



Acide lactique, PLA et laits infantiles

■ Chimie :

- Structures spatiales des espèces chimiques
- Réactions acidobasiques en solution aqueuse
- Cinétique d'une réaction chimique

■ Physique :

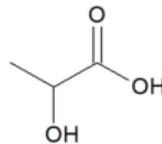
- Chute verticale avec frottement visqueux

L'acide lactique est naturellement présent dans le lait et dans les produits laitiers en général. Cet exercice nous fera faire une boucle autour de l'acide lactique : nous allons tout d'abord découvrir cette molécule, puis un polymère associé, l'acide polylactique (PLA) destiné aux emballages de produits laitiers, pour finalement revenir à la mesure de la viscosité d'un produit laitier destiné aux bébés.

PARTIE 1 : propriétés acidobasiques et titrage de l'acide lactique dans un lait infantile

DONNÉES utiles à la partie 1 :

- Formule topologique :



- En nomenclature officielle, l'acide lactique se nomme : acide 2-hydroxypropanoïque.
- Son pKa vaut : $pK_a = 3,9$
- Masse molaire : $M(\text{acide lactique}) = 90,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

À propos du degré Dornic :

- La teneur en acide lactique d'un produit laitier est exprimée en degré Dornic. Un lait est considéré comme frais si son degré Dornic est inférieur à 18.
- 1 Degré Dornic correspond à une concentration en masse en acide lactique égale à $0,10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

1. Écrire la formule semi-développée de l'acide lactique.
2. Montrer simplement que cette molécule est chirale.
3. Représenter selon Cram l'acide R lactique.

Une solution S d'acide lactique a été réalisée en dissolvant une masse $m = 0,180 \text{ g}$ d'acide lactique solide afin d'obtenir un volume $V = 100 \text{ mL}$ de solution aqueuse d'acide lactique. Son pH est mesuré : $pH = 2,8$.

4. Calculer la concentration c en quantité de matière d'acide lactique apporté.
5. Donner la formule de la base conjuguée de l'acide lactique.
6. Écrire l'équation traduisant la réaction chimique entre l'acide lactique et l'eau (l'acide lactique pourra être noté AH).
7. Exprimer en fonction des concentrations la constante d'acidité K_a du couple acidobasique auquel appartient l'acide lactique.
8. Calculer le taux de dissociation α de cet acide et conclure sur le caractère faible ou fort de cet acide.

L'acide lactique est présent dans le lait et sa concentration en quantité de matière ou en masse permet de conclure sur sa fraîcheur. Il est donc possible de déterminer le degré Dornic d'un lait par titrage.

On réalise le titrage d'un volume $V_a = 10,0 \text{ mL}$ de lait par une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) de concentration $c_b = 0,0100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



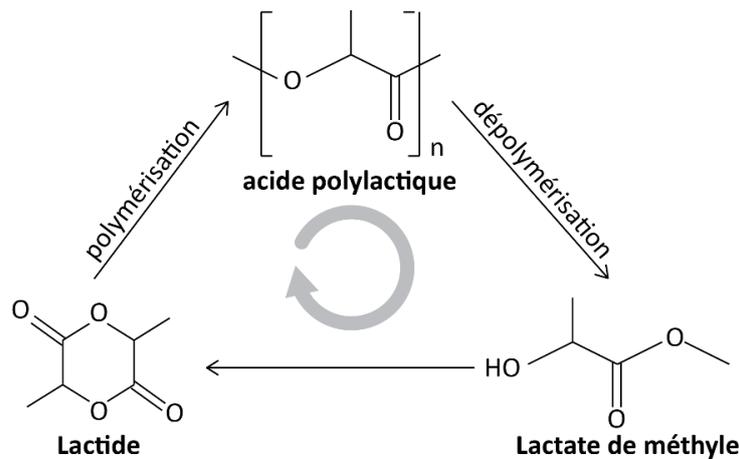
L'équivalence est obtenue pour un volume de solution titrante introduite de valeur : $V_{bE} = 17,1 \text{ mL}$.

9. Écrire l'équation traduisant la réaction entre l'acide lactique et l'hydroxyde de sodium.
10. Déterminer le degré Dornic du lait et conclure sur sa fraîcheur.

PARTIE 2 : dégradation de l'acide polylactique

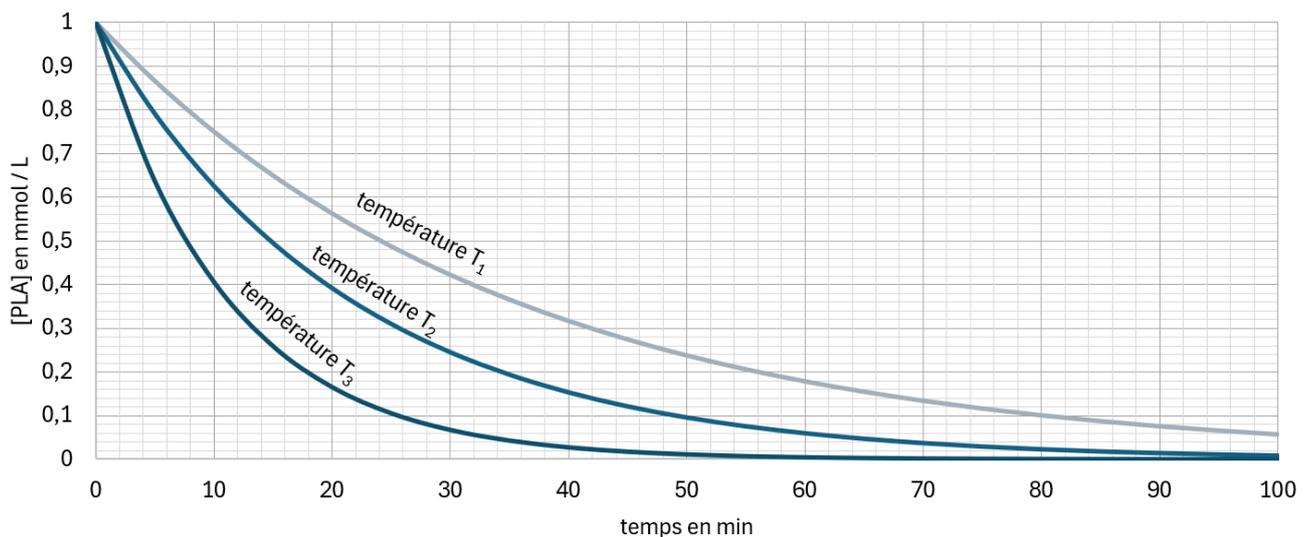
Dans certaines conditions des molécules d'acide lactique peuvent réagir entre elles en chaîne pour former une macromolécule appelée un polymère : ici il s'agit d'acide polylactique (souvent appelé PLA).

Le PLA est un polymère très utilisé dans la fabrication des emballages des produits et dans de la vaisselle jetable car c'est un matériau à la fois biodégradable et recyclable. En effet la dépolymérisation du PLA consiste à faire réagir le polymère avec du méthanol. Le PLA est ainsi transformé en lactate de méthyle. Celui-ci peut être ensuite transformé en lactide, pouvant reconduire ensuite au polymère :



On étudie dans cette partie la dépolymérisation du PLA à différentes températures : 90°C, 100°C et 110°C. Le suivi cinétique de la dépolymérisation a donné les courbes ci-dessous :

Evolution temporelle de [PLA] à différentes températures



11. Attribuer en justifiant à chaque courbe la température correspondante
12. Justifier rigoureusement que l'on peut écarter l'hypothèse d'une cinétique d'ordre zéro par rapport au PLA.
13. Expliquer comment il est possible de déterminer la vitesse de disparition du PLA à l'instant initial.



L'exploitation de la courbe correspondant à la température T1 permet d'obtenir les résultats suivants :

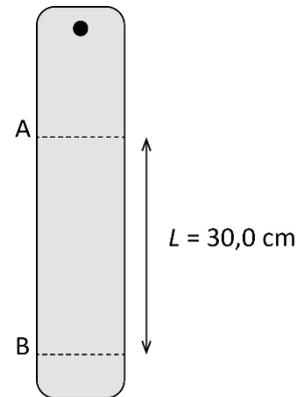
Date t (s)	0	1200	2400	3600	4800
[PLA] en mmol.L ⁻¹	1,0	0,56	0,32	0,18	0,10
Vitesse de disparition du PLA en mmol.L ⁻¹ .s ⁻¹	$4,8 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$8,7 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-5}$

14. Exploiter ces valeurs pour montrer que la réaction de dépolymérisation étudiée est d'ordre 1 par rapport au PLA. La méthode appliquée sera soigneusement détaillée.
15. Calculer la constante de vitesse k en précisant son unité.
16. Écrire l'expression de la concentration en PLA en fonction du temps.
17. Déterminer graphiquement la valeur du temps de demi-réaction.
18. Déterminer par le calcul la valeur du temps de demi-réaction.

PARTIE 3 : détermination de la viscosité d'un lait infantile anti-régurgitations

Beaucoup de bébés souffrent de reflux gastro œsophagien (RGO) et ont beaucoup de difficultés à assimiler un lait infantile classique. Les médecins conseillent dans ce cas de proposer au bébé un lait anti-régurgitations, épaissi et vendu comme 6 fois plus épais (donc visqueux) qu'un lait infantile classique de viscosité 1,9 centipoises.

La viscosité du lait épaissi peut être mesurée à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille. Le viscosimètre est constitué d'un tube muni de deux repères A et B séparés d'une distance $L = 30$ cm. On lâche sans vitesse initiale une bille en acier de rayon r dans le tube rempli de lait épaissi. On admet que la bille a atteint sa vitesse limite v_{lim} lorsqu'elle passe devant le repère A. On mesure alors la durée Δt de son trajet entre A et B. On trouve : $\Delta t = 94,0$ s.



DONNÉES et relations utiles à la partie 3 :

- À propos de la bille du viscosimètre
 - rayon : $r = 1,00$ mm
 - masse : $m = 4,40$ mg
 - volume : $V = 4,19$ mm³
- Masse volumique du lait infantile étudié : $\rho_{lait} = 1034$ kg · m⁻³
- Champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81$ m · s⁻²
- Expression de la force de frottement visqueux exercée sur la bille : $f = 6\pi\eta r v$
 η étant la viscosité du lait exprimée en Pa·s

19. En utilisant les résultats expérimentaux, calculer la vitesse limite v de la bille.
20. Représenter sans souci d'échelle les trois forces qui s'exercent sur la bille à savoir : le poids \vec{P} , la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}_a$ et la force de frottement visqueux \vec{f} .
21. Calculer les valeurs du poids et de la poussée d'Archimède exercées sur la bille pendant sa chute.
22. Après avoir analysé la nature du mouvement de la bille entre les repères a et b, écrire la relation qui existe
23. En déduire la valeur de la viscosité du lait épaissi η_{lait} .
24. Sachant qu'une centipoise correspond à 1mPa·s, vérifier l'information concernant la différence de viscosité entre ce lait épaissi et un lait infantile classique.