l'électrode.
- Lancer le logiciel « Regressi ».
- On verse millilitre par millilitre la solution de soude dans le bécher jusqu'à un volume de 22 mL. On mesure pour chaque ajout la conductivité de la solution.
- Exploiter la courbe obtenue.

**Appel 2**Appeler le professeur pour la lecture de V_{eq} .

3 Résultats

4. Écrire l'équation de la réaction support du dosage.



5. Pourquoi les ions sodium $\text{Na}^+_{(aq)}$ de la soude n'apparaissent pas dans l'équation bilan de la réaction ?

Solution: Ces ions sont des ions spectateurs : présents en solution, ils ne réagissent pas.

6. Quelles propriétés doit présenter une réaction chimique utilisée pour réaliser un titrage ?

Solution: Une réaction chimique utilisée pour réaliser un titrage doit :

- être rapide ;
- être unique dans le milieu réactionnel (c'est la seule qui doit consommer le titré) ;
- doit conduire à des transformations chimiques totales.

7. Pourquoi la conductivité de la solution est-elle très petite au début du titrage ?

Solution: Nous allons voir dans quelques semaines que l'acide acétique réagit très peu avec l'eau. Sa solubilisation dans l'eau, d'équation $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}^- \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ conduit donc à la formation de très peu d'ions acétate et oxonium. La conductivité de cette solution est donc très petite.

8. Pourquoi la conductivité de la solution augmente-t-elle dès que l'on introduit un peu de soude dans la solution ?

Solution: Lorsqu'on introduit un peu de soude, les ions hydroxyde réagissent avec l'acide éthanoïque, conduisant à la formation d'ions éthanoate. Ceux-ci sont responsables du gain de conductivité du milieu réactionnel.

9. Donner, de façon qualitative, la composition du bécher : avant l'équivalence ; à l'équivalence ; et après l'équivalence.

Solution: Dès l'introduction de soude (réactif alors limitant), il y a, dans la solution, formation d'ions acétate et apparition d'ions sodium. La solution est donc plus conductrice.

10. En déduire les expressions des conductivités σ de la solution en fonction des concentrations molaires des différentes entités chimique :

Solution:

- Avant l'équivalence : $\sigma_{\text{av}} = \lambda_{\text{Na}^+}[\text{Na}^+] + \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$
- À l'équivalence : $\sigma_{\text{E}} = \lambda_{\text{Na}^+}[\text{Na}^+] + \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$
- Après l'équivalence : $\sigma_{\text{ap}} = \lambda_{\text{Na}^+}[\text{Na}^+] + \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}[\text{CH}_3\text{CO}_2^-] + \lambda_{\text{HO}^-}[\text{HO}^-]$

11. Justifier l'allure de la courbe $\sigma = f(V_B)$.

Solution:

- Le volume de la solution est : $V_{\text{total}} = V_A + V_{\text{eau}} + V_B$. Ce volume varie donc au fur et à mesure que l'on ajoute de la soude (V_B). Cependant, si on relit plus attentivement le protocole, on remarque que $V_{\text{eau}} + V_A \gg V_B$, donc $V_{\text{total}} \approx V_{\text{eau}} + V_A$. Le volume de la solution reste constant pendant tout le titrage.
- Avant l'équivalence : $\sigma_{\text{av}} = \lambda_{\text{Na}^+}[\text{Na}^+] + \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$. Dans cette phase du titrage, les quantités de matière de Na^+ et de CH_3CO_2^- augmentent ; la conductivité σ_{av} augmente donc aussi.
- Après l'équivalence : $\sigma_{\text{ap}} = \lambda_{\text{Na}^+}[\text{Na}^+] + \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}[\text{CH}_3\text{CO}_2^-] + \lambda_{\text{OH}^-}[\text{OH}^-]$. Dans cette phase, les quantités de matières de Na^+ et OH^- augmentent et la quantité de matière de CH_3CO_2^- reste constante ; la conductivité σ_{ap} augmente donc aussi.
- De plus, comme $\lambda_{\text{OH}^-} \gg \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}$, l'augmentation de σ_{ap} se fait avec une pente plus importante que l'augmentation de σ_{av} .

12. Déterminer la concentration d'acide éthanóïque dans le vinaigre dilué $C_{1\text{exp}}$ puis $C_{0\text{exp}}$ la concentration du vinaigre.

Solution:

- À la question précédente, on a constaté un comportement différent pour la conductivité, avant et après l'équivalence. Cette dernière se trouve à l'intersection des deux droites qui modélisent ces comportements.
- Si on trace les deux droites, on obtient $V_{BE} = 13,7 \text{ mL}$.
- Comme l'équivalence est le point du titrage où on change de réactif limitant, $x_E = C_B V_{BE}$ et $x_E = C_A V_A$, donc $C_B V_{BE} = C_A V_A \Leftrightarrow C_A = C_B \frac{V_{BE}}{V_A}$. A.N. $C_A = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times \frac{13,7 \text{ mL}}{20,0 \text{ mL}} = 6,85 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Comme le vinaigre a été dilué 10 fois, la concentration en acide acétique dans le vinaigre vaut $6,85 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ou $6,85 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times (2 \times 12,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} + 4 \times 1,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} + 2 \times 16,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}) = 41 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

4 Questions supplémentaires

13. Déterminer alors le degré d'acidité du vinaigre dosé en calculant le pourcentage masse d'acide éthanóïque présent dans 100 g de vinaigre.

Solution:

$$t = \frac{C \times M}{d \times \rho_0} = \frac{6,85 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 60,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{1000 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}} = 4,11\% \quad (1)$$

Document 3: Information concernant le calcul d'incertitude lors d'un dosage

Afin de simplifier la démarche :

- on ne tient pas compte ici des incertitudes liées à la préparation de la solution diluée $u(C_{0\text{diluée}}) = 0$.
- L'incertitude type sur le degré d'acidité d est donnée par la relation :

$$\frac{u(d)}{d} = \sqrt{\left(\frac{u(V_1)}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{u(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{eq})}{V_{eq}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{u(V_f)}{V_f}\right)^2} \quad (2)$$

avec

- V_1 le volume de la solution de vinaigre dilué et dosé,
- C_B la concentration de soude,
- V_{eq} le volume de la soude lu à la burette,
- V_A le volume de vinaigre non dilué prélevé pour la dilution,
- V_f le volume de la fiole utilisée pour la dilution.
- V_1 est lié à la pipette jaugée : $u(V_1) = \frac{\text{tolérance}}{\sqrt{3}}$.
- On considérera que $\frac{u(C_B)}{C_B} = 5\%$.
- On considérera que $u(V_{eq}) = 0,2\text{ mL}$
- V_A est lié à la pipette jaugée : $u(V_A) = \frac{\text{tolérance}}{\sqrt{3}}$.
- V_f est lié à la fiole jaugée : $u(V_f) = \frac{\text{tolérance}}{\sqrt{3}}$.

14. En utilisant les valeurs d'incertitude portées sur la verrerie, calculer l'incertitude sur le degré d'acidité du vinaigre.

Solution:

$$\begin{aligned} \frac{u(d)}{d} &= \sqrt{\left(\frac{u(V_3)}{V_3}\right)^2 + \left(\frac{u(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{eq})}{V_{eq}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{u(V_f)}{V_f}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{\frac{0,03\text{ mL}}{\sqrt{3}}}{20,0\text{ mL}}\right)^2 + \left(\frac{5\% \times 1 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}\right)^2 + \left(\frac{0,2\text{ mL}}{13,7\text{ mL}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{0,02\text{ mL}}{\sqrt{3}}}{10,0\text{ mL}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{0,08\text{ mL}}{\sqrt{3}}}{100,0\text{ mL}}\right)^2} \\ &= 0,052 \end{aligned}$$

donc $u(d) = d \times \frac{u(d)}{d} = 4,11 \times 0,052 \approx 0,21$.

L'incertitude-type est de 0,21 degrés d'acide acétique.

15. Votre résultat est-il en accord avec l'indication de l'étiquette ? Utiliser le z-score pour comparer votre valeur.

Solution:

$$z = \frac{|d_{th} - d_{exp}|}{u(d)} = \frac{|4,00 - 4,11|}{0,21} = 0,52 \quad (3)$$

Le z-score est inférieur à 2 ($z < 2$) donc la mesure est compatible.