Du lait au yaourt

Bac S 2014 Liban (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Recopier la formule de l'acide lactique, entourer les groupes caractéristiques et justifier son nom officiel : acide 2-hydroxypropanoïque.

La molécule porte deux groupes caractéristiques : un groupe carboxyle $-COOH$ et un groupe hydroxyle $-OH$ (voir la formule annotée).

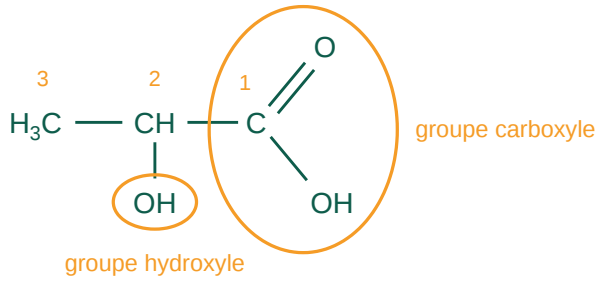
Justification du nom :

- la chaîne carbonée compte trois atomes de carbone : « propan » ;
- le groupe carboxyle, prioritaire, donne « acide …oïque » et son carbone porte le numéro 1 ;
- le groupe hydroxyle est fixé sur le carbone numéro 2 : « 2-hydroxy ».

Groupes carboxyle et hydroxyle ; chaîne à 3 carbones, $-OH$ sur le carbone 2 : acide 2-hydroxypropanoïque.

PIÈGE
Entourer seulement $C{=}O$ ou seulement le $-OH$ de droite : le groupe carboxyle est l'ensemble $-COOH$. Son $-OH$ n'est pas un groupe hydroxyle d'alcool.

MÉTHODE
Pour justifier un nom : compter les carbones de la chaîne principale, repérer le groupe prioritaire qui fixe le suffixe et la numérotation, puis situer les autres groupes par leur numéro.



1.1 · Formule de l'acide lactique : groupes caractéristiques entourés, chaîne numérotée à partir du carbone du groupe carboxyle

1.2 Cette molécule possède-t-elle des stéréoisomères ? Si oui, donner leur représentation de Cram et indiquer la relation qui les lie.

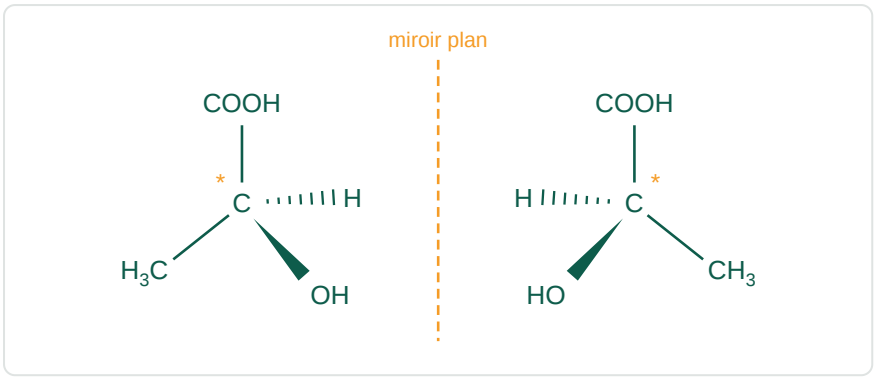
Le carbone numéro 2 est lié à quatre groupes différents : $-H$, $-OH$, $-CH_3$ et $-COOH$. C'est un carbone asymétrique, et c'est le seul de la molécule.

La molécule est donc chirale : elle existe sous la forme de deux stéréoisomères, images l'un de l'autre dans un miroir plan et non superposables.

Oui : deux stéréoisomères, qui sont des énantiomères.

PIÈGE
Dessiner deux fois la même molécule, simplement tournée. Pour obtenir l'énantiomère, tracer l'image dans un miroir ou échanger deux des quatre groupes, pas davantage.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique, chiralité, énantiomères et représentation de Cram faisaient partie du programme de Terminale S. Ces notions ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.



1.2 · Les deux énantiomères de l'acide lactique en représentation de Cram (carbone asymétrique repéré par *)

1.3.1 Le pH d'une solution d'acide lactique de concentration c vaut 3,4. L'acide lactique est-il un acide fort ou faible ?

Données utiles $c = 1{,}5\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{pH} = 3{,}4$

Un acide fort réagit totalement avec l'eau : on aurait $[\text{H}_3\text{O}^+] = c$, donc

$$\text{pH} = -\log c = -\log\left(1{,}5 \times 10^{-3}\right) = 2{,}8$$

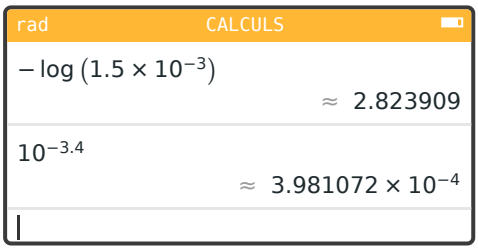
Le pH mesuré, 3,4, est plus grand que 2,8 : la solution contient moins d'ions oxonium que si la réaction était totale. La réaction de l'acide lactique avec l'eau est limitée.

$\text{pH} = 3{,}4 > -\log c = 2{,}8$: l'acide lactique est un acide faible.

PIÈGE
Convertir : $1{,}5\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ vaut $1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Sans conversion, on trouve un pH négatif.

COMPRENDRE
Autre rédaction : $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3{,}4} = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, inférieure à c. Deux chiffres significatifs, comme c ; un pH se donne avec une décimale ici, comme la valeur mesurée.

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Le pH d'un lait frais est voisin de 6,5. Quelle est l'espèce prédominante du couple acide lactique / ion lactate ? Justifier.

Données utiles $\text{p}K_a(\text{HA}/\text{A}^-) = 3{,}9$; $\text{pH} \approx 6{,}5$

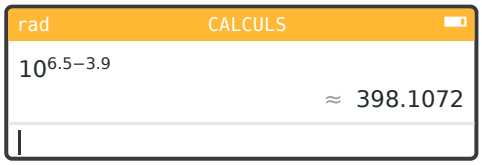
Pour un couple acide/base, la forme basique prédomine lorsque $\text{pH} > \text{p}K_a$.

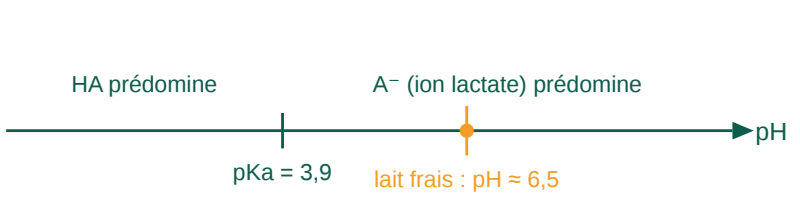
Ici $\text{pH} \approx 6{,}5 > \text{p}K_a = 3{,}9$.

Dans le lait frais, l'espèce prédominante est la base : l'ion lactate A^-.

COMPRENDRE
La relation $\text{pH} = \text{p}K_a + \log\dfrac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ donne ici un rapport $10^{2{,}6} \approx 400$: l'acide lactique du lait frais est presque entièrement sous forme d'ion lactate.

À LA CALCULATRICE





1.3.2 · Diagramme de prédominance du couple acide lactique / ion lactate

2.1 Une coloration rose persistante apparaît pour un volume de solution titrante versé de 1,4 mL. À quoi correspond ce changement de couleur ?

Données utiles phénolphtaléine : $\mathrm{p}K_a = 8{,}2$, forme acide incolore, forme basique rose

Avant l'équivalence, les ions $\mathrm{HO^-}$ versés sont consommés par l'acide HA : le mélange reste trop peu basique et l'indicateur garde sa forme acide, incolore.

Dès que tout l'acide a réagi, les ions $\mathrm{HO^-}$ ajoutés ne sont plus consommés : le pH augmente brusquement et dépasse 8,2. La forme basique de la phénolphtaléine, rose, devient prédominante.

La coloration rose persistante repère l'équivalence du titrage : $V_E = 1{,}4\ \mathrm{mL}$.

PIÈGE
Le mot « persistante » compte : une teinte rose qui disparaît en agitant apparaît localement, là où tombe la goutte, avant l'équivalence.

2.2 En exploitant le résultat du titrage, déterminer si le lait analysé est frais selon la norme en vigueur.

Données utiles $V_A = 10{,}0\ \mathrm{mL}$; $c_B = 0{,}11\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_E = 1{,}4\ \mathrm{mL}$ (2.1) ; $M = 90\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; 1 °D correspond à $0{,}1\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$; lait frais : acidité inférieure à 18 °D

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation $\mathrm{HA + HO^- \longrightarrow A^- + H_2O}$:

$$n(\mathrm{HA})_{\text{titré}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad c_A\,V_A = c_B\,V_E$$

La concentration en masse d'acide lactique vaut $t = c_A\,M$, donc :

$$t = \frac{c_B\,V_E}{V_A}\,M = \frac{0{,}11 \times 1{,}4}{10{,}0} \times 90 = 1{,}4\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$$

Acidité Dornic : $\dfrac{1{,}4}{0{,}1} = 14\ ^\circ\mathrm{D}$, valeur inférieure à $18\ ^\circ\mathrm{D}$.

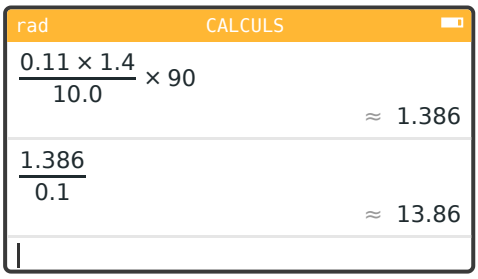
$t = 1{,}4\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$, soit $14\ ^\circ\mathrm{D} < 18\ ^\circ\mathrm{D}$: le lait analysé est frais.

PIÈGE
Le sujet original écrit l'équation $\mathrm{H_3O^+ + HO^- \longrightarrow 2\,H_2O}$. L'acide lactique étant faible (question 1), c'est lui qui réagit : $\mathrm{HA + HO^- \longrightarrow A^- + H_2O}$. La relation à l'équivalence et le résultat sont inchangés.

COMPRENDRE
Tous les acides du lait sont titrés ensemble et comptés comme de l'acide lactique : c'est le sens de « équivalent d'acide lactique ». Résultat à deux chiffres significatifs, comme c_B, V_E et M.

MÉTHODE
Titrage puis norme : relation à l'équivalence, concentration en quantité, passage à la concentration en masse par $t = c\,M$, conversion dans l'unité de la norme, comparaison écrite.

À LA CALCULATRICE



2.3 Faire preuve d'esprit critique sur le dosage réalisé et proposer une amélioration.

Données utiles $V_E = 1{,}4\ \text{mL}$ (2.1) ; $V_A = 10{,}0\ \text{mL}$

Critiques :

- le volume à l'équivalence est très petit. Si la burette est lue à 0,1 mL près, l'incertitude relative atteint $\dfrac{0{,}1}{1{,}4} \approx 7\ \%$, soit environ $1\ ^\circ\text{D}$ sur le résultat ;
- l'équivalence est repérée à la goutte près par un indicateur coloré, dans un lait opaque, et rien ne garantit que sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

Amélioration : titrer un volume de lait plus grand avec la même soude, par exemple $100{,}0\ \text{mL}$, ce qui donnerait $V_E = 14\ \text{mL}$, et suivre le titrage au pH-mètre pour repérer l'équivalence sur la courbe.

> Volume équivalent trop faible (environ 7 % d'incertitude) : titrer un plus grand volume de lait, avec un suivi pH-métrique.

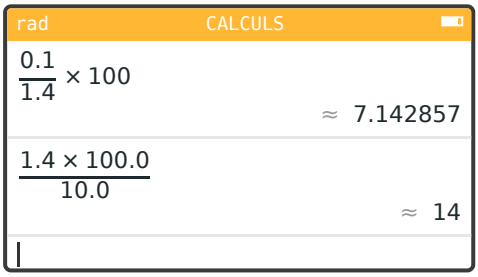
COMPRENDRE

Avec la soude Dornic, $c_B\,M = 0{,}11 \times 90 \approx 10\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$: pour 10,0 mL de lait, chaque dixième de millilitre versé correspond à $1\ ^\circ\text{D}$. La lecture est directe, mais peu précise.

MÉTHODE

Critiquer un titrage : regarder la taille du volume équivalent face à la précision de la burette, le choix de l'indicateur, la répétition de la mesure. Puis proposer un changement chiffré.

À LA CALCULATRICE



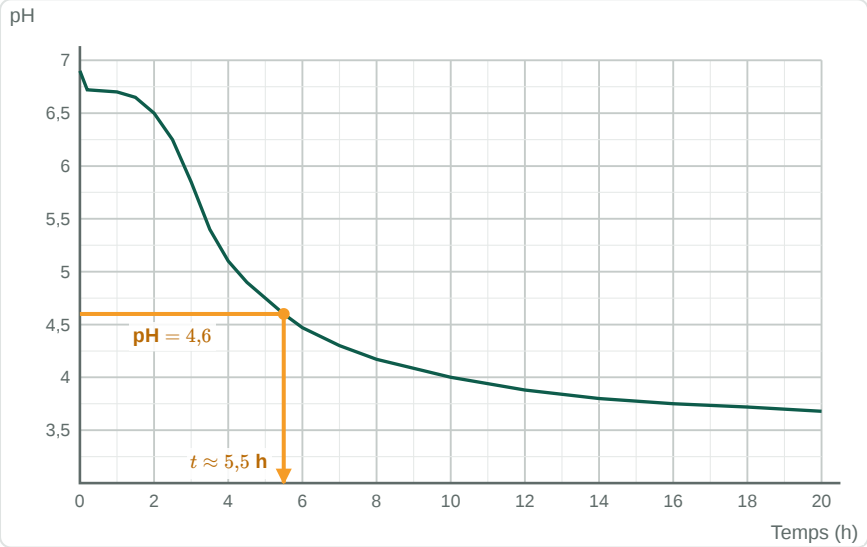
3 À l'aide des documents, déterminer la température la plus favorable à la formation du yaourt et la durée au bout de laquelle la consistance attendue est atteinte.

Données utiles document 4 : acidité de 0 à 240 min pour quatre températures ; document 5 : la caséine précipite pour $\mathrm{pH} < 4{,}6$; document 6 : courbe $\mathrm{pH} = f(t)$

Température. Le yaourt se forme quand les bactéries transforment le lactose en acide lactique (document 3) : l'acidité du lait doit augmenter. D'après le document 4, en 240 min l'acidité passe de 19 à 78 °D à 45 °C, soit $+59$ °D, contre $+2$ °D à 2 °C et à 25 °C et $+1$ °D à 80 °C. La transformation n'est efficace qu'à $\theta_3 = 45$ °C.

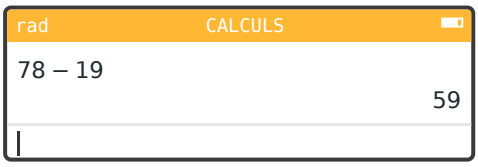
Durée. La texture du yaourt vient de la coagulation de la caséine, qui se produit lorsque le pH devient inférieur à 4,6 (document 5). Sur la courbe du document 6, le pH atteint 4,6 pour $t \approx 5{,}5$ h.

Température la plus favorable : 45 °C ; consistance du yaourt atteinte au bout de 5 à 6 heures.



3 · Document 6 du sujet, avec la lecture de la durée pour laquelle le pH atteint 4,6

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Lire la durée pour laquelle le pH se stabilise (vers 20 h) ou confondre minutes (document 4) et heures (document 6). Le critère est le passage sous 4,6.

COMPRENDRE
À 2 °C le froid bloque l'activité des bactéries ; à 80 °C elles sont détruites. À 45 °C, l'acidité ne démarre qu'après deux heures environ, ce que confirme le palier initial du document 6.

MÉTHODE
Résolution à partir de documents : citer le document utilisé pour chaque argument, donner le critère chiffré (ici $\mathrm{pH} < 4{,}6$), puis faire la lecture graphique en la traçant.