

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

Sciences physiques et chimiques en laboratoire

Durée de l'épreuve : **3 heures**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Dès que ce document vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce document comporte 16 pages numérotées de 1/16 à 16/16.

Les pages 15 et 16 sont **à rendre avec la copie.**

**Le candidat traite 3 parties : la partie 1 puis il choisit 2 parties
parmi les 3 proposées.**

Étude d'un lait

De quoi est composé le lait ?

Le lait est un liquide biologique comestible généralement de couleur blanchâtre produit par les glandes mammaires.

Le lait est à la fois une solution (dont les solutés sont le lactose, des sels minéraux...), une suspension (de matières azotées : caséine...) et une émulsion (de matières grasses dans une solution aqueuse), dont les teneurs varient selon la race de l'animal, son état de santé, son âge et son alimentation.

(D'après Wikipédia)

Les quatre parties sont indépendantes.

PARTIE 1 commune à tous les candidats (8 points)

Partie 1 - Contrôle de la qualité d'un lait – OBLIGATOIRE – (8 points)

Thème : chimie et développement durable – titrage acide/base, stéréochimie

PARTIES au choix du candidat (12 points)

Partie A - Observation des bactéries présentes dans le lait à l'aide d'un microscope optique (6 points)

Thème : microscope

Partie B - Stockage du lait dans les « tanks » à lait (6 points)

Thème : systèmes et procédés – résistance thermique

Partie C - Étude d'un lait aromatisé à l'ananas (6 points)

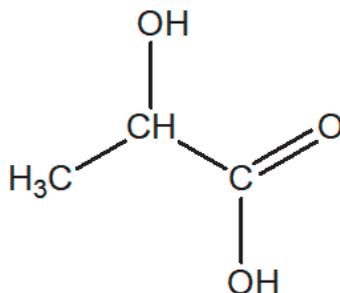
Thème : chimie et développement durable – synthèse chimique

PARTIE 1 commune à tous les candidats (8 points)
Contrôle de la qualité d'un lait

Avant de procéder à la transformation du lait (production de yaourts par exemple) ou à sa commercialisation, l'industrie laitière met en œuvre divers contrôles de qualité du lait, notamment le dosage de son acidité liée à la présence d'acide lactique.

1.1. Étude de l'acide lactique

La formule semi-développée de l'acide lactique ou acide 2-hydroxypropanoïque est la suivante :



- 1.1.1. Représenter la molécule d'acide lactique en formule topologique.
- 1.1.2. Entourer les groupes caractéristiques présents dans la molécule sur votre copie et nommer les fonctions correspondantes.
- 1.1.3. Repérer par un astérisque « * » l'atome ou les atomes de carbone asymétrique(s) sur la formule topologique représentée à la question 1.1.1.
- 1.1.4. Donner la représentation de Cram d'un des stéréoisomères.
- 1.1.5. Définir le terme « couple d'énantiomères ».
- 1.1.6. Dessiner l'énantiomère du stéréoisomère de la question 1.1.4.

1.2. Dosage de l'acidité du lait

Un technicien dose l'acidité d'un lait selon la méthode Dornic.

Document 1 : la méthode Dornic

- Prélever $V = 10,00$ mL de lait et les introduire dans un erlenmeyer.
- Ajouter 2 gouttes d'un indicateur coloré acido-basique bien choisi.
- Remplir la microburette de $5,00$ mL de solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière $C_B = 0,111 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, appelée « soude Dornic ». Ajuster le niveau du liquide au niveau zéro de la microburette.
- Placer alors l'erlenmeyer sous la microburette.
- Agiter afin d'homogénéiser le mélange.
- Verser goutte à goutte la solution d'hydroxyde de sodium dans l'erlenmeyer en agitant le mélange jusqu'à obtenir le virage de l'indicateur coloré.

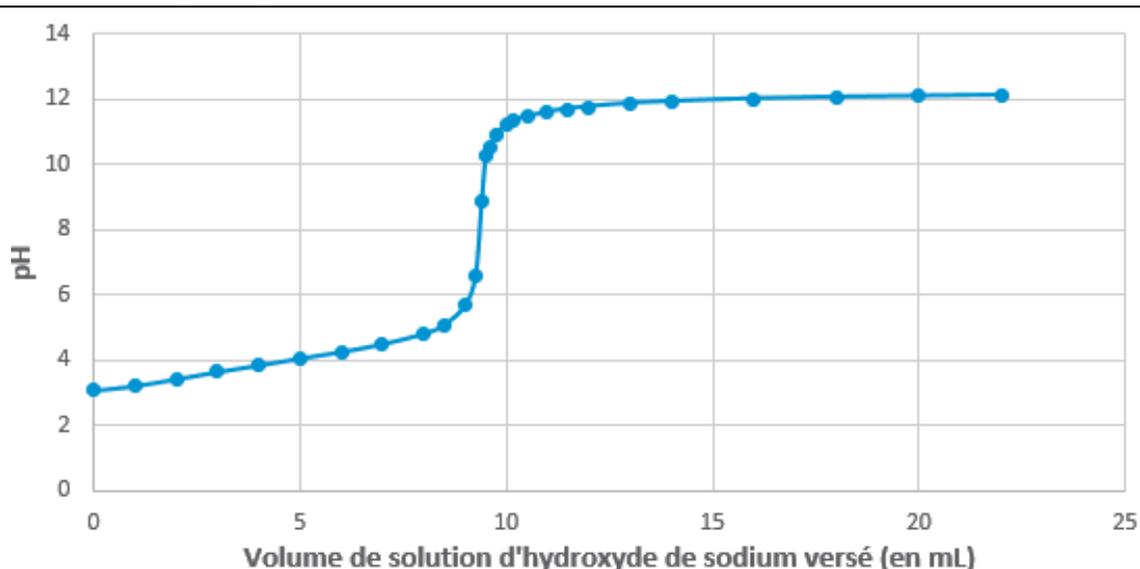
Données :

- pK_A du couple acide lactique / ion lactate : $pK_A (\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 / \text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-) = 3,9$ à 25°C ;
- Masses molaires atomiques :

$$M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} ; M(\text{C}) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} ; M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

- 1.2.1. Faire un schéma légendé du montage et indiquer les espèces chimiques mises en jeu dans la méthode Dornic pour réaliser le dosage.
- 1.2.2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage, en supposant que le seul acide présent dans le lait est l'acide lactique.
- 1.2.3. Indiquer l'indicateur coloré choisi parmi ceux du document 3 pour la méthode Dornic à l'aide des documents 2 et 3. Si plusieurs indicateurs sont possibles, justifier votre choix.

Document 2 : exemple de courbe de titrage d'une solution d'acide lactique par une solution d'hydroxyde de sodium



Courbe de titrage suivie par pH-métrie de 10,00 mL d'une solution d'acide lactique à environ 0,1 mol·L⁻¹ par une solution d'hydroxyde de sodium à 0,111 mol·L⁻¹. De l'eau distillée a été ajoutée de façon à immerger les électrodes.

Document 3 : informations sur quelques indicateurs colorés acido-basiques usuels

<i>Indicateur coloré</i>	<i>Teinte de la forme acide</i>	<i>Zone de virage</i>	<i>Teinte de la forme basique</i>	<i>Pictogrammes</i>
Jaune de méthyle	rouge	2,9 < pH < 4,0	jaune	
Hélianthine	rouge	3,1 < pH < 4,4	jaune	
Bleu de thymol	jaune	8,0 < pH < 9,6	bleu	
Phénolphtaléine	incolore	8,2 < pH < 10,0	rosé	

Afin de déterminer l'incertitude sur la valeur de la concentration en masse de l'acide lactique dans le lait, une simulation est réalisée, utilisant le langage de programmation Python, dont le début du script est donné ci-dessous. L'incertitude $u(V)$ sur le volume de prise d'essai est de 0,02 mL, l'incertitude relative $\frac{u(C_1)}{C_1}$ sur la concentration C_1 de la solution titrante est de 0,5 % et on estime que l'incertitude $u(V_E)$ sur le volume équivalent est de 0,05 mL.

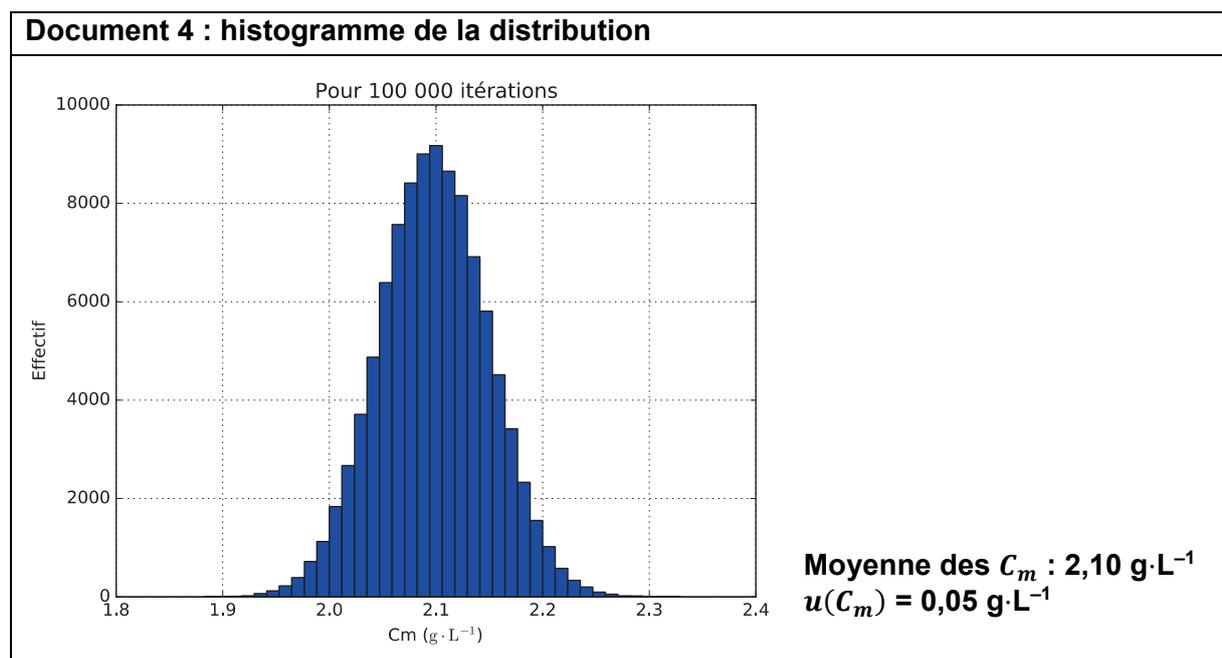
```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Renvoie une valeur aléatoire
5 #   du volume V, d'incertitude-type u_V, en mL
6 def V_mes():
7     V = 10                # Volume de la pipette
8     u_V = 0.02           # Incertitude-type
9     tirage=np.random.normal() # Tirage aléatoire (loi normale)
10    return V + u_V*tirage
11
12 # Renvoie une valeur aléatoire de la concentration
13 #   en quantité de matière C1, d'incertitude-type u_C1, en mol/L
14 def C1_mes():
15     C1 = 0.111 #mol/L    # Concentration de la solution titrante
16     u_C1 = 0.5/100*C1   # Incertitude-type
17     tirage=np.random.normal() # Tirage aléatoire (loi normale)
18     return C1 + u_C1*tirage
19
20 # Renvoie une valeur aléatoire
21 #   du volume à l'équivalence VE, d'incertitude-type u_VE, en mL
22 def VE_mes():
23     # À compléter
24

```

1.2.4. Écrire la fonction `VE_mes()` figurant dans le script Python à partir de la ligne 22, qui permet de simuler une valeur du volume à l'équivalence. À réaliser sur la copie.

La simulation fournit un histogramme de la distribution des valeurs possibles de concentration en masse C_m en acide lactique dans le lait pour le dosage réalisé (voir document 4).



Document 5 : l'échelle d'acidité Dornic

Un lait frais est légèrement acide, son pH est compris entre 6,6 et 6,8. Cependant, le lactose subit naturellement une dégradation biochimique progressive sous l'effet des bactéries, et il se transforme en acide lactique. En conséquence, plus le pH du lait est faible et moins il est frais.

L'industrie laitière utilise le degré Dornic pour quantifier l'acidité d'un lait. Cette unité doit son nom à Pierre Dornic (1864 – 1933), ingénieur agronome français. Un degré Dornic (1 °D) correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait.

Pour être considéré comme frais, un lait doit avoir une acidité inférieure ou égale à 18 °D. Entre 18 °D et 40 °D, le lait caille (il « tourne ») lorsqu'on le chauffe ; c'est la caséine qui floccule. Au-delà de 40 °D, il caille à température ambiante.

Les yaourts ont une acidité Dornic généralement comprise entre 80 °D et 100 °D.

Tableau de correspondance entre acidité Dornic et pH du lait :

Acidité Dornic (°D)	pH
Inférieure à 18	Entre 6,6 et 6,8
20	6,4
24	6,1

- 1.2.5.** En utilisant les documents 4 et 5, indiquer si le lait est frais. Justifier précisément la réponse.
- 1.2.6.** Lorsque l'on utilise la soude Dornic pour doser un lait de 18 °D, le volume équivalent est de 1,80 mL. En déduire l'intérêt pratique à choisir de la soude Dornic pour mesurer l'acidité d'un lait.

PARTIES au choix du candidat (12 points)

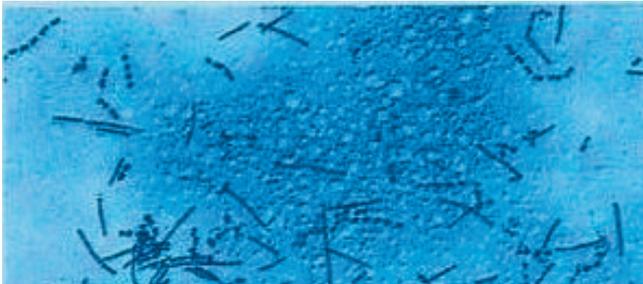
Vous indiquerez sur votre copie **les 2 parties choisies** : A, B, ou C.

Partie A - Observation des bactéries présentes dans le lait à l'aide d'un microscope optique (6 points)

On peut différencier un lait pasteurisé d'un lait cru en réalisant une coloration au bleu de méthylène, suivie d'une observation microscopique.

En effet, on peut observer les bactéries lactobacilles (lactobacillus) et les streptocoques lactiques (streptococcus thermophilus) responsables de la fermentation du lait, présentes en quantité plus importante dans un lait cru que dans un lait pasteurisé.

Document 6 : observation d'une goutte de lait au microscope optique



Lactobacilles et streptocoques colorés au bleu de méthylène et observés au microscope optique de grossissement commercial $\times 1000$.

Les lactobacilles se présentent sous forme de bâtonnets de taille moyenne $3 \mu\text{m}$ et les streptocoques sous forme de coques arrondies formant des chaînettes de taille moyenne $1 \mu\text{m}$.

D'après https://www.biotop.net/Microbio/TP/Bact_lact_obs.htm

Pour observer ces bactéries, on utilise un microscope optique.

L'objectif et l'oculaire du microscope sont respectivement deux lentilles convergentes (L_1) et (L_2) de distances focales f'_1 et f'_2 et de centres optiques O_1 et O_2 .

On appelle intervalle optique, noté Δ , la distance qui sépare le foyer image F'_1 de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire.

Ce microscope est réglé pour donner une image $A'B'$ à l'infini d'un objet réel AB , perpendiculaire à l'axe optique.

Données :

- Intervalle optique $\Delta = 160,0 \text{ mm}$
- Valeur absolue du grandissement de l'objectif $|\gamma| = 40$
- Grossissement de l'oculaire $G_{\text{oculaire}} = 10$

A.1. Préciser l'intérêt de former une image finale $A'B'$ à l'infini.

A.2. Donner la position de l'image intermédiaire A_1B_1 permettant l'observation de l'image $A'B'$ à l'infini.

A.3. Compléter le schéma de principe du microscope sur le **DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE**, montrant l'obtention de l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par l'objectif et de l'image finale $A'B'$. Justifier en traçant les rayons lumineux correspondants.

A.4. Définir le grandissement de l'objectif.

Par ailleurs, la relation donnant le grandissement γ de l'objectif est $|\gamma| = \frac{\Delta}{f'_1}$.

A.5. Montrer que la valeur de la distance focale f'_1 de l'objectif est 4,0 mm.

La relation de conjugaison est :	<ul style="list-style-type: none"> • F' : foyer image de la lentille (L) • A : point objet situé sur l'axe optique • A' : image de A par la lentille (L)
$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$	

A.6. En utilisant la relation de conjugaison, déterminer à quelle distance $\overline{O_1A}$ du centre optique O_1 de l'objectif il faut placer l'objet AB pour avoir une image finale $A'B'$ à l'infini.

La relation donnant le grossissement commercial est $G_C = |\gamma| \times G_{\text{oculaire}}$.

A.7. Calculer le grossissement commercial G_C .

Le pouvoir de résolution d'un microscope est limité par le phénomène de diffraction. La dimension AB_{min} du plus petit objet observable est donnée par la relation ci-dessous :

$AB_{min} = \frac{0,6 \times \lambda}{O.N.}$	<ul style="list-style-type: none"> • λ : longueur d'onde de la radiation utilisée • $O.N.$: ouverture numérique de l'objectif
--	--

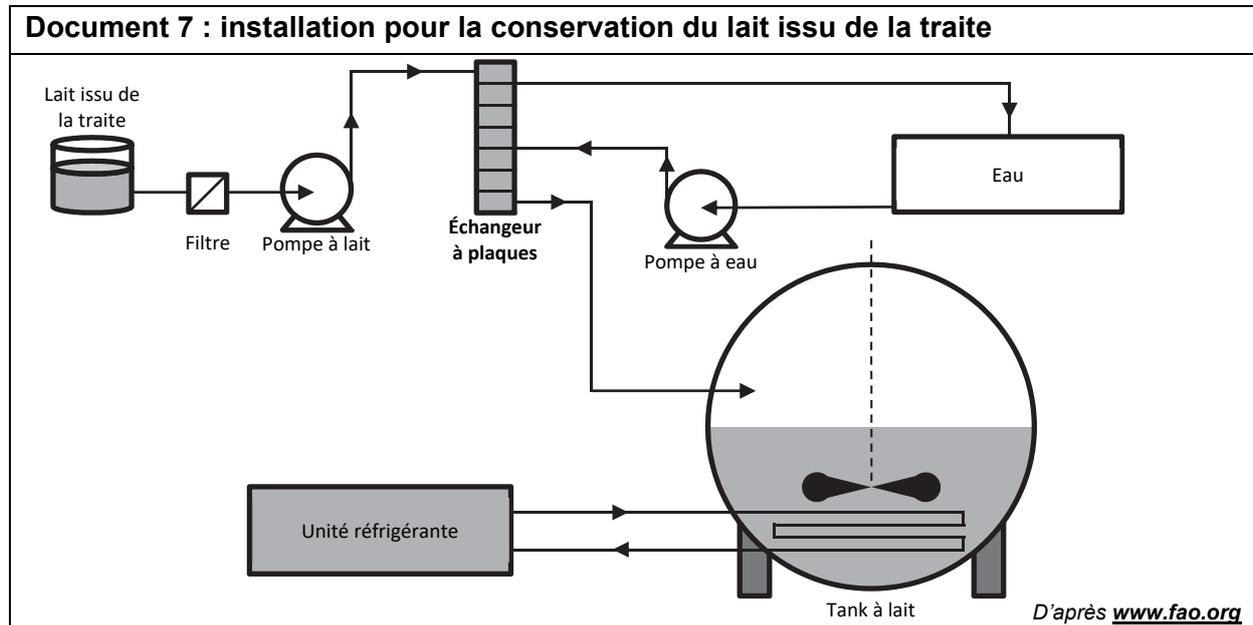
Valeur absolue du grandissement de l'objectif $ \gamma $	10	20	40	100
Ouverture numérique de l'objectif $O.N.$	0,25	0,40	0,65	1,25

A.8. Déterminer la valeur de AB_{min} pour l'objectif étudié sous une longueur d'onde $\lambda = 500$ nm.

A.9. Indiquer si les lactobacilles sont observables dans ces conditions. Même question avec les streptocoques. Justifier vos réponses.

Partie B - Stockage du lait dans les « tanks » à lait (6 points)

Le document 7 présente l'installation permettant la conservation du lait.



B.1. Étude de l'échangeur thermique du « tank » à lait

Le lait issu de la traite est préalablement refroidi par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques fonctionnant à contre-courant, dont le schéma se trouve sur le **DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

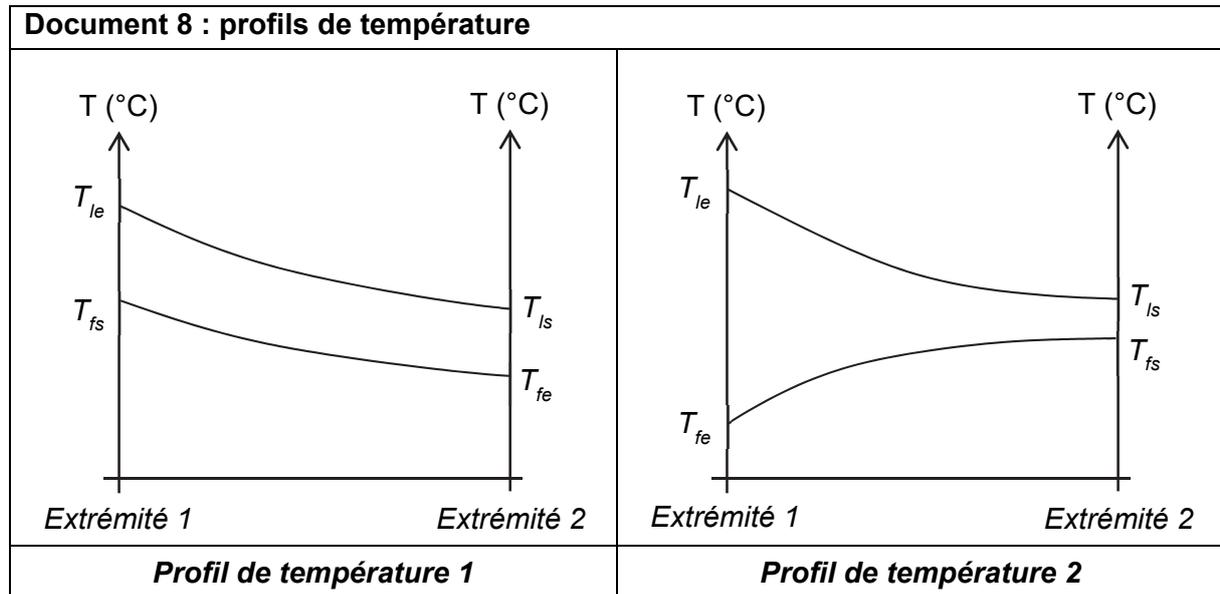
B.1.1. Identifier le fluide chaud et le fluide froid dans cet échangeur thermique.

B.1.2. Compléter le schéma du **DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE** en indiquant :

- par des flèches le sens de circulation du lait sachant que le sens du fluide froid est indiqué (on note T_{fe} la température d'entrée et T_{fs} celle de sortie) ;
- les températures d'entrée et de sortie du lait dans l'échangeur, notées respectivement T_{le} et T_{ls} .

B.1.3. Citer les modes de transferts thermiques mis en jeu dans cet échangeur.

B.1.4. Parmi les deux profils de température ci-après, indiquer celui qui correspond au fonctionnement de l'échangeur thermique étudié. Justifier la réponse.



B.2. Étude des parois de la cuve du « tank » à lait

L'utilisation dans les fermes du « tank » pour réfrigérer et conserver le lait s'est développée depuis 1945. Le procédé consiste à verser le lait, au fur et à mesure de la traite, dans un « tank » assurant automatiquement et rapidement sa réfrigération, puis sa conservation à basse température.

Document 9 : description d'un « tank » à lait

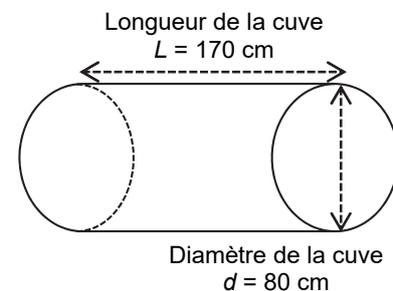
Un « tank » réfrigéré se compose essentiellement de deux parties :

- une cuve isolée (composée de deux parois d'acier inoxydable d'épaisseur 3,0 mm chacune entre lesquelles se trouve une couche de 76 mm de mousse de polyuréthane expansée) dont la forme est considérée comme cylindrique ;
- un système de régulation permettant de refroidir le lait et de maintenir sa température constante.

Lorsque la cuve est remplie, son isolation thermique doit permettre de maintenir une température du lait voisine de 4 °C. Celle-ci ne doit pas augmenter de plus de 1 °C en 24 heures pour une température extérieure de 32 °C même en cas de coupure d'électricité.



D'après www.groupeserap.fr



D'après www.fao.org, revue « Technical and investment guidelines for milk cooling centres »

Document 10 : formulaire

Variation d'énergie thermique Q (en J)	Résistance thermique globale R_{th} (en $K \cdot W^{-1}$)
$Q = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$ avec : <i>m</i> : masse d'une substance (en kg) <i>c</i> : capacité thermique massique de la substance (en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) θ_f et θ_i : températures finale et initiale (en °C)	$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$ avec : λ : conductivité thermique (en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) <i>S</i> : surface de la paroi (en m^2) <i>e</i> : épaisseur (en m)
Puissance thermique P_{th} (en W) – parfois appelée flux thermique ϕ	
$P_{th} = \frac{ \Delta\theta }{R_{th}}$ avec : $\Delta\theta$: différence de température entre les deux parois considérées R_{th} : résistance thermique globale de la paroi (en $K \cdot W^{-1}$)	
Aire <i>S</i> d'un disque de rayon <i>r</i>	Périmètre <i>P</i> d'un cercle de rayon <i>r</i>
$S = \pi r^2$	$P = 2\pi r$

Données :

- Masse volumique du lait : $\rho_{lait} = 1,03 \text{ kg} \cdot L^{-1}$
- Capacité thermique massique du lait : $c_{lait} = 3,8 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Valeurs des conductivités thermiques de :
 - l'acier inoxydable : $\lambda_{acier} = 16,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 - la mousse de polyuréthane expansée : $\lambda_{mousse} = 0,023 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

On cherche à déterminer si les parois de la cuve du « tank » sont suffisamment isolées en cas de coupure d'électricité. On considère que la cuve est remplie de 450 L de lait.

B.2.1. D'après le schéma du document 9 et en considérant que la cuve est cylindrique, montrer que la valeur de l'aire de la surface totale extérieure de la cuve S_{tot} est d'environ $5,3 \text{ m}^2$.

Pour calculer la valeur de la résistance thermique globale de la paroi, on considérera que les surfaces des différents matériaux la constituant ont toutes une aire égale à $5,3 \text{ m}^2$.

B.2.2. Montrer alors que la valeur de la résistance thermique globale R_{th} de la paroi de la cuve est de $0,62 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

B.2.3. Déterminer la valeur de la puissance thermique échangée P_{th} à travers la paroi de la cuve lorsque la température extérieure est de $32,0 \text{ °C}$ et que le lait est à $4,0 \text{ °C}$ à l'intérieur.

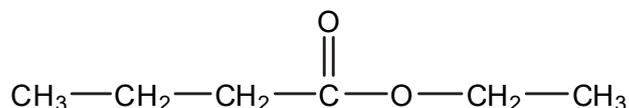
B.2.4. En déduire que la valeur de l'énergie thermique Q reçue en 24 heures par le lait est égale à $3,9 \times 10^6 \text{ J}$.

B.2.5. Déterminer alors la valeur de l'augmentation de température du lait dans la cuve au bout de 24 heures.

B.2.6. Conclure sur l'efficacité de l'isolation de la cuve.

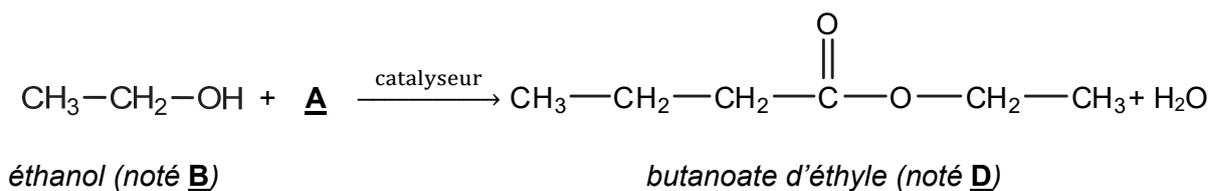
Partie C - Étude d'un lait aromatisé à l'ananas (6 points)

On cherche à étudier un arôme alimentaire d'ananas utilisé par l'industrie laitière dans les laits aromatisés ou les yaourts dont le principal ingrédient est le butanoate d'éthyle. Sa formule semi-développée est donnée ci-dessous.



C.1. Nommer la réaction chimique permettant de synthétiser cette famille de molécules ?

Document 11 : équation de la réaction de synthèse du butanoate d'éthyle
--



- C.2. Indiquer la formule semi-développée du réactif A permettant de compléter l'équation de la réaction de synthèse du butanoate d'éthyle.
- C.3. Dans le **DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE**, ajouter les flèches courbes (une seule flèche sur chaque étape) illustrant le mouvement de doublet d'électrons de l'étape 1 et de l'étape 2.
- C.4. Parmi les termes suivants choisir le terme correspondant à l'étape 4 :
réduction addition substitution élimination
- C.5. Préciser le rôle du catalyseur.
- C.6. À l'aide du mécanisme réactionnel, identifier le catalyseur de cette réaction. Justifier votre réponse.

La synthèse du butanoate d'éthyle est réalisée de la façon suivante :

Document 12 : protocole opératoire utilisé pour la synthèse du butanoate d'éthyle

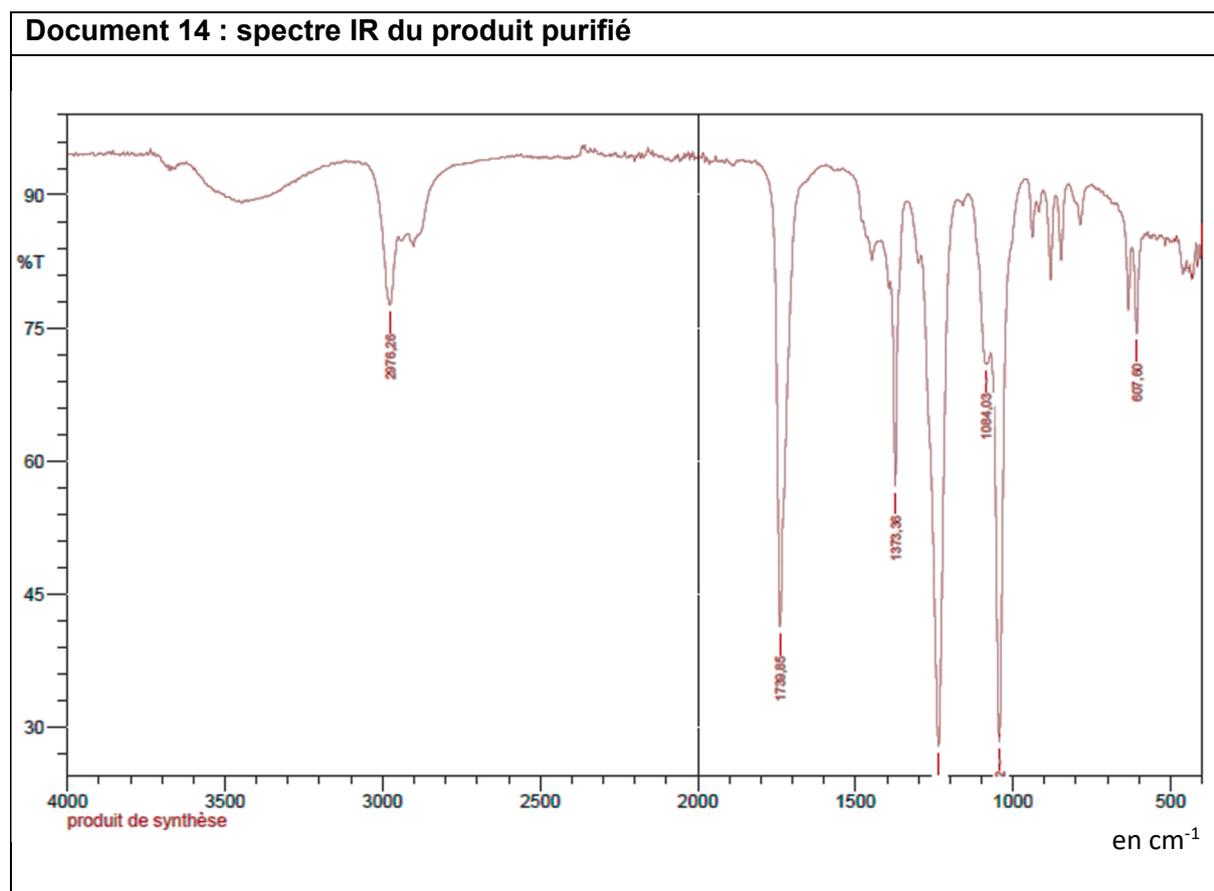
- Une quantité de matière $n_A = 0,500$ mol de réactif **A** et un volume $V_B = 100$ mL d'éthanol (**B**) sont introduits dans un ballon de 250 mL. Une masse de 0,42 g d'acide paratoluène sulfonique (jouant le même rôle que l'acide sulfurique H_2SO_4) est ajoutée.
- Le mélange est chauffé à reflux pendant 2 heures.
- Après isolement du produit brut, le butanoate d'éthyle est purifié.
- La masse de butanoate d'éthyle ainsi obtenue est $m_D = 31,9$ g.

Document 13 : caractéristiques physiques des composés

éthanol	butanoate d'éthyle
<ul style="list-style-type: none">• liquide incolore• masse volumique : $\rho_B = 0,789$ g.mL⁻¹• masse molaire : $M_B = 46,06$ g.mol⁻¹• température d'ébullition : $T_{eb}(\mathbf{B}) = 79$ °C à la pression de 1 bar	<ul style="list-style-type: none">• liquide incolore• masse molaire : $M_D = 116,12$ g.mol⁻¹• température d'ébullition : $T_{eb}(\mathbf{D}) = 121$ °C à la pression de 1 bar

C.7. Indiquer une méthode de purification possible du butanoate d'éthyle obtenu dans la synthèse étudiée, en justifiant votre réponse.

L'analyse par spectroscopie IR du produit purifié a donné les résultats suivants :



Document 15 : table des nombres d'onde des vibrations en spectroscopie infrarouge

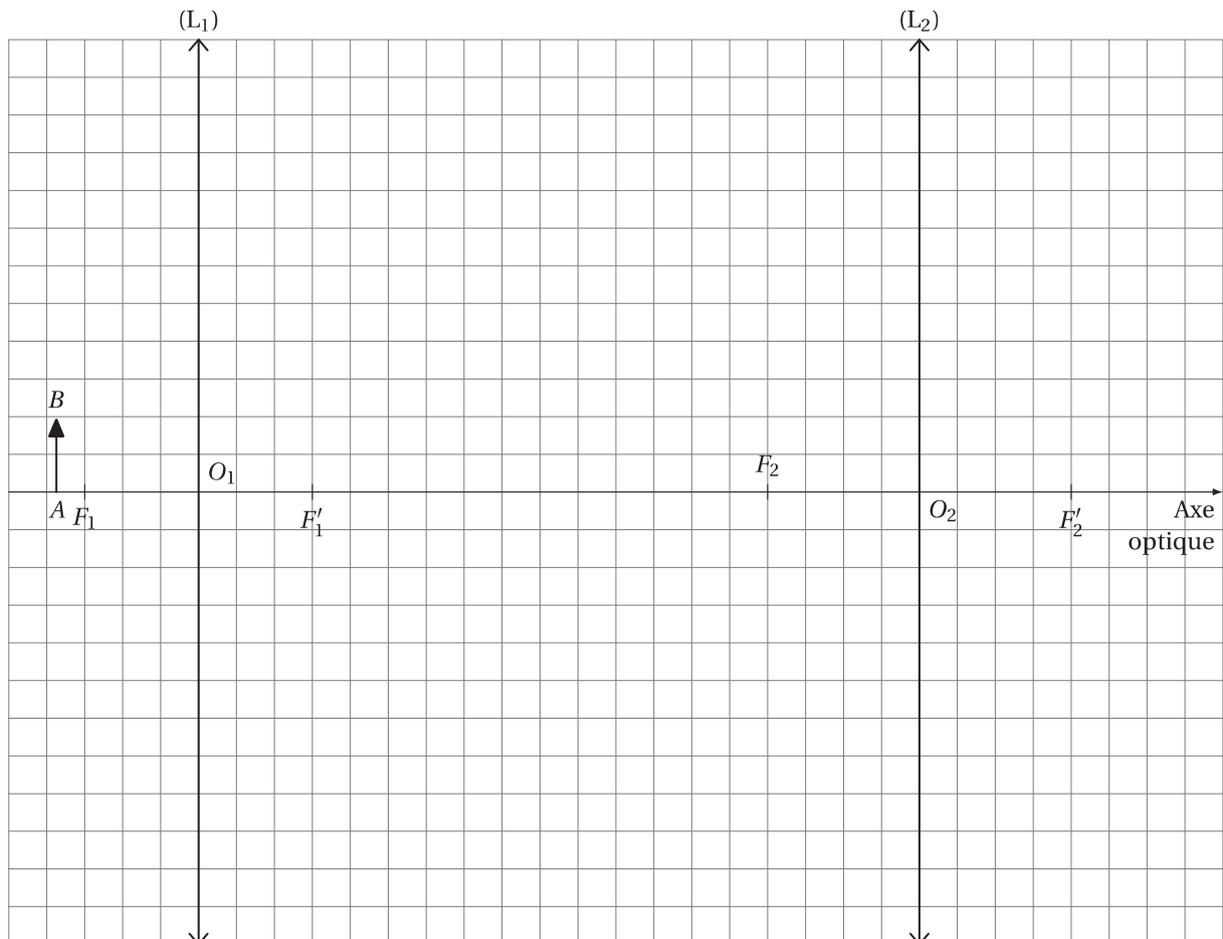
Liaison	Nature de la vibration	Nombre d'onde (en cm^{-1})
O-H	Élongation	3200-3600
C _{tri} -H	Élongation	3030-3100
C _{tet} -H	Élongation	2850-2970
O-H acide carboxylique	Élongation	2500-3200
C=O ester	Élongation	1735-1750
C=O aldéhyde / cétone	Élongation	1700-1740
C=O acide carboxylique	Élongation	1700-1725
C=C	Élongation	1620-1690
C _{tet} -H	Déformation	1430-1470
C _{tet} -H (CH ₃)	Déformation	1370-1390
C _{tet} -OH	Élongation	1010-1200

C _{tet} : C tétragonal		C _{tri} : C trigonal	
---------------------------------	--	-------------------------------	--

- C.8.** À partir du spectre infrarouge, indiquer si le butanoate d'éthyle obtenu est pur. Justifier votre réponse.
- C.9.** Montrer que le rendement de la synthèse dans ces conditions est de 55 %.
- C.10.** Citer une méthode permettant d'augmenter le rendement de la réaction.

DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE (2 pages)

Partie A – Observation des bactéries présentes dans le lait à l'aide d'un microscope optique (l'échelle n'est pas respectée)



Partie B – Étude de l'échangeur thermique du tank à lait

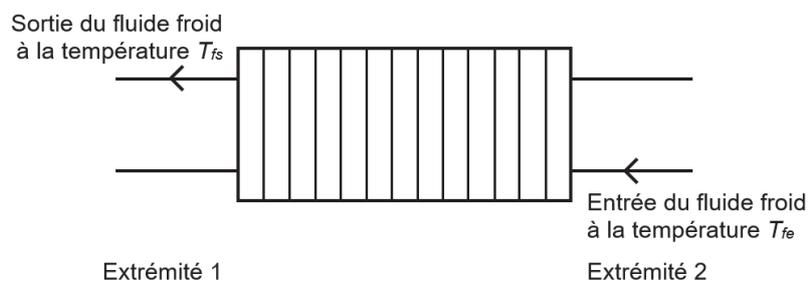


Schéma de l'échangeur thermique à plaques

Partie C – Étude d'un lait aromatisé à l'ananas

Mécanisme de la synthèse du butanoate d'éthyle

