

Rebecca Guélin

Objectif Déterminer la composition du vinaigre et étudier sa qualité de détartrant.

1^{ère} STL **Constitution et transformation de la matière**

Notions et contenus Acides et Bases, pKa, domaines de prédominance
Concentration, densité, dilution
Schéma de Lewis
Électronégativité, liaison covalente polarisée,
lien structure / propriétés physiques
Fonction chimique
Concentration, densité, dilution, quantité de matière

Mesures et incertitudes

Notions et contenus Sources d'erreur
Expression du résultat
Valeur de référence

Synthèses chimiques et analyses physico-chimiques

Notions et contenus Hydrogène labile
Dosage direct par titrage
Fiches données sécurité

Activité expérimentale Identification et dosage par changement de couleur de l'acide contenu dans le vinaigre

Compétences mobilisées Restitution de connaissances **RCO**
S'approprier **APP**
Analyser / Raisonner **ANA/RAI**
Réaliser **REA**
Valider **VAL**
Communiquer **COM**

Rebecca Guelin

Depuis l'Antiquité, les Hommes utilisent le vinaigre pour ses multiples propriétés : conserver, soigner, désinfecter, digérer les substances grasses... En cosmétique, par ses propriétés astringentes, il servait à nettoyer et tonifier la peau...

Aujourd'hui, c'est l'assaisonnement par excellence pour rehausser le goût, aseptiser les huîtres crues par ses propriétés antiseptiques et antifongiques ou pour le plaisir avec quelques échalotes finement hachées! Adoucissant, il nous sert à détartrer la cafetière ou autres appareils électroménagers, à faire briller l'argent et le chrome, à laver nos vitres et toute verrerie sans laisser de traces...

D'après *Quelle est la chimie du vinaigre?*
<https://www.mediachimie.org/actualite/quelle-est-la-chimie-du-vinaigre>



IL CALVARIO DELL'ITALIA, CARICATURA POLITICA NEL N. 37, ANNO II, 28 MARZO 1850, DELLA STREGA DI GENOVA.
 (Collezione del dottor Cecilio Poggi, Lugano.)

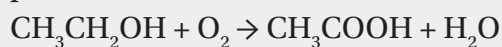
Caricature de Gabriele Castagnola montrant le calvaire de l'Italie, crucifiée et contrainte de boire la posca (Dans l'Antiquité, c'était un vin amer composé de vinaigre allongé d'eau ou de jaune d'œuf).
 ©Wikimedia.org



Piste d'étude 1 : La transformation du vin en vinaigre

Document 1 : La fermentation acétique

En 1865, Louis Pasteur décrit une espèce bactérienne nommée *Acetobacter* présente dans le « plancton aérien » – plancton constitué de l'ensemble des animaux volants microscopiques, se laissant dériver dans les masses d'air, aussi transportée par la mouche du vinaigre. Cette bactérie participe, via des enzymes oxydoréductases, au processus de conversion de l'alcool du vin (éthanol) en acide acétique (ou acide éthanoïque), dont la transformation chimique peut s'écrire :



(*acetum* = vinaigre en latin)

D'après *Quelle est la chimie du vinaigre ?*

<https://www.mediachimie.org/node/2330>



Document 2 : Comment produire du vinaigre à la maison ?

1. Choisissez un bon vin peu alcoolisé (entre 9 et 11°) et jeune.
2. Le placer dans un vinaigrier : pot en fût de chêne ou récipient opaque (cruche ou céramique).
3. Placer le vinaigrier à l'abri de la lumière mais à un endroit bien aéré entre 20 et 30 °C. Le boucher à l'aide d'un bouchon en liège ou un chiffon qui permet une bonne aération du contenu.
4. Au bout de deux à trois semaines, le liquide contaminé par l'*Acetobacter* de l'air va former une fine couche gélatineuse à sa surface. Celle-ci va s'épaissir pour donner une substance molle qui nage à la surface du vin. Elle ressemble à un morceau de foie cru. C'est la « *mère vinaigre* ».
5. Rajouter un peu du vin de nouveau.
6. Au bout de deux semaines environ votre vinaigre est prêt.



Vinaigrier © pointvert

La « *mère vinaigre* » peut vous servir pour longtemps avant de penser à la renouveler.

D'après *Quelle est la chimie du vinaigre ?*

<https://www.mediachimie.org/node/2330>



Document 3 : Degré alcoolique et degré d'acidité

- Le degré alcoolique est le pourcentage volumique d'éthanol contenu dans le vin, autrement dit ce titre correspond au volume d'éthanol (exprimé en mL) contenu dans 100 mL de vin.
- Le degré d'acidité est le pourcentage massique d'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre, autrement dit, il s'agit de la masse d'acide éthanoïque en grammes contenue dans 100 g de vinaigre.

1 **APP** Pourquoi le vin doit-il être aéré pour être transformé en vinaigre ?

2 **ANA/RAI** La densité de l'éthanol est de 0,80. Déterminer la quantité de matière d'éthanol contenue dans 10 mL de vin à 9°.

Pour mémoire

$$M(\text{H}) = 1,0 \text{ g mol}^{-1} \quad M(\text{C}) = 12 \text{ g mol}^{-1} \quad M(\text{O}) = 16 \text{ g mol}^{-1}$$

3 **ANA/RAI** Prévoir le degré d'acidité du vinaigre obtenu (dont la densité est évaluée à 1,05), après que le vin à 9° a été totalement converti en vinaigre. On considèrera que le volume du milieu réactionnel est resté constant au cours de la transformation.

Piste d'étude 2 : Identification et dosage de l'acide contenu dans le vinaigre

Document 4 : Le vinaigre blanc

Le vinaigre « blanc » vendu dans le commerce est très peu coûteux et a l'avantage de ne pas faire de taches. Industriellement, il est majoritairement obtenu par réaction entre le méthanol (CH_3OH) et le monoxyde de carbone (CO), à 180 °C sous 30 à 40 bars et en présence d'un catalyseur à base de rhodium et d'iode, selon le bilan :



La densité du vinaigre blanc est proche de 1,05.

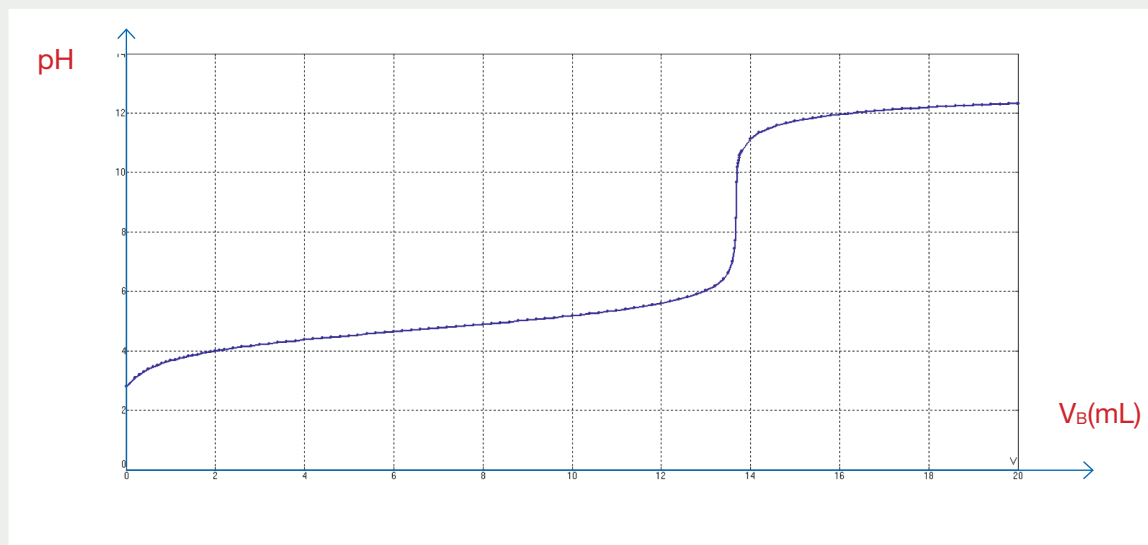


D'après *Quelle est la chimie du vinaigre ?*
<https://www.mediachimie.org/node/2330>

4 **RCO** Établir le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque sachant qu'il s'agit d'un acide carboxylique.

5 **ANA/RAI** En vous appuyant sur sa structure, montrer que le vinaigre présente des propriétés acides.

Document 5 : Courbe du dosage pH-métrique de $V_{\text{vinaigre dilué}} = 10,0 \text{ mL}$ de vinaigre blanc dilué au dixième par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0,1009 \text{ mol L}^{-1}$



6 ANA/RAI Écrire la réaction support du dosage correspondant à la courbe du document 5.

7 ANA/RAI Le pKa du couple $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} / \text{CH}_3\text{CO}_2^-$ est 4,75. En vous appuyant sur la courbe du dosage pH-métrique du vinaigre blanc, montrer que l'acide contenu dans le vinaigre est bien de l'acide éthanoïque.

8 ANA/RAI Déterminer la concentration en acide éthanoïque dans le vinaigre blanc.

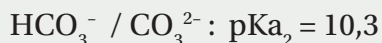
9 VAL L'incertitude-type pour ce dosage est évaluée à $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Écrire le résultat de la mesure avec un nombre adapté de chiffres significatifs.

10 ANA/RAI Déterminer le degré d'acidité du vinaigre dosé.

Piste d'étude 3 : L'utilisation du vinaigre comme produit ménager

Document 6 : Le calcaire

Le calcaire, appelé aussi tartre est constitué de carbonate de calcium CaCO_3 . Il s'agit d'un solide à caractère basique, capable de fixer tour à tour deux ions H^+ :



<https://www.mediachimie.org/ressource/l'eau-ses-proprietes-ses-ressources-sa-purification>

11 RCO Les numéros atomiques des atomes d'hydrogène, carbone et oxygène sont respectivement 1, 6 et 8. Établir les schémas de Lewis des ions carbonate et hydrogénocarbonate.

12 ANA/RAI En vous appuyant sur leur structure, montrer le caractère basique de l'ion carbonate et le caractère amphotère de l'ion hydrogénocarbonate.

.....

.....

13 APP Déterminer les domaines de prédominance des espèces CO_3^{2-} , HCO_3^- et CO_2 , H_2O .

.....

14 ANA/RAI Interpréter l'apparition de la mousse observée lorsque l'on met en présence du vinaigre et du carbonate de calcium.

.....

.....

15 ANA/RAI Écrire la réaction de la transformation correspondante.

.....

16 ANA/RAI Expliquer pourquoi le vinaigre blanc peut être utilisé pour détartrer efficacement.

.....

Certains mélanges ne font pas bon ménage!

Document 7 : Eau de Javel®

Découverte en 1789, l'eau de Javel® révolutionna les techniques de blanchiment du linge, mais surtout l'hygiène par ses propriétés bactéricides. C'est une solution basique contenant l'ion hypochlorite, dont le pH varie généralement entre 11,5 et 12,5.

Lorsque l'eau de Javel® est mise en présence d'une solution acide, du dichlore se forme selon la réaction : $\text{HClO} + \text{H}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

D'après *Produits du jour de la société chimique de France*

Document 8 : Extrait de la fiche donnée de sécurité du dichlore

	SOL	FICHE DE DONNEES DE SECURITE
		Chlore

Danger



<https://www.centreantipoisons.be/produits-m-nagers/eau-de-javel>

- 17** RCO Établir les schémas de Lewis de l'acide hypochloreux HClO et de l'ion hypochlorite ClO⁻ et montrer le caractère acide de HClO.
- 18** ANA/RAI Le pKa du couple HClO / ClO⁻ est égal 7,5. Dessiner le diagramme de prédominance des espèces HClO et ClO⁻. En déduire pourquoi il est formellement déconseillé d'utiliser l'eau de Javel en présence d'une solution acide comme un détartrant, un nettoyant pour sanitaire, un antirouille ou encore de l'urine.

Pour aller plus loin

<http://cap.chru-lille.fr/~cap/GP/magazines/99187.html>

En vous appuyant sur l'article du CHRU de Lille et les Documents 7 et 8, rédiger une notice destinée aux techniciens chargés de nettoyer un laboratoire. Celle-ci comportera les explications argumentées pour nettoyer et désinfecter sans danger en évitant toute caricature sexiste.

.....

.....

.....

.....

.....

Activité expérimentale

DOSAGE PAR CHANGEMENT DE COULEUR DE L'ACIDE ÉTHANOÏQUE
CONTENU DANS LE VINAIGRE

- Proposer un protocole expérimental pour préparer 100,0 mL une solution S' de vinaigre commercial dilué au vingtième.
Appeler le professeur pour lui présenter le protocole de dilution
- Mettre en œuvre le protocole de dilution.
- En vous appuyant sur les documents 5 et 9 et le matériel disponible proposer un protocole expérimental pour effectuer le dosage par changement de couleur de l'acide éthanoïque contenu dans la solution S'.
Appeler le professeur pour lui présenter le protocole de dosage
- Réaliser le montage et faire le dosage.
- Écrire la réaction support du dosage.
- Déterminer la concentration C'_A de l'acide contenu dans la solution de vinaigre dilué S'.
- En déduire la valeur de la concentration C_A de l'acide éthanoïque dans le vinaigre commercial.
- Identifier les principales sources d'erreur lors de la mesure de la concentration C_A .
- L'incertitude-type pour ce dosage est évaluée à $0,006 \text{ mol L}^{-1}$. Écrire le résultat de la mesure avec un nombre adapté de chiffres significatifs.
- La mesure réalisée est-elle compatible avec l'indication qui figure sur l'étiquette ?

Document 9 : Zones de virage de quelques indicateurs colorés

Indicateur coloré	Forme acide	pKa	Forme basique
Hélianthine	rouge	3,7	jaune
Rouge de méthyle	rouge	5,2	jaune
Bleu de bromothymol	jaune	6,8	bleu
Rouge de crésol	jaune	8	rouge
Phénolphtaléine	incolore	9,1	rose

A. Activités documentaires

1. D'après le document 1, l'oxydation l'éthanol se fait en présence de dioxygène. Par ailleurs, l'Acetobacter, présente dans l'air intervient dans le processus de cette oxydation.

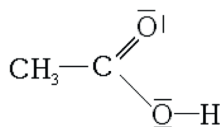
2. Le vin ayant un pourcentage volumique en éthanol de 9 %, le volume V d'éthanol contenu dans 10 mL de vin est donc égal à 0,9 mL

$$n = \frac{d \times \rho_{\text{eau}} \times V}{M} = \frac{0,80 \times 1,0 \times 0,9}{46} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

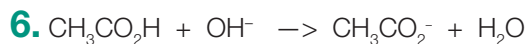
3. Si la fermentation acétique de 100 mL de vin est terminée, la totalité de l'éthanol est transformée en acide éthanoïque; d'après la réaction d'oxydation fournie dans le document 1, il y a donc $1,6 \cdot 10^{-1}$ mol d'acide éthanoïque formé dans 100 mL de vinaigre (si on néglige la perte de volume par évaporation).

La densité du vinaigre étant proche de 1,05, il y a donc $1,6 \cdot 10^{-1}$ mol d'acide éthanoïque dans 105 g de vinaigre, soit un pourcentage massique de 8,94 %.

4.



5. L'atome d'oxygène étant beaucoup plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, la liaison O-H est polaire. L'atome d'hydrogène présente un caractère labile, d'où le caractère acide de l'acide éthanoïque..



7. D'après la courbe, $V_E = 13,75$ mL. À la demi-équivalence, $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$ et $\text{pH} = \text{pKa}$, donc $\text{pKa} = 4,75$: l'acide dosé est bien l'acide éthanoïque

8. La concentration en acide éthanoïque dans le vinaigre blanc est

$$C_{\text{AH}} = 10 \times C_{\text{vinaigre dilué}} = 10 \times \frac{C_b \times V_E}{V_{\text{vinaigre dilué}}}$$

Soit

$$C_{\text{AH}} = 10 \times \frac{0,1009 \times 13,75}{10,0} = 1,387 \text{ mol L}^{-1}$$

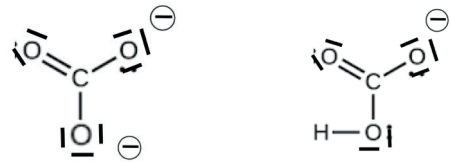
9. La concentration en acide éthanoïque est de $1,39 \text{ mol L}^{-1}$ associée à une incertitude-type de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

10. La densité du vinaigre étant 1,05, il y a donc $0,139$ moles d'acide éthanoïque dans 105 g de vinaigre, ce qui correspond, pour 100 g de vinaigre, à une masse

$$m = \frac{0,139 \times 100}{105} \times 60 = 7,96 \text{ g}$$

d'acide éthanoïque, soit un degré d'acidité proche de 8°.

11.

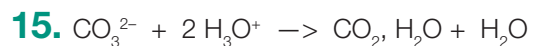


12. L'ion carbonate présente des sites nucléophiles (ici, les atomes d'oxygène, chargés négativement), susceptibles de capter un proton, d'où le caractère basique de cet ion. On dit qu'il s'agit d'une dibase parce que cet ion peut capter deux protons. L'ion hydrogénocarbonate présente un site nucléophile (l'atome d'oxygène chargé négativement) et un hydrogène labile, relié à un atome d'oxygène.

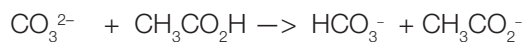
13.



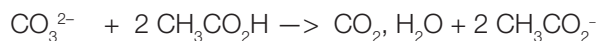
14. L'apparition de la mousse est liée à la formation de dioxyde de carbone.



16. Le tartre contient des ions carbonate qui réagissent avec l'acide éthanoïque selon la réaction :



Si l'acide est en excès,



17. L'atome d'oxygène est beaucoup plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, la liaison O-H est polaire. L'atome d'hydrogène est labile, d'où le caractère acide de l'acide hypochloreux.



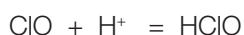
18.



En milieu acide, HClO est prédominant, il sera donc susceptible de former du dichlore selon la réaction du document 7. Le dichlore est particulièrement nocif, d'après le document 8.

Pour aller plus loin

L'eau de Javel[®] contient des ions hypochlorite qui conduisent à la formation de dichlore lorsqu'ils sont mélangés à un acide :



Le dichlore peut provoquer l'irritation des muqueuses et des yeux, mais aussi de graves problèmes respiratoires qui peuvent être fatals. Il est donc **formellement interdit** de mettre en contact de l'eau de Javel et une solution acide comme les détartrants usuels. Le vinaigre est un bon détartrant, mais aussi un bon antiseptique et un bon nettoyant : dans la mesure du possible, **utiliser le vinaigre blanc pour détartrer, nettoyer et désinfecter!**

En cas d'accident, aérer, évacuer les lieux et appeler le centre antipoison pour demander conseil après avoir allongé les personnes les plus touchées.

B. Activité expérimentale

1. Le facteur de dilution étant égal à 20, le volume de solution de vinaigre blanc commercial à prélever est

$$V_{\text{vinaigre}} = \frac{100}{20} = 5,0 \text{ mL.}$$

Introduire 5,0 mL de vinaigre commercial prélevé avec une pipette jaugée de 5 mL dans une fiole jaugée de 100 mL. Ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Essuyer les gouttes d'eau restantes au-dessus du trait de jauge avec un peu de papier-filtre et homogénéiser.

2. Manipulation.

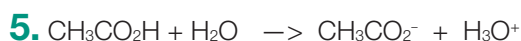
3. La solution à doser étant acide, on peut effectuer un dosage par de l'hydroxyde de sodium, une solution basique. D'après la courbe du document 5, le pH à l'équivalence est proche de 9, il faut donc choisir un indicateur coloré dont la zone de virage est proche de 9.

Le volume versé à l'équivalence dans le document 5 est proche de 13 mL pour une prise d'essai de 10,0 mL avec du vinaigre blanc dilué au dixième ; si le vinaigre est dilué au vingtième, il faut une prise d'essai de 20 mL pour obtenir un volume versé à l'équivalence proche de cette valeur avec une solution de soude à env. 0,1 mol L⁻¹.

Dans un erlenmeyer, introduire 20,0 mL de vinaigre dilué prélevé à l'aide d'une pipette jaugée de 20 mL et deux-trois gouttes de phénolphthaléine. Introduire de l'hydroxyde de sodium de concentration connue proche de 0,1 mol L⁻¹ dans une burette graduée.

Verser la soude jusqu'à ce que la coloration rose persiste quelques secondes. Relever le volume V_E de soude versé.

4. Manipulation.



6. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stoechiométriques et ont réagi totalement.

$$\text{Donc } n_A = n_B \quad \text{et} \quad C'_A \times V_A = C_B \times V_E$$

$$C'_A = \frac{C_B \times V_E}{V_A}$$

7. C_A = 20 × C'_A

8. L'importance des sources d'erreur dépend du matériel utilisé.

On peut noter :

- la concentration de la solution d'hydroxyde de sodium,
- les volumes prélevés avec les pipettes de 5 et de 20 mL (la tolérance est indiquée par le fabricant),
- le volume évalué à l'aide de la fiole jaugée (la tolérance est indiquée par le fabricant),
- l'estimation du volume versé à l'équivalence au regard du changement de couleur,
- la lecture du volume versé à l'équivalence (la tolérance est indiquée sur la burette).

9. Exemple d'écriture : la concentration en acide éthanóique contenue dans le vinaigre est C_A = 0,135 mol L⁻¹ associée à une incertitude-type de 0,006 mol L⁻¹. Ce qui signifie que 68 % des observables de C_A se situent dans l'intervalle [0,129 ; 0,141] mol L⁻¹

Remarque : L'incertitude-type donne une estimation de l'étendue des mesures. Étant donné les valeurs des incertitudes-type données pour les deux techniques de dosage, le dosage par changement de couleur est ici plus précis.

10. L'étiquette indique le pourcentage d'acide éthanóique avec un seul chiffre significatif, ce qui limite la précision de la valeur de référence.

8 % signifie qu'il y a une masse m_A = 8 g d'acide éthanóique dans 100 g de vinaigre. Ce qui équivaut à une concentration proche de

$$C = \frac{m_A}{M_A \times V} = \frac{8}{60 \times 105 \times 10^{-3}} = 1,3 \text{ mol L}^{-1}.$$

La mesure semble compatible avec les indications données sur l'étiquette.