

Nom: Prénom: Classe: Date:

Pouvoir calorifique d'un combustible

Objectifs	Classe
<input type="checkbox"/> Écrire l'équation de réaction de combustion complète d'un alcane et d'un alcool. <input type="checkbox"/> Estimer l'énergie molaire de réaction pour une transformation en phase gazeuse à partir de la donnée des énergies des liaisons. <input type="checkbox"/> Mettre en œuvre une expérience pour estimer le pouvoir calorifique d'un combustible.	1 ^{ère} Spé Durée 2 h
Durée	2 h

Sur la paillasse

- un support universel et une pince "3 doigts",
- une canette vide,
- une bougie chauffe-plat,
- une balance de précision,
- un thermomètre,
- un briquet,
- une éprouvette graduée de 250 mL.

Document 1: Combustion et équation

- La réaction de combustion est une réaction d'oxydoréduction au cours de laquelle :
 - un combustible s'oxyde;
 - un comburant, généralement le dioxygène, se réduit.
- Pour activer une réaction, une énergie (d'activation) doit être apportée.
- Lors de la combustion d'une molécule organique (composée de carbone, d'hydrogène et éventuellement d'oxygène), dans le dioxygène, les seuls produits sont de l'eau et du dioxyde de carbone, si la combustion est complète.
 - Remarque : les alcanes, les alcools, les sucres, les lipides, le bois,... sont des combustibles organiques.

Document 2: Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique d'un combustible PC est l'énergie dégagée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible. Il s'exprime en joule par kilogramme ($J \cdot kg^{-1}$).

L'énergie libérée Q par la combustion d'une masse m de combustible, peut se calculer par la relation:

$$Q = m \times PC \quad (1)$$

avec Q l'énergie libérée en joules (J), m en kilogrammes (kg) et PC en joules par kilogrammes ($J \cdot kg^{-1}$).

Document 3: Énergie thermique

L'énergie thermique Q échangée par un corps pur de masse m , dont la température varie de θ_i (température initiale) à θ_f (température finale), sans changer d'état, est donnée par la relation:

$$Q = m \times c \times (\theta_f - \theta_i) \quad (2)$$

avec Q en J, m en kg, θ_i et θ_f en $^{\circ}C$ et c est la capacité thermique massique du corps en $J \cdot kg^{-1}$.

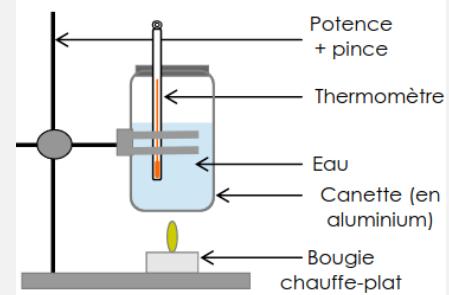
Données: $c_{eau} = 4180 J \cdot ^{\circ}C^{-1} \cdot kg^{-1}$ et $c_{alu} = 900 J \cdot ^{\circ}C^{-1} \cdot kg^{-1}$

1 Pouvoir calorifique de la bougie

1. Suivre le protocole expérimental suivant¹ et remplir le tableau ci-dessous avec les données du problème.



- Peser la masse de la canette m_{can} .
- Peser la masse de la bougie m_{avant} .
- Mesurer un volume d'eau $V = 200\text{mL}$ et la verser dans le récipient.
- Mettre en place le montage, agiter l'eau (pour homogénéiser). Allumer la bougie et noter simultanément la température initiale et le temps initial.
- Agiter en permanence, lorsque la température approche 30°C , ou que la différence de température est de 20°C entre le début et la fin de l'expérience, éteindre la bougie et noter le temps ainsi que la température finale.
- Peser à nouveau la masse de la bougie m_{apres} (après refroidissement de celle-ci).



m_{can}	m_{avant}	θ_i	t_i	θ_f	t_f	m_{apres}

2. Pour cette manipulation, calculer les valeurs de l'énergie thermique Q_1 reçue par l'eau, de l'énergie thermique Q_2 reçue par la canette (cf document 3). En déduire l'énergie thermique Q reçue par l'ensemble du système eau + canette.

Solution: Calcul de l'énergie thermique reçue par l'eau :

$$m_{eau} = \rho_{eau} \times V = 1,0\text{kg}\cdot\text{L}^{-1} \times 0,200\text{L} = 0,200\text{kg}$$

donc

$$\begin{aligned} Q_1 &= m_{eau} \times c_{eau} \times (\theta_f - \theta_i) \\ Q_1 &= 0,200\text{kg} \times 4180\text{J}\cdot\text{^\circ C}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1} \times (\theta_f - \theta_i) \\ Q_1 &= 836\text{J}\cdot\text{K}^{-1} \times (\theta_f - \theta_i) \end{aligned}$$

Calcul de l'énergie thermique reçue par la canette :

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_{can} \times c_{alu} \times (\theta_f - \theta_i) \\ Q_2 &= m_{can} \times 900\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times (\theta_f - \theta_i) \end{aligned}$$

Énergie thermique totale :

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ Q &= [836 + 900 \times m_{can}] \times (\theta_f - \theta_i) \text{ en J} \end{aligned}$$

¹ TP basé sur le travail des formateurs de l'académie d'Amiens.

3. Nous faisons l'hypothèse que toute l'énergie libérée par la combustion de la bougie a été absorbée par la canette avec son eau. En utilisant le résultat précédent (et le document 2), déterminer la valeur expérimentale du pouvoir calorifique de la bougie PC .

Solution: D'après le bilan énergétique : Énergie libérée par la combustion = Énergie absorbée par le système

$$\begin{aligned} Q_{\text{combustion}} &= Q \\ m_{\text{brûlée}} \times PC &= Q \end{aligned}$$

Avec $m_{\text{brûlée}} = m_{\text{avant}} - m_{\text{apres}}$

$$\begin{aligned} PC &= \frac{Q}{m_{\text{brûlée}}} \\ PC &= \frac{[836 + 900 \times m_{\text{can}}] \times (\theta_f - \theta_i)}{m_{\text{avant}} - m_{\text{apres}}} \end{aligned}$$

Le résultat sera exprimé en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

4. Dans le tableau ci-après, nous allons reporter l'ensemble des résultats de la classe, afin d'améliorer la précision du résultat.

Groupe	1	2	3	4	5	6	Moyenne \overline{PC}	Incertitude type $u(PC)$
PC ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)								

On rappelle que:

- $u(PC) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ avec σ l'écart-type à calculer à l'aide de votre calculatrice, et N est le nombre de valeurs,
- L'incertitude-type d'une mesure est écrite avec **un ou deux chiffres significatifs**, avec un arrondi par excès,
- $u(PC)$: pour « uncertainty » sur PC.

5. Le résultat expérimental est alors donné sous la forme suivante: $PC = \overline{PC} \pm u(PC)$ ou encore $\overline{PC} - u(PC) < PC < \overline{PC} + u(PC)$.

Donner le résultat de PC , sous les formes précédentes, mais avec des valeurs numériques et un nombre de chiffres significatifs cohérents.

Solution: Exemple avec des valeurs typiques : Si $\overline{PC} = 32,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $u(PC) = 2,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Résultat : $PC = (32,5 \pm 2,1) \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Ou encore : $30,4 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} < PC < 34,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

6. Une bougie est essentiellement constituée d'acide stéarique. Le pouvoir calorifique de celui-ci, donné par les tables, est $PC_0 = 37 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Conclure par rapport à la valeur expérimentale trouvée et commenter sur les sources d'erreurs possibles.

Solution: La valeur expérimentale est généralement inférieure à la valeur théorique de $37 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

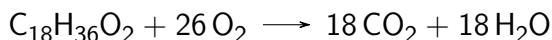
Sources d'erreurs possibles :

- Pertes thermiques vers l'environnement (convection, rayonnement)
- Combustion incomplète de la bougie
- Évaporation d'une partie de l'eau
- Incertitudes sur les mesures de masse et température
- Capacité thermique de la mèche et des suies non prise en compte

2 Masse de CO_2 produite au cours de la combustion

7. La formule brute de l'acide stéarique est $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$. Écrire l'équation de la réaction de combustion (complète) de l'acide stéarique.

Solution:



8. Calculer la quantité de matière $n(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2)$ d'acide stéarique ayant réagi lors de la manipulation. Donnée: masse molaire de l'acide stéarique $M(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2) = 284 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Solution:

$$n(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2) = \frac{m_{brûlée}}{M(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2)}$$

$$n(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2) = \frac{m_{avant} - m_{apres}}{284 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$n(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2) = \frac{m_{avant} - m_{apres}}{0,284 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

9. Lors d'une combustion, le dioxygène est en excès (le plus souvent), le réactif limitant est donc le combustible, ici l'acide stéarique. En utilisant l'équation de la réaction, déterminer la quantité de matière $n(\text{CO}_2)$ de dioxyde de carbone produit lors de la manipulation. Puis, en déduire la masse correspondante $m(\text{CO}_2)$. (L'usage d'un tableau d'avancement est ici superflu). Donnée: masse molaire du dioxyde de carbone : $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Solution: D'après l'équation de réaction : $C_{18}H_{36}O_2 + 26 O_2 \longrightarrow 18 CO_2 + 18 H_2O$

Les coefficients stœchiométriques montrent que : 1 mole de $C_{18}H_{36}O_2$ produit 18 moles de CO_2

$$n(CO_2) = 18 \times n(C_{18}H_{36}O_2)$$

$$n(CO_2) = 18 \times \frac{m_{avant} - m_{apres}}{0,284 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

Masse de CO_2 produite :

$$m(CO_2) = n(CO_2) \times M(CO_2)$$

$$m(CO_2) = 18 \times \frac{m_{avant} - m_{apres}}{0,284 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 44 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$m(CO_2) = \frac{18 \times 44 \times 10^{-3}}{0,284} \times (m_{avant} - m_{apres})$$

$$m(CO_2) = 2,79 \times (m_{avant} - m_{apres})$$

3 Énergie molaire de réaction

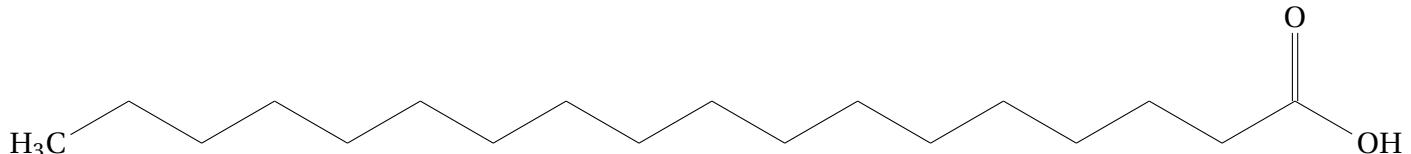


Figure 1: Schéma de Lewis de l'acide stéarique.

10. Calculer l'énergie molaire de combustion de l'acide stéarique, puis calculer son pouvoir calorifique. On remarquera que le pouvoir calorique PC et l'énergie molaire de réaction E_r sont liés par la relation: $E_r = -PC \times M$ avec E_r en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$, PC en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ et M la masse molaire en $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Solution: Pour calculer l'énergie molaire de réaction, on utilise

$$E_r = \sum E_{\text{liaisons rompues}} - \sum E_{\text{liaisons formées}}$$

Liaisons rompues dans $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2 + 26 \text{O}_2$:

- 17 liaisons C—C : $17 \times 345 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 5865 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 35 liaisons C—H : $35 \times 415 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 14525 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 1 liaison C=O : $1 \times 804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 1 liaison C—O : $1 \times 358 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 358 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 1 liaison O—H : $1 \times 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 26 liaisons O=O : $26 \times 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 12948 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Total énergie rompue : $34963 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Liaisons formées dans $18 \text{CO}_2 + 18 \text{H}_2\text{O}$:

- 36 liaisons C=O : $36 \times 804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 28944 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 36 liaisons O—H : $36 \times 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 16668 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Total énergie formée : $45612 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$E_r = 34963 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 45612 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$E_r = -10649 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -10,65 \text{ MJ/mol}$$

Pouvoir calorifique :

$$PC = \frac{|E_r|}{M} = \frac{10,65 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}}{0,284 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$PC = 37,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Document 4: Énergies de liaison

Liaison	Énergie de liaison en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
C—C	345
C—O	358
C—H	415
H—H	436
O—H	463
O=O	498
C=C	615
C=O	804