Un indicateur coloré naturel issu du chou rouge

Bac 2021 Métropole Mars Sujet 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Justifier que la forme n°1 est une espèce amphotère.

La forme n°1 possède des groupes $-\mathrm{OH}$: en cédant un ion H^+, elle donne la forme n°2 (un $-\mathrm{OH}$ devenu $-\mathrm{O}^-$). Elle est l'acide du couple forme n°1 / forme n°2.

Son groupe $-\mathrm{O}^-$ peut capter un ion H^+ : on obtient la forme n°3 (ce groupe est devenu $-\mathrm{OH}$). Elle est la base du couple forme n°3 / forme n°1.

La forme n°1 est l'acide d'un couple et la base d'un autre : c'est une espèce **amphotère**.

MÉTHODE
Pour prouver qu'une espèce est amphotère, écrire les deux couples auxquels elle appartient : une fois comme acide (elle cède H^+), une fois comme base (elle capte H^+).

1.2 Recopier et compléter le diagramme de prédominance de l'indicateur coloré, puis associer une couleur à chaque forme en solution aqueuse.

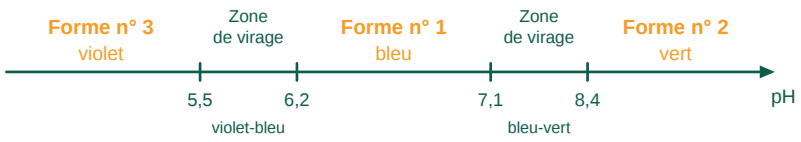
Données utiles zones de virage : pH de 5,5 à 6,2 et de 7,1 à 8,4 ; tableau des couleurs du jus de chou rouge entre pH 4,5 et 9,0

Plus le pH est faible, plus l'espèce qui prédomine est protonée. La forme n°3 porte le plus d'atomes d'hydrogène, la forme n°2 le moins : l'ordre des pH croissants est forme n°3, forme n°1, forme n°2.

D'après le tableau, la solution est violette pour pH < 5,5, bleue entre 6,2 et 7,1, verte pour pH > 8,4. Dans les zones de virage, deux formes coexistent : on observe les teintes intermédiaires violet-bleu et bleu-vert.

Forme n°3 : violet (pH < 5,5) ; forme n°1 : bleu (6,2 < pH < 7,1) ; forme n°2 : vert (pH > 8,4).

PIÈGE
Ranger les formes dans l'ordre de leur numéro. La forme n°1, amphotère, est forcément au milieu ; la forme la plus acide (n°3) est à gauche, du côté des pH faibles.



1.2 · Diagramme de prédominance complété (réponses en orange)

2.1 Représenter le schéma de Lewis de l'ion lactate.

Données utiles numéros atomiques : H (1), C (6), O (8) ; formule topologique de l'acide lactique (figure 2)

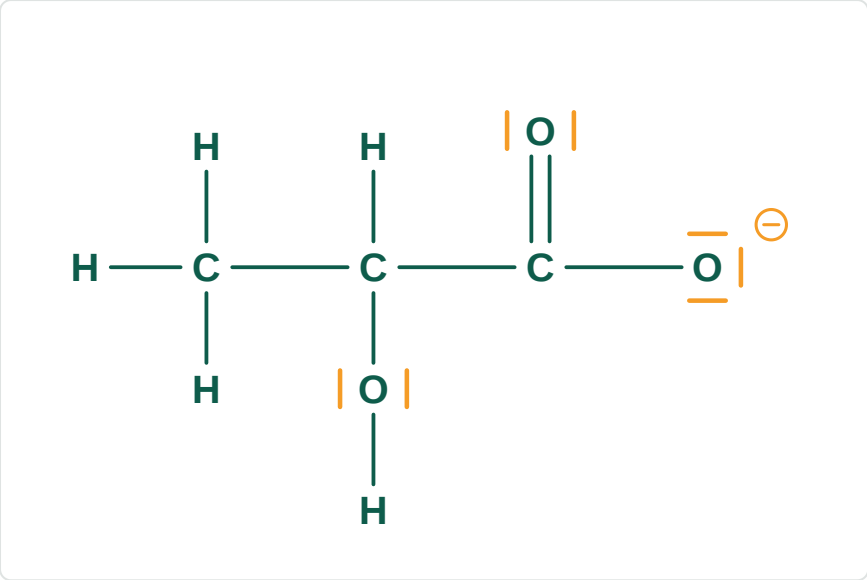
L'ion lactate est la base conjuguée de l'acide lactique : le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ a perdu un ion H^+ et devient $-\mathrm{COO}^-$. Sa formule est $\mathrm{CH_3-CH(OH)-COO^-}$.

Chaque atome de carbone forme quatre liaisons, chaque atome d'hydrogène une seule. Les atomes d'oxygène du groupe hydroxyle et de la liaison double portent deux doublets non liants. L'atome d'oxygène chargé ne forme qu'une liaison : il porte trois doublets non liants et la charge négative.

Schéma de Lewis ci-dessous : $\mathrm{CH_3-CH(OH)-COO^-}$, avec sept doublets non liants et une charge $-$ sur un atome d'oxygène.

PIÈGE
Retirer l'hydrogène du groupe hydroxyle porté par la chaîne : c'est celui du groupe carboxyle qui part. Oublier la charge ou les doublets non liants des atomes d'oxygène fait aussi perdre les points.

COMPRENDRE
L'oxygène ($Z = 8$) a six électrons de valence. Avec une seule liaison et trois doublets non liants, il en possède sept en propre : un de trop, d'où la charge négative.



2.1 · Schéma de Lewis de l'ion lactate (doublets non liants et charge en orange)

2.2 Justifier que la fermentation du lait contribue à acidifier celui-ci.

La fermentation transforme le lactose en acide lactique. Cet acide cède des ions $\mathrm{H^+}$ à l'eau, ce qui forme des ions oxonium $\mathrm{H_3O^+}$.

La concentration $[\mathrm{H_3O^+}]$ augmente, donc $\mathrm{pH} = -\log\left(\dfrac{[\mathrm{H_3O^+}]}{c^\circ}\right)$ diminue.

La fermentation produit un acide : le pH du lait diminue, le lait s'acidifie.

2.3.1 Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation entre l'acide lactique AH et l'eau du lait.

L'acide AH cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'eau, qui joue le rôle de base (couples $\mathrm{AH/A^-}$ et $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$).

$$\mathrm{AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$$

COMPRENDRE
La double flèche s'impose : $K_A = 10^{-3,9}$ est très inférieur à 1, l'acide lactique est un acide faible et sa réaction avec l'eau est limitée.

2.3.2 Montrer que cette transformation est spontanée, en admettant que la concentration initiale en ion lactate est nulle.

Données utiles $K_A = 10^{-3,9}$; $[\mathrm{A^-}]_i = 0$

Le quotient de réaction à l'état initial s'écrit :

$$Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{A^-}]_i \times [\mathrm{H_3O^+}]_i}{[\mathrm{AH}]_i \times c^\circ}$$

Comme $[\mathrm{A^-}]_i = 0$, on a $Q_{r,i} = 0$.

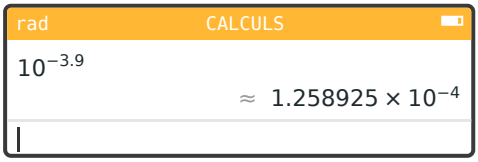
La constante d'équilibre de cette réaction est $K_A = 10^{-3,9} = 1{,}3 \times 10^{-4}$, strictement positive.

$Q_{r,i} = 0 < K_A$: le système évolue spontanément dans le sens direct, celui de la formation de $\mathrm{A^-}$ et $\mathrm{H_3O^+}$.

PIÈGE
Faire figurer l'eau dans Q_r. L'eau est le solvant : elle n'apparaît pas dans l'expression.

MÉTHODE
Critère d'évolution : comparer $Q_{r,i}$ à K. Si $Q_{r,i} < K$, sens direct ; si $Q_{r,i} > K$, sens inverse ; si $Q_{r,i} = K$, le système est à l'équilibre.

À LA CALCULATRICE



2.4 Justifier que le jus de chou rouge peut être utilisé pour repérer l'équivalence de ce titrage et préciser le changement de couleur du milieu.

Données utiles pH initial : 5,9 ; pH à l'équivalence : 8,3 ; zones de virage (Q1.2) : 5,5 à 6,2 et 7,1 à 8,4

Un indicateur coloré convient si le pH à l'équivalence appartient à sa zone de virage. Ici $\mathrm{pH}_E = 8{,}3$ est compris entre 7,1 et 8,4 : le jus de chou rouge convient.

Au départ (pH = 5,9, première zone de virage), le milieu est violet-bleu. Il devient bleu dès que le pH dépasse 6,2, puis vire au vert en traversant la seconde zone de virage.

$7{,}1 < \mathrm{pH}_E = 8{,}3 < 8{,}4$: l'équivalence est repérée par le passage du bleu au vert (bleu-vert puis vert).

COMPRENDRE
Près de l'équivalence, le pH augmente brutalement : la zone de virage est traversée en une goutte ou deux, ce qui rend le changement de teinte repérable, même entre deux couleurs voisines.

2.5 En détaillant le raisonnement, déterminer si l'acidité Dornic du lait fermenté testé permet la fabrication d'un yaourt.

Données utiles $V = 10{,}0$ mL de lait ; $C_0 = 1{,}11 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_E = 2{,}8$ mL ; $M_{AH} = 90{,}1\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; 1,0 °D pour $0{,}10\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$; yaourt : acidité supérieure à 80 °D

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

$$n(\mathrm{AH})_{\text{initial}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C_A \times V = C_0 \times V_E$$

La concentration en masse d'acide lactique dans le lait est $c_m = C_A \times M_{AH}$, donc :

$$c_m = \frac{C_0 \times V_E \times M_{AH}}{V} = \frac{1{,}11 \times 10^{-1} \times 2{,}8 \times 90{,}1}{10{,}0} = 2{,}8\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$$

Les deux volumes sont en mL : leur rapport ne dépend pas de l'unité.

Comme 1,0 °D correspond à $0{,}10\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$: acidité $= \frac{2{,}8}{0{,}10} = 28$ °D.

Acidité Dornic : 28 °D < 80 °D. Le lait testé n'est pas assez fermenté pour fabriquer un yaourt.

PIÈGE
Utiliser un volume de lait d'un litre ou oublier M_{AH}. Le degré Dornic repose sur une concentration en masse, en $\mathrm{g \cdot L^{-1}}$, pas sur une concentration en quantité de matière.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : $V_E = 2{,}8$ mL est la donnée la moins précise. Le résultat ne peut pas être plus précis qu'elle.

MÉTHODE
Titrage : 1) relation à l'équivalence d'après l'équation support ; 2) concentration de l'espèce titrée ; 3) conversion dans la grandeur demandée ; 4) comparaison à la norme et conclusion rédigée.

À LA CALCULATRICE

