Contrôles de la qualité d'un lait

Bac S 2014 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Des ions lactate sont-ils présents dans un lait quel que soit son état de fraîcheur ? Justifier.

Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{C_3H_6O_3/C_3H_5O_3^-}) = 3{,}9$; pH du lait compris entre 5,2 et 6,8 (tableau du document)

D'après le document, le pH d'un lait va de 6,8 (lait frais) à 5,2 environ (lait très acide, 55 à 60 °D). Dans tous les cas, $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a = 3{,}9$.

Or, pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$, la base du couple prédomine sur l'acide.

Oui : l'ion lactate $\mathrm{C_3H_5O_3^-}$ est présent, et même prédominant devant l'acide lactique, quelle que soit la fraîcheur du lait.

MÉTHODE
Pour savoir quelle forme d'un couple domine, placer le pH sur un axe gradué de part et d'autre du $\mathrm{p}K_a$: acide à gauche, base à droite.

1.2 Écrire l'équation de la réaction support du titrage, en supposant que le seul acide présent dans le lait est l'acide lactique.

L'acide lactique $\mathrm{C_3H_6O_3}$ (espèce titrée) cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'ion hydroxyde $\mathrm{HO^-}$ (espèce titrante) :

$$\mathrm{C_3H_6O_3\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow C_3H_5O_3^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
Faire figurer $\mathrm{Na^+}$ dans l'équation : cet ion est spectateur. Une réaction de titrage est totale, elle s'écrit avec une flèche simple.

1.3 Justifier le choix de la phénolphtaléine comme indicateur de fin de réaction.

Données utiles courbe de titrage de l'acide lactique par la soude ; zones de virage : hélianthine 3,1 – 4,4 ; bleu de bromothymol 6,0 – 7,6 ; phénolphtaléine 8,0 – 10

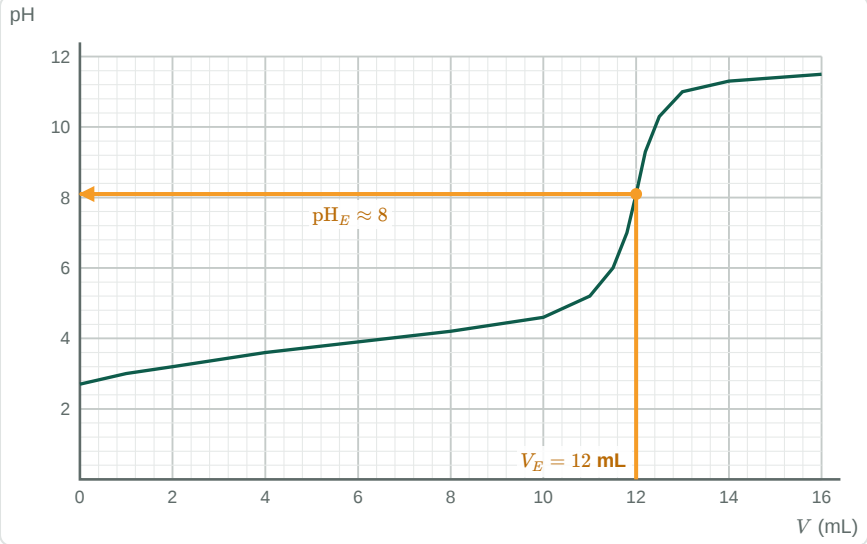
Un indicateur coloré convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

Sur la courbe fournie, le saut de pH se situe vers $V = 12$ mL et le pH à l'équivalence, lu au milieu du saut, vaut environ 8.

Cette valeur appartient à la zone de virage de la phénolphtaléine (8,0 – 10), pas à celles de l'hélianthine ni du bleu de bromothymol, qui changeraient de teinte avant l'équivalence.

$\mathrm{pH}_E \approx 8$ est dans la zone de virage 8,0 – 10 : la phénolphtaléine convient.

COMPRENDRE
Le pH à l'équivalence est supérieur à 7 car la solution contient alors l'ion lactate, qui est une base faible. C'est toujours le cas quand on titre un acide faible par une base forte.



1.3 · Courbe de titrage du sujet, avec la lecture du pH à l'équivalence

1.4 Pourquoi n'ajoute-t-on que deux gouttes de phénolphtaléine ?

La phénolphtaléine est elle-même un couple acide-base : sa forme acide (incolore) réagit avec les ions HO^- versés pour donner sa forme basique (rose).

En grande quantité, elle consommerait une part notable de la soude et le volume versé au virage serait surestimé.

Deux gouttes suffisent pour voir le changement de teinte sans fausser le volume équivalent.

1.5 Le lait dosé est-il frais ? Un raisonnement argumenté et des calculs rigoureux sont attendus.

Données utiles $V_L = 10{,}0$ mL de lait ; $C_B = 0{,}111 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 2{,}1 \pm 0{,}1$ mL ; 1 °D correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre ; lait frais si l'acidité est inférieure ou égale à 18 °D

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation (1.2) : $n(C_3H_6O_3) = n(HO^-)$, soit $C_A V_L = C_B V_E$.

Concentration en quantité de matière d'acide lactique : $C_A = \dfrac{C_B V_E}{V_L}$.

Masse molaire : $M = 3 \times 12{,}0 + 6 \times 1{,}0 + 3 \times 16{,}0 = 90{,}0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Concentration en masse : $t = C_A M = \dfrac{C_B V_E M}{V_L}$

$$t = \frac{0{,}111 \times 2{,}1 \times 90{,}0}{10{,}0} = 2{,}1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

Comme 1 °D correspond à $0{,}1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, l'acidité du lait est de 21 °D.

Avec V_E compris entre 2,0 mL et 2,2 mL, l'acidité est comprise entre 20 °D et 22 °D : elle dépasse 18 °D même en tenant compte de l'incertitude.

Acidité de 21 °D, supérieure à 18 °D : le lait n'est pas frais.

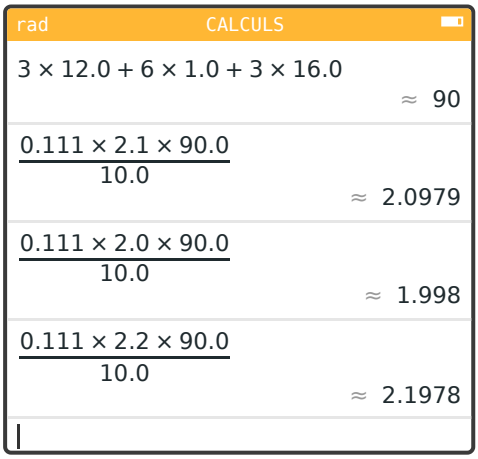
PIÈGE

Conclure sans utiliser l'incertitude. Ici la marge est faible (21 °D pour un seuil à 18 °D) : il faut vérifier que la borne basse, 20 °D, reste au-dessus du seuil.

COMPRENDRE

Le volume $V_E = 2{,}1$ mL n'a que deux chiffres significatifs : le résultat s'écrit 2,1 g·L⁻¹, pas 2,10. Les volumes peuvent rester en mL car seul leur rapport intervient.

À LA CALCULATRICE



1.6 Quel intérêt pratique y a-t-il à choisir de la soude Dornic pour mesurer l'acidité d'un lait ?

Données utiles $C_B = 0{,}111\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $M = 90{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (1.5) ; $V_L = 10{,}0\ \text{mL}$

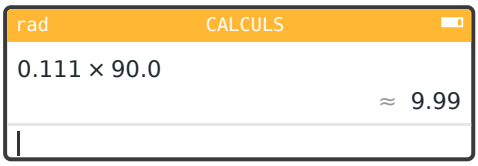
D'après 1.5, $t = \dfrac{C_B M}{V_L} \times V_E$, avec $C_B M = 0{,}111 \times 90{,}0 = 9{,}99 \approx 10\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Pour une prise de 10,0 mL de lait, t en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ a donc la même valeur que V_E en mL, et l'acidité en degrés Dornic vaut dix fois cette valeur.

Lecture directe, sans calcul : acidité (°D) $= 10 \times V_E$ (mL) ; chaque 0,1 mL de soude Dornic versé correspond à 1 °D.

MÉTHODE
Quand une concentration de réactif titrant a une valeur inhabituelle, chercher le produit ou le rapport simple qu'elle fait apparaître dans la relation à l'équivalence.

À LA CALCULATRICE



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

Les ions argent (espèce titrante) réagissent avec les ions chlorure du lait (espèce titrée) pour former un solide :

$$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$$

COMPRENDRE
Le titrage par précipitation ne figure plus au programme actuel de spécialité. Le suivi conductimétrique et la relation à l'équivalence, eux, se traitent exactement comme dans un titrage acido-basique.

2.2 Parmi les quatre représentations graphiques proposées, laquelle représente l'allure de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé ? Justifier.

Données utiles $\lambda^\circ(\text{Ag}^+) = 6{,}19$; $\lambda^\circ(\text{Cl}^-) = 7{,}63$; $\lambda^\circ(\text{NO}_3^-) = 7{,}14\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_E = 11{,}6\ \text{mL}$

Avant l'équivalence ($V < 11{,}6$ mL) : les ions Ag^+ versés sont consommés ; chaque ion Cl^- qui précipite est remplacé dans la solution par un ion NO_3^- apporté par le réactif titrant. Comme $\lambda^\circ(\text{NO}_3^-) < \lambda^\circ(\text{Cl}^-)$, avec des valeurs proches, σ diminue légèrement.

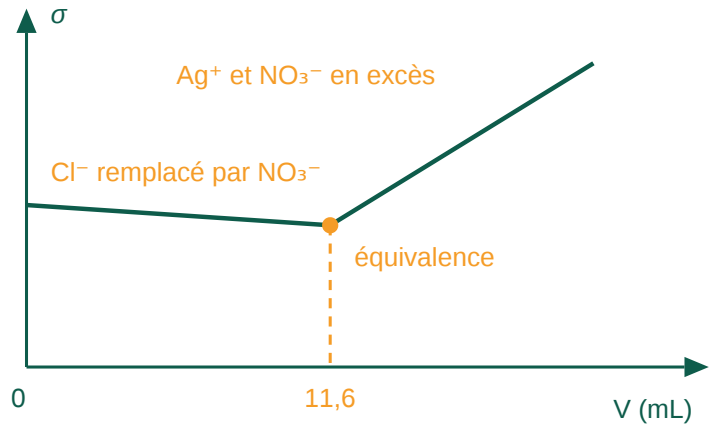
Après l'équivalence : il n'y a plus d'ions Cl^- ; les ions Ag^+ et NO_3^- versés s'accumulent, donc σ augmente nettement.

La courbe est formée de deux portions de droite : pente faiblement négative, puis pente positive à partir de 11,6 mL.

C'est la proposition 3.

PIÈGE
Oublier les ions spectateurs. Les autres ions du lait ont une concentration constante et ne modifient pas les pentes, mais NO_3^- s'accumule dès le début et intervient dans les deux phases.

COMPRENDRE
Les 200 mL d'eau ajoutés rendent la dilution due au réactif versé négligeable : les concentrations varient alors linéairement avec V et l'on obtient des segments de droite. Cette eau ne change pas la quantité d'ions chlorure titrée.



2.2 · Proposition 3 : allure de la conductivité au cours du titrage

2.3 Le lait analysé est-il « mammiteux » ? Une réponse argumentée et des calculs rigoureux sont attendus.

Données utiles $V_L = 20{,}0$ mL de lait ; $C_2 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 11{,}6 \pm 0{,}1$ mL ; $M(\text{Cl}) = 35{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; lait normal : 0,8 à 1,2 g·L⁻¹ ; lait mammiteux : 1,4 g·L⁻¹ ou plus

À l'équivalence, d'après l'équation (2.1) : $n(\text{Cl}^-) = n(\text{Ag}^+)$, soit $C_1 V_L = C_2 V_E$, où V_L est le volume de lait prélevé (l'eau ajoutée n'apporte pas d'ions chlorure).

Concentration en masse des ions chlorure : $t = C_1\, M(\text{Cl}) = \dfrac{C_2 V_E\, M(\text{Cl})}{V_L}$

$$t = \frac{5{,}00 \times 10^{-2} \times 11{,}6 \times 35{,}5}{20{,}0} = 1{,}03\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

Avec V_E compris entre 11,5 mL et 11,7 mL, t est comprise entre $1{,}02$ et $1{,}04\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Cette valeur se situe dans l'intervalle du lait normal (0,8 à 1,2 g·L⁻¹) et reste bien inférieure à $1{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

$t = 1{,}03\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1} < 1{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: le lait n'est pas « mammiteux ».

PIÈGE
Diviser par 220 mL au lieu de 20,0 mL. L'eau déminéralisée dilue le lait sans changer la quantité d'ions chlorure : c'est le volume de lait prélevé qui compte.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5.00 \times 10^{-2} \times 11.6 \times 35.5}{20.0} \approx 1.0295$

$\dfrac{5.00 \times 10^{-2} \times 11.5 \times 35.5}{20.0} \approx 1.020625$

$\dfrac{5.00 \times 10^{-2} \times 11.7 \times 35.5}{20.0} \approx 1.038375$