

Lycée(s)	Général	Technologique	Professionnel	
Niveau(x)	CAP	Seconde	Première	Terminale
Enseignement(s)	Commun	De spécialité	Optionnel	
Physique-chimie				

Choix d'une méthode de dosage de l'acide citrique contenu dans un détartrant industriel

La ressource proposée vise à comparer trois techniques de dosage de la concentration de l'acide citrique dans un détartrant. Deux critères essentiels orientent cette étude comparative : la précision et la gestion des déchets. Elle est exploitable dans le cadre du module « Réaliser des analyses physicochimiques » du programme de terminale baccalauréat professionnel (module spécifique au groupement 5 et pouvant s'intégrer à la préparation à la poursuite d'études pour les groupements 3 et 4).

Mots-clés

Dosage destructif ; dosage non destructif ; titrage ; dosage par étalonnage ; pH-métrie ; courbe d'étalonnage.

Références au programme

Chimie : Comment analyser, transformer ou exploiter les matériaux dans le respect de l'environnement ?

Groupement 5 et notions complémentaires à aborder dans le cadre de la préparation à la poursuite d'étude pour les **groupements 3 et 4**

Module : Réaliser des analyses physicochimiques

Connaissances :

- Connaître le lien entre la grandeur physique mesurée et la concentration.

Capacités :

- Déterminer expérimentalement une quantité de matière par un titrage, méthode destructive de dosage (suivi par pH-métrie, par conductimétrie).
- Déterminer expérimentalement une concentration par une méthode non destructive de dosage dite par étalonnage (échelles de teinte, spectrophotométrie, colorimètre associé à un microcontrôleur, masse volumique).
- Choisir une méthode de dosage destructive ou non-destructive en fonction de la situation.

Éléments de continuité avec le programme de première professionnelle :

En sciences : lien avec le module « Caractériser quantitativement une solution aqueuse ».

En mathématiques : liens avec les modules « Statistiques à deux variables quantitatives » et « résolution graphique d'équations et d'inéquations ».

Liens avec le programme de mathématiques et les autres modules du programme de sciences de terminale professionnelle :

En sciences : liens avec les modules « Caractériser une solution acido-basique » et « Réaliser une synthèse en chimie organique ».

En mathématiques : liens avec les modules : « Fonctions exponentielles et logarithme décimal » et « Statistiques à deux variables ».

Objectifs pédagogiques

La ressource proposée vise à comparer deux techniques d'analyse adaptées à une situation donnée en adoptant un critère écologique à travers la gestion des déchets tout en préservant des exigences de précision. Elle permet par ailleurs de développer des capacités expérimentales liées aux techniques de dosage par pH-métrie et par étalonnage.

Le module transversal « **Mesures et incertitudes** » occupe une place de choix dans cette étude en particulier avec le calcul d'incertitude par une évaluation de type A. L'exemple proposé ici n'a aucune valeur prescriptive. D'autres contextes où les objectifs définis et les capacités développées sont semblables seront aussi présentés.

Structuration de l'activité

Contexte

Une entreprise produit et commercialise des détartrants industriels à base d'acide citrique. Une centaine de prélèvements sont effectués dans la production quotidienne afin de contrôler la concentration en masse en acide citrique des détartrants. Habituellement, ce contrôle s'effectue par titrage avec une solution de soude, suivi par pH-métrie, avec une réaction acide-base support du titrage.

On souhaite mettre au point une nouvelle méthode de dosage non destructive permettant une consommation réduite de substances chimiques. Dans cet objectif, une technique de dosage par étalonnage est étudiée. Pour cela, on utilise une courbe donnant la masse volumique de solutions étalons d'acide citrique en fonction de leurs concentrations en masse en acide citrique. On détermine expérimentalement la masse volumique d'un échantillon de détartrant puis on exploite l'équation de la droite d'étalonnage pour calculer la concentration en masse en acide citrique du détartrant.

Données fabricant pour le détartrant à analyser

Aspect : liquide limpide

Pourcentage massique en acide citrique : $50\% \pm 2\%$ (où ce qui suit le $\pm$ est l'incertitude-type)

Densité : $1,22 \pm 0,05$ (où ce qui suit le $\pm$ est l'incertitude-type)

Produit 100 % naturel

Problématique

Est-ce que cette technique par étalonnage peut remplacer le titrage habituel par la solution de soude ?

Mise en œuvre et résultats obtenus

Détermination de la concentration en masse du détartrant en acide citrique à partir des données du fabricant

La concentration en masse C_{m0} en acide citrique (exprimée en g/L) du détartrant est donnée par la formule :

$$C_{m0} = d \times T \times 10 \text{ où } d \text{ est la densité de la solution et } T \text{ son titre massique.}$$

La concentration en masse C_{m0} en acide citrique (exprimée en g/L) du détartrant est située dans l'intervalle [562 ; 660].

$$C_{m0} = 1,22 \times 50 \times 10 = 610 \text{ g/L}$$

$$\text{Borne inférieure} = 1,17 \times 48 \times 10 = 561,6 \text{ g/L}$$

$$\text{Borne supérieure} = 1,27 \times 52 \times 10 = 660,4 \text{ g/L}$$

Cette concentration $C_{m0} = 610 \text{ g/L}$ est considérée comme la valeur référence.

Étude de la technique de dosage par étalonnage

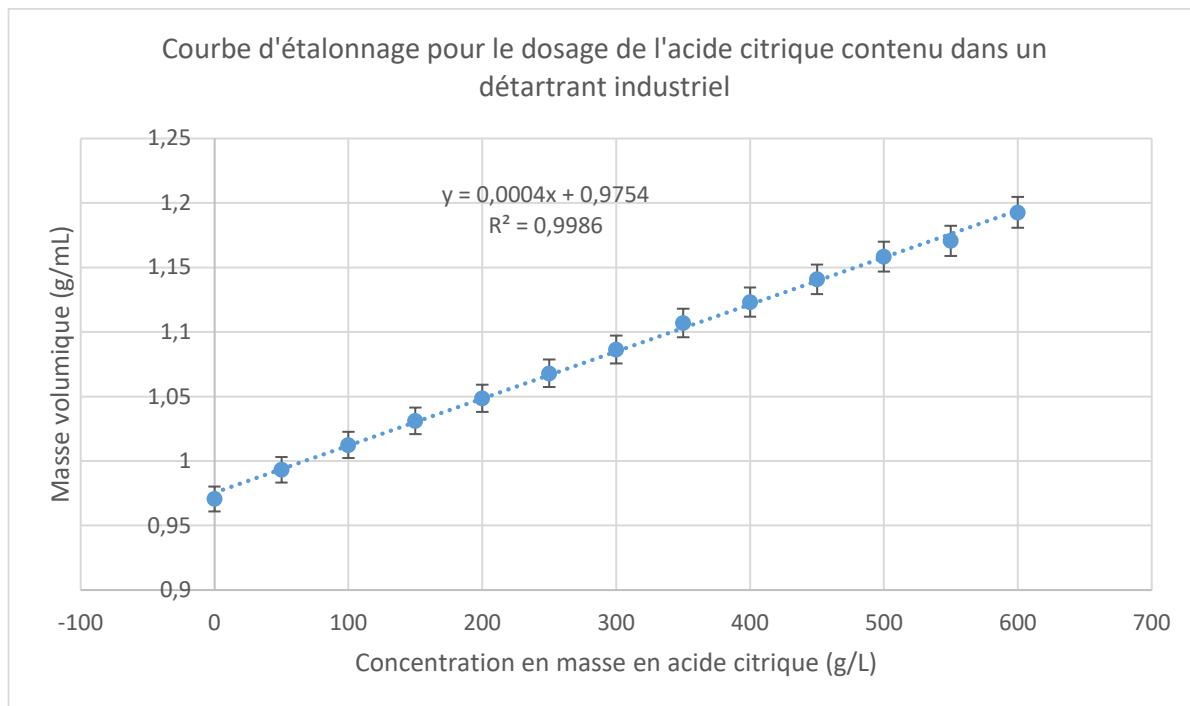
Réalisation de la courbe d'étalonnage

On pèse une masse m d'acide citrique puis on la dissout totalement dans un bécher contenant moins de 50 mL d'eau. On introduit la solution obtenue dans une fiole jaugée de volume $V = 50 \text{ mL}$ placée sur une balance, préalablement tarée, puis on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée et on lit la masse m_{sol} affichée.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

N° solution	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
m (g)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30
m_{sol} (g)	48,53	49,66	50,62	51,56	52,43	53,40	54,32	55,35	56,16	57,04	57,92	58,53	59,63
V (mL)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
C_m (g/L)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
ρ (g/mL)	0,971	0,993	1,012	1,031	1,049	1,068	1,086	1,107	1,123	1,141	1,158	1,171	1,193

À partir des résultats des précédents, une courbe d'étalonnage est obtenue.



Masse volumique en fonction de la concentration en masse en acide citrique

La droite d'ajustement a pour équation : $\rho = 4 \times 10^{-4} C_m + 0,9754$.

$$R^2 = 0,9986$$

Détermination de la concentration en masse en acide citrique du détartrant

La masse volumique du détartrant est obtenue en pesant un échantillon de 50 mL dans une fiole jaugée du même volume préalablement tarée. On obtient une masse de 59,95 g ce qui donne une masse volumique $\rho = 1,199$ g/mL et une concentration en masse de 614 g/L

Détermination de l'incertitude-type associée à la concentration en masse en acide citrique du détartrant

Pour déterminer la valeur de l'incertitude-type sur cette mesure, on privilégie le calcul de l'incertitude-type avec une évaluation de type A :

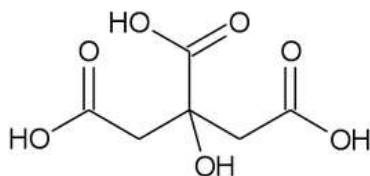
- tous les élèves affichent au tableau leur masse volumique obtenue ;
- ils calculent l'écart-type expérimental σ_{n-1} (aussi noté S_x) avec n = le nombre de mesures effectuées ;
- l'incertitude-type sur leur mesure unique est égale à l'écart-type expérimental ;
- il est également possible de déterminer la valeur de l'incertitude-type sur la moyenne des masses volumiques obtenues par les élèves :

$$u(\rho_{\text{moy}}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

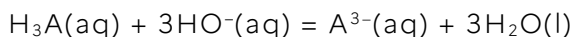
Conclusion : la valeur obtenue est comparée à la valeur référence en nombre d'incertitude-type.

Titrage par la soude

Le détartrant commercial est dilué 100 fois. Une prise d'essai de 20 mL est dosée à l'aide d'une solution de soude à $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et le dosage est suivi par pH-métrie à l'aide d'un pH-mètre. Le traitement des données est réalisé par le logiciel LatisPro. L'acide citrique est un triacide comme l'indique sa formule semi-développée :



On le notera dans la suite H_3A . La réaction support du titrage de l'acide citrique s'écrit :



Par conséquent la relation à l'équivalence du dosage s'écrit :

$$3 C_a \times V_a = C_b \times V_{\text{beq}}$$

où : C_a est la concentration en quantité de matière d'acide citrique dans la solution dosée ;

V_a est le volume de la prise d'essai (20 mL) ;

C_b est la concentration de la solution de soude ($0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) ;

V_{beq} est le volume de soude ajouté à l'équivalence.

Le volume V_{beq} est déterminé par la méthode de la dérivée première (Annexe 1) ou par la méthode des tangentes (Annexe 2)

La méthode de la dérivée première donne un volume V_{beq} unique de 17,4 mL.

La méthode des tangentes donne un volume V_{beq} oscillant entre 17,47 mL et 17,48 mL selon l'emplacement du pointeur.

On retient un volume équivalent $V_{\text{beq}} = 17,45 \pm 0,05 \text{ mL}$ (où ce qui suit le $\pm$ est l'incertitude-type).

L'estimation de la concentration en quantité de matière C de la solution diluée et de son incertitude est effectuée.

L'incertitude-type par une évaluation de type A à partir de toutes les valeurs des élèves et donc de l'écart-type expérimental pourra être déterminée. La valeur obtenue est comparée à la valeur référence en nombre d'incertitude.

Conclusion

La technique de dosage par étalonnage offre une incertitude plus raisonnable au regard de la tolérance autorisée par le fabricant. Certes, elle demeure moins précise que le titrage à la soude mais elle ne génère aucun déchet et ne consomme aucune substance chimique une fois la courbe d'étalonnage établie. Par conséquent elle peut

être retenue pour le contrôle des concentrations en masse en acide citrique des détartrants fabriqués.

Pistes d'exploitation et prolongements possible

Autres exemples d'exploitation pédagogique

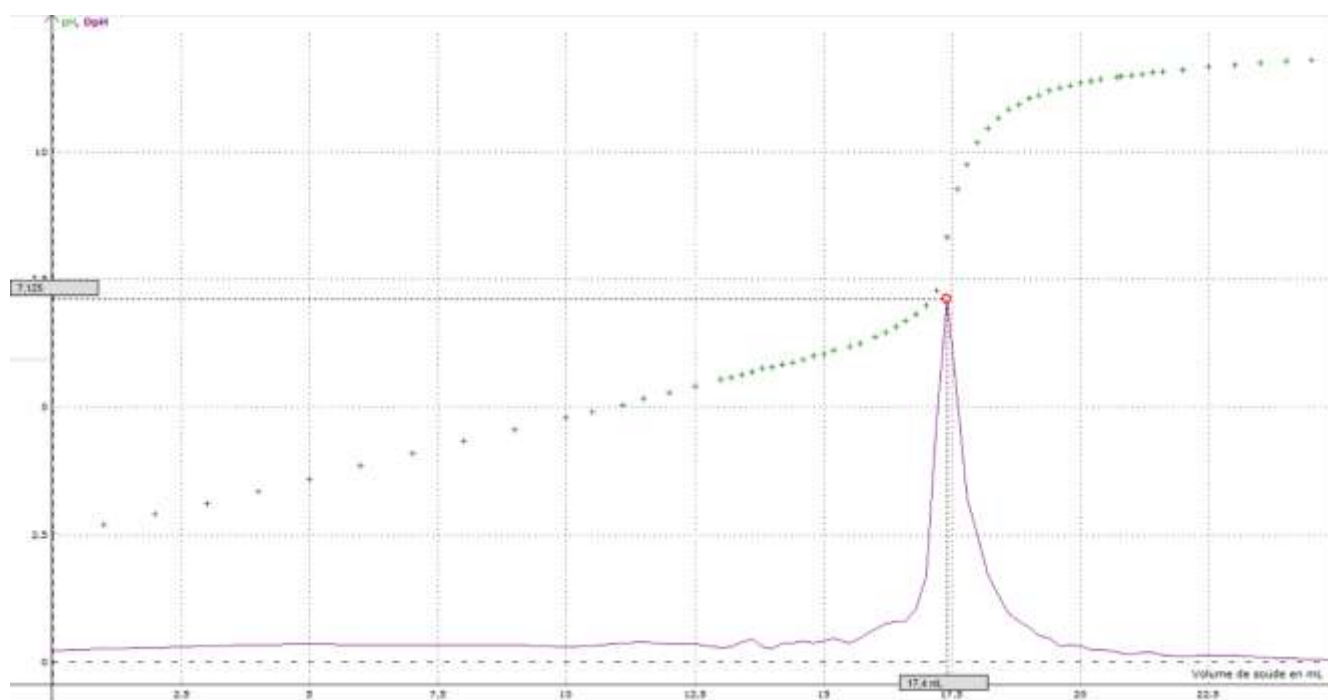
Choix d'un autre acide organique, par exemple l'acide éthanoïque d'un vinaigre, l'acide ascorbique dans un comprimé de vitamine C, l'acide lactique dans un lait ribot, etc.

Prolongement dans le cadre de la poursuite d'étude

D'autres types de dosage pourront être abordés dans le cadre des modules de préparation à la poursuite d'études par exemple le dosage en retour de l'acide ascorbique d'un jus de citron, le dosage redox de l'acide ascorbique, etc.

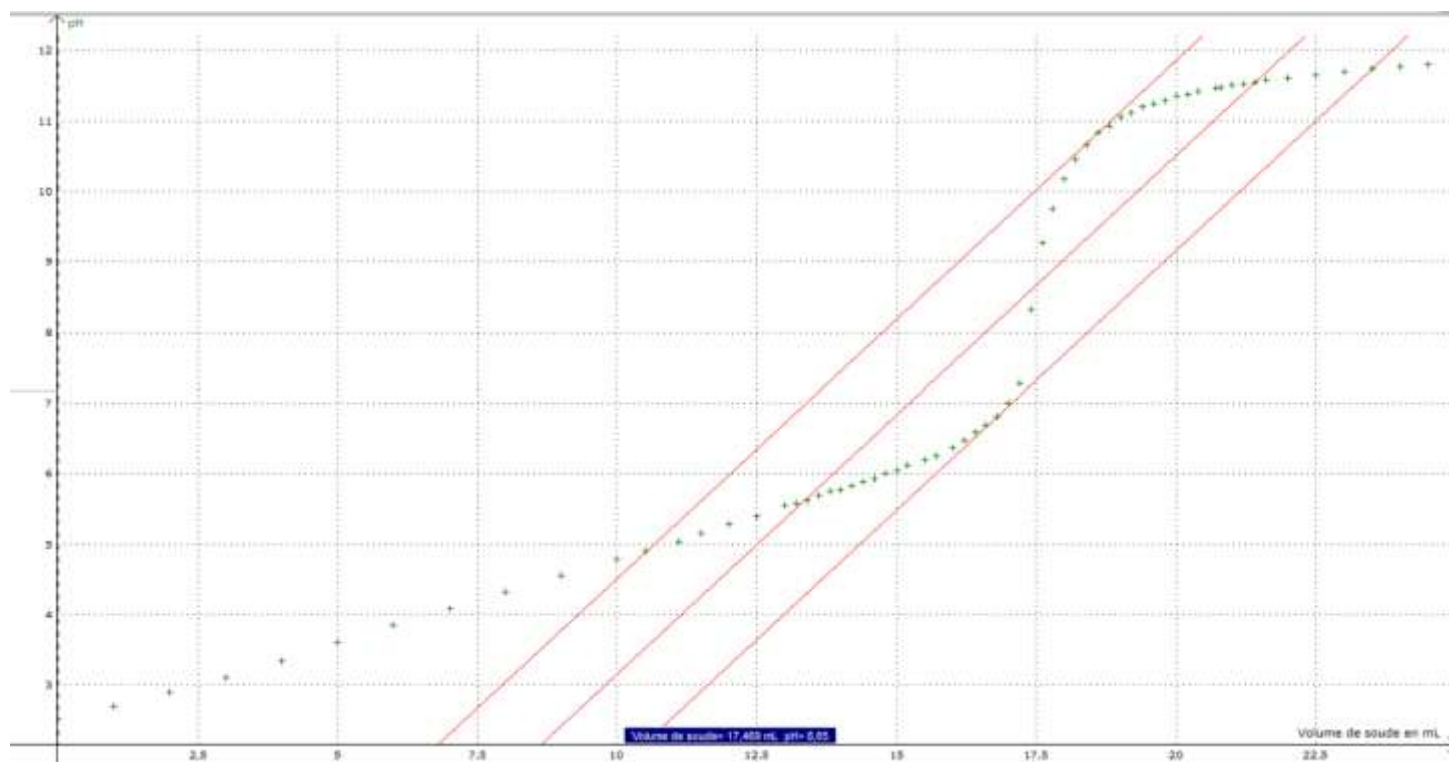
Annexes : Courbes de dosage du détartrant dilué 100 fois

Annexe 1 : détermination du volume équivalent par la méthode de la dérivée



Courbe de dosage du détartrant dilué et sa dérivée

Annexe 2 : détermination du volume équivalent par la méthode des tangentes



Courbe de dosage du détartrant dilué et ses tangentes