

Le 26/04/2021

Devoir Maison

Page : 1 / 4

**I. Chaud, chaud, chocolat**

- Les trois parties de cet exercice sont indépendantes l'une de l'autre.
- Un élève de Terminale, a l'habitude de boire un chocolat bien chaud.

**Données pour l'ensemble de l'exercice**

- Le gobelet en carton a une contenance de 300 mL rempli aux 2/3 par du chocolat chaud, initialement à la température  $\theta_0 = 66^\circ\text{C}$ .
- Le système choisi est le chocolat avec le gobelet. On considérera le système fermé c'est-à-dire qu'il peut échanger de l'énergie mais pas de matière avec l'extérieur.
- Température extérieure  $\theta_1 = 19^\circ\text{C}$
- Masse volumique du chocolat chaud :  $\rho = 1,00 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- Capacité thermique massique du système :  $c = 4200 \text{ S.I.}$  (unités du système international).

**1. Un chocolat chaud au petit déjeuner**

- Avant de partir au lycée, l'élève se prépare un chocolat chaud pour son petit déjeuner. Il dépose son gobelet sur la table du salon mais reçoit un coup de téléphone. Il discute assez longtemps avec son correspondant sans pouvoir boire son chocolat chaud. Quand il revient, son chocolat chaud est à la température extérieure du salon.
- Au cours de cette transformation thermodynamique, l'énergie interne du chocolat varie.

1.1. Définir l'énergie totale du système en expliquant chacun des termes.

1.2. Rappeler les deux modes de transferts de l'énergie entre un système et le milieu extérieur. Rappeler les conventions algébriques de ces modes de transfert.

1.3. Rappeler l'expression du 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique de manière générale puis l'appliquer au cas particulier d'un tel système incompressible.

1.4. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne  $\Delta U$  du système en fonction des températures  $\theta_0$  et  $\theta_1$ , de la capacité thermique massique du chocolat  $c$  et de sa masse  $m$ .

Préciser l'unité S.I. de chacun des termes en particulier l'unité de la capacité thermique massique.

1.5. Calculer la variation de l'énergie interne  $\Delta U$  du système.

**2. Un petit tour aux micro-ondes**

- L'élève se rend compte que son chocolat est trop froid. Il décide de le réchauffer en utilisant un four à micro-ondes. Pour cela, il le règle sur la position 3 et durant une durée  $\Delta t = 30 \text{ s}$ .

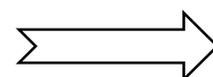
Le système contenant le chocolat atteint une température  $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$ .

- On rappelle la relation entre la quantité de chaleur  $Q$  et la puissance thermique  $P$  lorsque celle-ci est constante :

$$|Q| = P \times \Delta t$$

2.1. Donner l'expression de la quantité de chaleur  $Q$  échangée entre le four et le système. Calculer cette quantité de chaleur.

2.2. A quelle puissance thermique  $P$  correspond la position 3 du four ?



### 3. Un chocolat chaud au lycée

- L'après-midi, cet élève de Terminale suit la spécialité Physique Chimie. Lors de la 1<sup>ère</sup> heure de cours avec le professeur, celui-ci explique comment obtenir l'équation différentielle de la loi thermique de Newton.
- L'élève veut appliquer ceci pour comprendre l'évolution de la température du chocolat chaud au cours du temps préparé lors de son petit déjeuner.
- Le professeur le guide en lui donnant ces informations :
  - **Loi thermique de Newton** :  $\Phi = h \times S \times (\theta_1 - \theta(t))$  où  $\Phi$  est le flux thermique,  $h$  un coefficient d'échange,  $S$  la surface d'échange et  $\theta_1$  la température extérieure constante considéré comme un thermostat.
  - Quand  $\Delta t$  tend vers 0, la grandeur **Error!** tend vers la dérivée de la température  $\theta$  en fonction du temps notée **Error!**.
  - La définition du flux thermique  $\Phi$  est connue de l'élève.

3.1. Démontrer que l'équation différentielle peut s'écrire sous la forme :

$$\text{Error!} + \text{Error!} \times \theta(t) = \text{Error!}$$

avec  $\tau = \text{Error!}$  : constante de temps caractéristique de l'évolution de la température du système

*Détailler votre raisonnement.*

*Tout début de raisonnement sera valorisé.*

- Une solution de cette équation différentielle est :  $\theta(t) = A \times \exp(-\text{Error!}) + B$ , avec  $A$  et  $B$  des constantes et  $\exp()$  la fonction exponentielle ( $e^x$  pour le mathématicien).

3.2. Pour un temps très long (infini pour le mathématicien), quelle est la température du système ? En déduire la valeur de la constante  $B$ .

3.3. A l'instant initial ( $t = 0$  pour le mathématicien), quelle est la température du système ? En déduire la valeur de la constante  $A$ .

#### ➤ Les questions suivantes sont relativement indépendantes des questions précédentes.

- La solution numérique de l'équation différentielle est  $\theta(t) = 47 \times e^{-0,0041 \times t} + 19$  avec  $\theta$  en °C et  $t$  en secondes.

3.4. Compléter le tableau de valeurs de la température  $\theta(t)$  à 1°C près .

- Tableau de valeurs à compléter pour  $\theta(t) = 47 \times e^{-0,0041 \times t} + 19$

$t$ (en s)	0	100	200	300	400	600	800	1 000
$\theta$ (en °C)								

3.5. Tracer alors la courbe de l'évolution de la température  $\theta$  en fonction du temps : Echelles : abscisses : 1 cm pour 100 s ; ordonnées : 1 cm pour 10°C

3.6. Comment trouver la valeur de la constante  $\tau$  par une construction graphique ? Expliquer la méthode.

3.7. Après tous ces efforts, le professeur accorde « gentiment » une pause maximale de 5 min entre les 2h de cours.

Pour éviter de se brûler, l'élève veut boire un chocolat chaud à la température  $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$  en utilisant le modèle mathématique précédent.

L'élève aura-t-il le temps de boire son chocolat chaud sans se brûler ? Ou devra-t-il passer par la vie scolaire pour revenir en cours s'il tient absolument à boire son chocolat chaud ?

Détailler votre raisonnement. Discuter des hypothèses émises lors de la résolution de ce problème.

#### **Bonus (0,5 point) : Répondre à l'une des deux questions suivantes**

3.8. A l'aide de la solution numérique de  $\theta(t)$ , déterminer mathématiquement à quel instant  $t$  (à 1s près) l'élève peut boire son chocolat chaud à la température  $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$ .

Aide du mathématicien : la fonction  $\ln(x)$  est la fonction réciproque de la fonction exponentielle  $e^x$ .

- 3.9. Le gobelet est assimilable à un cylindre droit de hauteur H et de rayon  $r = 3,2$  cm.  
Déterminer la hauteur H (en cm) du gobelet.

## II. Des esters à odeur âcre à une odeur fruitée

- Les esters ont souvent une odeur agréable. On les trouve naturellement dans les fruits dont ils sont souvent responsables de l'arôme. La parfumerie et l'industrie alimentaire utilisent aussi les esters et les obtiennent par extraction ou par synthèse.

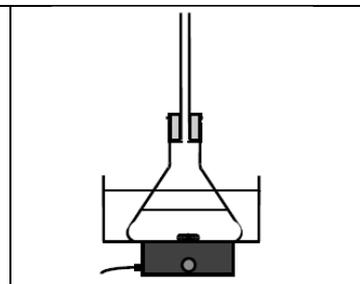
Ester	Odeur
méthanoate d'éthyle	fruitée
méthanoate de butyle	fruitée
éthanoate de méthyle	fruitée
éthanoate de propyle	poire

Ester	Odeur
éthanoate de butyle	pomme
éthanoate d'octyle	orange
propanoate d'éthyle	fraise
butanoate d'éthyle	ananas

- De tous temps, certains « nez » éduqués ont été capables de distinguer des odeurs très voisines et d'identifier ainsi des esters. De nos jours, les espèces organiques peuvent être identifiées par des méthodes spectroscopiques (infrarouge, résonance magnétique nucléaire, etc.).
- Il est relativement aisé de passer d'un produit ayant une odeur âcre, comme l'acide formique, à l'odeur fruitée d'un ester. C'est ce qu'illustre le protocole décrit ci-après de la synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique.

### Protocole

- Préparer un bain-marie à une température d'environ  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sous la hotte, verser dans un erlenmeyer 7,5 mL d'acide formique, puis 18,0 mL de butan-1-ol, ajouter 3 gouttes d'acide sulfurique concentré. Surmonter l'erlenmeyer contenant le mélange d'un réfrigérant à air, le placer dans le bain-marie et assurer une agitation douce.



- L'équation de la réaction de synthèse est :



- On se propose d'étudier les caractéristiques de la synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique puis d'identifier des esters.

### 1. Réaction de synthèse du méthanoate de butyle et son mécanisme

- Quel est le nom en nomenclature officielle de l'acide formique ?
- Recopier l'équation de la réaction de synthèse étudiée en utilisant une écriture topologique. Encadrer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

### 2. Optimisation du protocole de synthèse

- Démontrer que le mélange de réactifs dans le protocole décrit est bien stœchiométrique en déterminant la quantité de matière de chaque réactif.

➤ Données :

Espèce chimique	Masse molaire moléculaire	masse volumique
acide formique	$M_1 = 46,0\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\rho_1 = 1,22\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$
butan-1-ol	$M_2 = 74,0\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\rho_2 = 0,81\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$

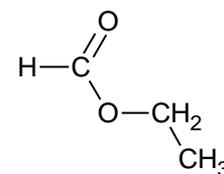
- Identifier dans le **document ci dessous**, la courbe correspondant au protocole décrit. Justifier.
- Définir le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  puis déterminer celui-ci à l'aide de la courbe choisie à la question précédente.
- Après avoir rappelé les facteurs cinétiques possibles, effectuer une analyse détaillée de l'influence des conditions expérimentales sur la synthèse du méthanoate de butyle.

2.5 Dans l'état final, la quantité d'ester obtenue est  $n_f = 0,100$  mol. Calculer le rendement de cette réaction et la masse d'ester obtenue.

2.6. Comment peut on améliorer ce rendement ? Citer 2 méthodes.

### 3. Identification d'esters

- La distinction des esters par l'odeur peut être incertaine, en particulier dans le cas du méthanoate d'éthyle et de l'éthanoate de méthyle.
- La formule semi-développée du méthanoate d'éthyle est ci-contre.

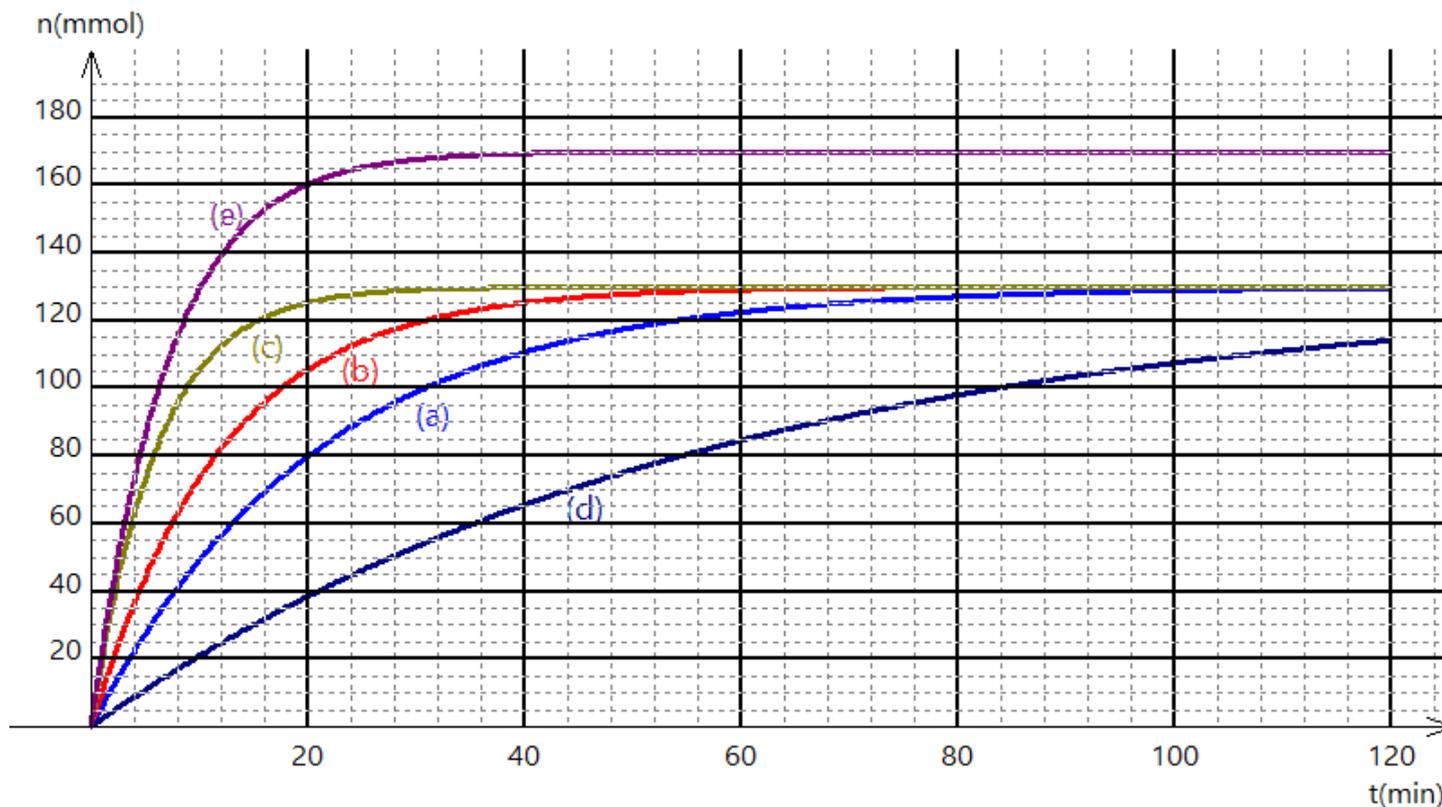


3.1. Indiquer la formule semi-développée de l'éthanoate de méthyle.

3.2. La spectroscopie IR permet-elle de distinguer l'éthanoate de méthyle du méthanoate d'éthyle ? Justifier.

#### Document 1 : Etude expérimentale de la synthèse du méthanoate de butyle

- Pour optimiser cette synthèse, des études expérimentales sont menées dans différentes conditions. La quantité initiale de butan-1-ol utilisée est celle du protocole. Les résultats sont représentés par les graphiques ci-dessous :



- Courbe (a) : 50°C sans ajout d'acide sulfurique. Réactifs en proportions stœchiométriques.
- Courbe (b) : 20°C avec ajout d'acide sulfurique. Réactifs en proportions stœchiométriques.
- Courbe (c) : 50°C avec ajout d'acide sulfurique. Réactifs en proportions stœchiométriques.
- Courbe (d) : 20°C sans ajout d'acide sulfurique. Réactifs en proportions stœchiométriques.
- Courbe (e) : 20 °C sans ajout d'acide sulfurique. Acide formique en excès.