

Le lait est un produit biologique fragile. L'homme a su exploiter la tendance qu'ont ses composants à se séparer afin de le conserver. Pour faire du beurre, on recueille la matière grasse mais pour obtenir du fromage ou du yaourt, on attend que les protéines du lait coagulent.

L'acide lactique est l'un des composants essentiels du lait.

Données :

- Formule semi-développée de l'acide lactique :
$$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$$
- Masse molaire de l'acide lactique : $M = 90 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- pK_a (acide lactique/ion lactate) = 3,9
- La phénolphthaléine est un indicateur coloré ; couple acide/base de $pK_a = 8,2$ dont la forme acide est incolore et la forme basique rose.

1. L'ACIDE LACTIQUE

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

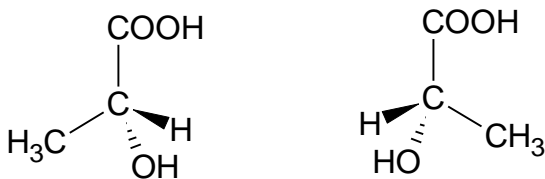
Groupe caractéristiques :

- groupe carboxyle $-\text{COOH}$
- groupe hydroxyle $-\text{OH}$

Le groupe hydroxyle est situé sur le 2ème carbone de la chaîne qui en compte 3, numérotée à partir du carbone de la fonction carboxyle.

1.2. Cette molécule possède-t-elle des stéréoisomères ? Si tel est le cas, donner la représentation de Cram de ses stéréoisomères et indiquer la relation qui les lie.

La molécule présente effectivement 2 stéréoisomères qui sont des énantiomères : présence d'un carbone asymétrique :



1.3. En solution aqueuse, l'acide lactique que l'on notera HA a des propriétés acidobasiques. Sa base conjuguée est l'ion lactate.

1.3.1. Le pH d'une solution d'acide lactique de concentration molaire c égale à $1,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ est égal à 3,4.

L'acide lactique est-il un acide fort ou faible ?

Si l'acide lactique était un acide fort, alors il réagirait entièrement avec l'eau et $[\text{H}_3\text{O}^+] = C$

D'où $pH_{\text{att}} = -\log C$ A.N. $pH = 2,8$

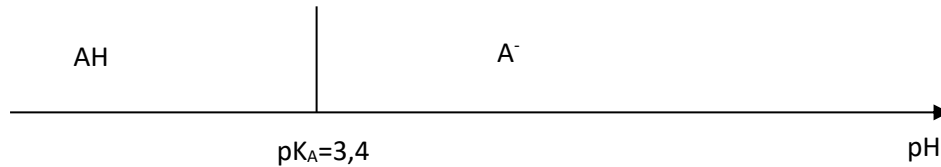
On constate que $pH_{\text{att}} < pH_{\text{mes}}$ ce qui signifie que $[\text{H}_3\text{O}^+] < C$: toutes les molécules AH ne semblent pas être dissociées à l'équilibre ; l'acide lactique est un acide faible.

1.3.2. Le pH d'un lait frais se situe autour de 6,5.

Quelle est l'espèce prédominante du couple acide lactique/ion lactate ?

Justifier la réponse.

Diagramme de prédominance :



A pH = 6,5, c'est la forme basique qui prédomine, donc l'ion lactate.

2. Du lait frais ...

Document 1 : Acidité du lait

Un lait frais n'est que très légèrement acide mais cette acidité peut se développer assez vite pour des raisons diverses :

- le lactose présent en quantité notable (50 g.L⁻¹ environ) se transforme en acide lactique sous l'action des bactéries ;
- d'autres acides tels que l'acide oléique se forment à partir des corps gras présents dans le lait.
- le dioxyde de carbone dissous contribue également à l'acidité d'un lait.

L'industrie laitière vérifie l'état de conservation d'un lait en mesurant son acidité totale en « équivalent d'acide lactique » exprimée en degré Dornic* (°D).

Un lait frais doit avoir, selon les normes en vigueur, une acidité inférieure à 18°D.

* Un degré Dornic noté 1°D correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait.

Document 2 : Protocole de titrage d'un lait

On verse 10,0 mL de lait dans un erlenmeyer et on ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine.

On procède au titrage de l'échantillon de lait par une solution d'hydroxyde de sodium (Na⁺_(aq) + HO⁻_(aq)) de concentration molaire 0,11 mol.L⁻¹ appelée soude « Dornic ».

Un lait est dosé en suivant ce protocole.

L'équation de la réaction chimique support de titrage est : HA_(aq) + HO⁻_(aq) → A⁻_(aq) + H₂O_(L)

2.1. La persistance d'une coloration rose est observée pour un volume de solution titrante versée de 1,4 mL.

À quoi correspond ce changement de couleur ?

Le changement de couleur est dû à la présence de l'indicateur coloré et s'observe à l'équivalence, moment du dosage où il y a changement de réactif limitant.

Le volume mesuré correspond au volume de l'équivalence V_e.

2.2. En exploitant le résultat du titrage, déterminer si le lait analysé est frais selon la norme en vigueur. La démarche suivie pour expliciter sera explicitée.

- Détermination de la concentration molaire en acide lactique :

À l'équivalence : n(OH⁻) = n(AH)

n(AH) = C_L · V_L et n(OH⁻) = C_B · V_e

D'où C_L · V_L = C_B · V_e

et donc $C_L = \frac{C \cdot V_e}{V_L}$ A.N. $C_S = \frac{0,11 \times 1,4}{10,0} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

- Détermination de la concentration massique en acide lactique :

t_s = C_s × M A.N. t_s = 1,5 × 10⁻² × 90 = 1,4 g.L⁻¹

- L'acidité du lait est de 1,4/0,1 = 14 °D. Le lait est frais.

Document 5 : Précipitation de la caséine

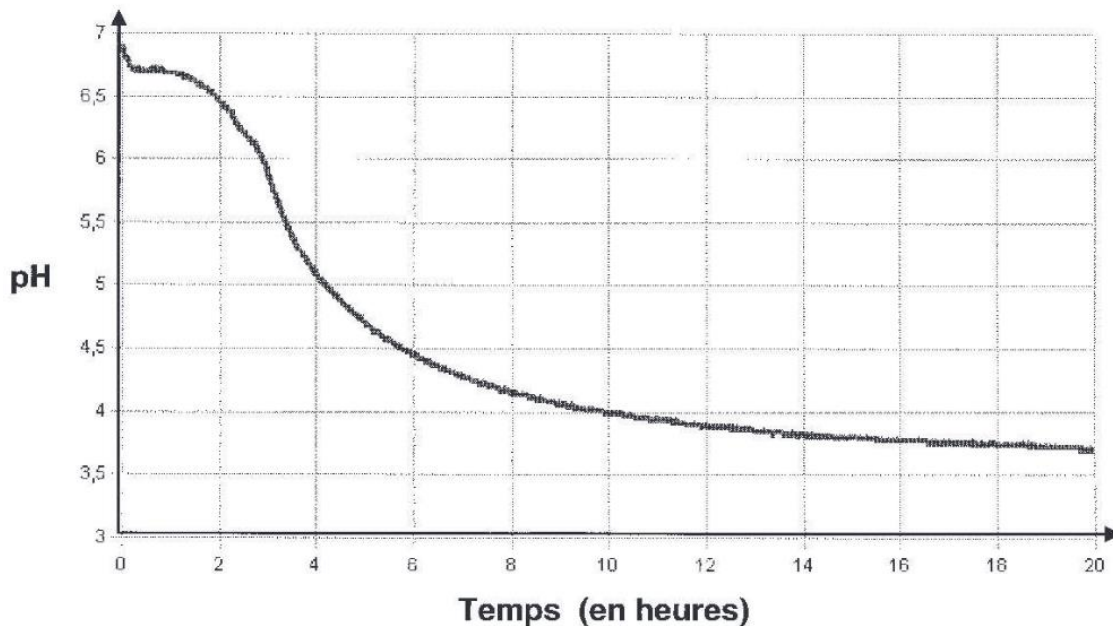
Le point isoélectrique d'une protéine est la valeur du pH pour lequel la somme des charges électriques présentes sur les différents groupes caractéristiques de la protéine s'annule. La protéine est alors dénaturée.

Le point isoélectrique de la principale protéine du lait, la caséine, vaut 4,6.

Pour un $pH < 4,6$ la caséine change de conformation, se déplie et, en solution, précipite. On observe sa coagulation responsable de la texture du yaourt.

Document 6 : Évolution du pH lors de la fabrication du yaourt dans un atelier de production industrielle

Le graphe suivant donne l'évolution au cours du temps du pH d'un laitensemencé.



Pour obtenir un yaourt à partir du lait, il faut faire coaguler la caséine. Cette coagulation n'a lieu que si le pH du milieu est inférieur à 4,6 (doc 5).

La chute du pH est due à la formation d'acide lactique, obtenu par fermentation à partir de l'action de bactéries sur le lactose (doc 1). Le document 2 montre que la température optimale pour laquelle a lieu cette transformation (création d'acide lactique) est de 45°C.

Le document 6 montre que le pH a atteint la valeur de 4,6 au bout de 5,5 heures (environ)

En conclusion, il faut laisser agir les bactéries pendant au moins 5,5 heures à une température de 45°C.