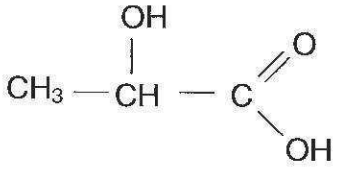
EXERCICE I : DU LAIT AU YAOURT (6 POINTS)

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 :



- Masse molaire de l'acide lactique : $M = 90\ g.mol^{-1}$
- pK_a (acide lactique/ion lactate) = 3,9

- La phénolphtaléine est un indicateur coloré ; couple acide/base de $pKa = 8,2$ 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 en nomenclature officielle : acide 2-hydroxypropanoïque.

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.

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 $1,5\ mmol.L^{-1}$ est égal à 3,4.
L'acide lactique est-il un acide fort ou 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.

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 de 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'ac ide 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 du titrage est :

$$H_3O^+ + HO^- \longrightarrow 2\,H_2O_{(L)}$$

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 ?

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

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

3. ...vers le yaourt

Les documents utiles à la résolution sont rassemblés en fin d'exercice.

À l'aide de ces documents, déterminer la température la plus favorable à la formation du yaourt ainsi que la durée au bout de laquelle la consistance est celle attendue d'un yaourt. La démarche sera explicitée.

Document 3 : Fabrication du yaourt

Le lait pasteurisé est ensemencé avec des bactéries (lactobacillus bulgaricus et streptococcus thermophilus) et mis en pots. Ces bactéries vont alors se multiplier et transformer le lactose du lait en acide lactique. La consistance du yaourt est atteinte au bout de quelques heures. Les yaourts sont ensuite refroidis à 4°C ; le froid bloque l'activité des bactéries mais ne les tue pas : au moment de la vente, le yaourt doit contenir au moins 10 millions de bactéries par gramme !

D'après les sites www.espace-sciences.org
et www.decouverte-industries-alimentaires.com

Document 4 : Acidité et température

Afin d'optimiser la fabrication d'un yaourt dans un atelier de production, un laboratoire de recherche mesure, à différentes températures, l'évolution dans le temps de l'acidité de différents échantillons d'un lait préalablement ensemencé avec des bactéries.
Les valeurs obtenues sont reportées dans les tableaux ci-dessous.

Pour une température θ_1 = 2 °C :

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21

Pour une température θ_2 = 25 °C :

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21

Pour une température θ_3 = 45 °C :

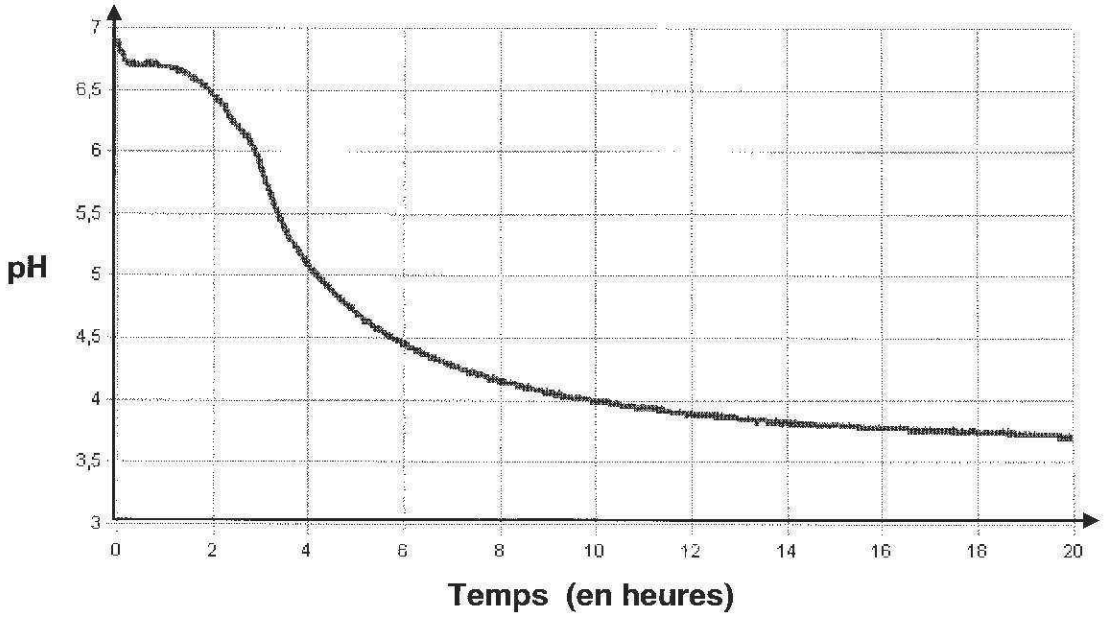
Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	20	20	20	27	34	45	55	64	70	78

Pour une température θ_4 = 80 °C :

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20

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'annulent. 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 alors 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 lait ensemencé.