

1 Réactions de combustion

► Une combustion nécessite la présence de trois éléments représentés dans le « triangle du feu » : le **combustible**, le **comburant** et l'**énergie d'activation** : si l'un d'entre eux vient à manquer, alors la combustion s'arrête.



► Un **combustible organique** comporte les éléments carbone et hydrogène. Il est issu des gisements de pétrole ou de gaz, des mines de charbon (photo) ou de la **biomasse**.



► Lors de la **combustion complète** d'un alcane ou d'un alcool, il y a formation d'eau et de dioxyde de carbone.

3 Combustion et enjeux sociétaux

► Les combustibles organiques permettent à l'humanité de se chauffer, de cuisiner, de se déplacer, de produire des biens. Ces points constituent le versant positif de leur utilisation.

Un des versants négatifs réside dans la production d'espèces polluantes, dont le CO_2 , **gaz à effet de serre** nocif pour l'environnement et la santé.

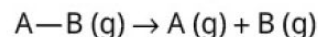
2 Aspect énergétique des combustions

► Le **pouvoir calorifique massique PC** est l'énergie libérée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible (en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$).

► L'**énergie Q** libérée par une masse m de combustible est calculée à partir du pouvoir calorifique massique du combustible mis en jeu :

$$\begin{array}{ccccc} \text{énergie libérée par} & & & & \text{pouvoir} \\ \text{la combustion (en J)} & \rightarrow & Q = m \cdot PC & \leftarrow & \text{calorifique} \\ & & \uparrow & & \text{massique} \\ & & \text{masse de combustible} & & \text{(en J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \\ & & \text{(en kg)} & & \end{array}$$

► En phase gazeuse, la dissociation d'une liaison chimique $\text{A}-\text{B}$ nécessite une **énergie de liaison** $E_{\text{A}-\text{B}}$ (en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$) positive pour obtenir les deux atomes A et B isolés selon l'équation de réaction :



► L'**énergie molaire de réaction ΔE** (en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$) est l'énergie libérée par la combustion d'une mole de combustible.

L'énergie molaire de réaction peut être déterminée à partir des énergies de liaison :

$$\begin{array}{ccccc} \text{énergie molaire de} & & & & \\ \text{réaction (en J} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} & \downarrow & & & \\ \Delta E = \sum E_{\text{liaisons rompues}} - \sum E_{\text{liaisons formées}} & & & & \\ \uparrow & & \uparrow & & \\ \text{somme des énergies} & & \text{somme des énergies} & & \\ \text{des liaisons rompues} & & \text{des liaisons formées} & & \\ \text{(en J} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} & & \text{(en J} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} & & \end{array}$$

Elle est négative puisque les combustions sont exothermiques.

Par ailleurs, l'extraction et le transport des combustibles organiques constituent des sources de risques. Enfin, la majorité des combustibles sont d'origine fossile, et donc **non renouvelables**.

► Des alternatives aux combustibles fossiles sont développées : **agrocarburants**, **biogaz**, etc.

1 Réactions de combustion

	A	B	C
1 Un combustible organique :	brûle avec le dioxygène.	contient l'élément oxygène.	nécessite un comburant pour brûler.
2 Une combustion complète :	ne contribue pas à l'effet de serre.	produit de l'eau et une petite molécule.	ne laisse pas de résidus solides.
3 L'équation de combustion complète du butane s'écrit :	$2 \text{C}_4\text{H}_{10} + \text{O}_2 \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{O}_2 \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_4\text{H}_{10} + \frac{13}{2} \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O}$
4 Lorsqu'un combustible liquide brûle dans l'air :	le combustible est le réactif limitant.	ce sont les vapeurs de combustibles qui brûlent.	la chaleur permet la vaporisation du combustible.

2 Aspect énergétique des combustions

	A	B	C
5 Le pouvoir calorifique massique PC du méthanol vaut $20,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.	Pour une masse m de méthanol, l'énergie Q libérée vaut $m \cdot PC$.	Pour une masse m de méthanol, l'énergie Q libérée vaut $\frac{PC}{m}$.	Pour $m = 20 \text{ g}$ de méthanol, l'énergie Q libérée vaut 400 kJ .
6 L'énergie de la liaison $A-B$:	se note E_{A-B} et s'exprime en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.	se note Δ_{A-B} et s'exprime en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.	se note E_{A-B} et s'exprime en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$.
7 L'énergie molaire de réaction peut être déterminée par :	la somme des énergies des liaisons rompues et des liaisons formées.	la somme des énergies des liaisons rompues moins celle des liaisons formées.	la somme des énergies des liaisons formées moins celle des liaisons rompues.

3 Combustion et enjeux sociétaux

	A	B	C
8 Les combustibles d'origine fossile :	ont permis le développement des sociétés occidentales.	sont en général dangereux pour l'environnement.	sont produits à partir de la biomasse.
9 Il est possible :	de remplacer immédiatement les combustibles issus du pétrole.	de se passer des combustions dans notre société.	de réduire la part des énergies d'origine fossile.
10 Les gaz à effet de serre :	sont surtout produits par les combustions.	ont une teneur nettement plus marquée dans l'atmosphère depuis la première révolution industrielle.	ont un impact sur le réchauffement climatique.
11 Les agrocarburants :	sont issus de l'agriculture biologique et sont sans danger.	sont produits à partir de la biomasse.	posent des problèmes pour l'environnement et la nutrition des populations.

DONNÉES

$M_H = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M_C = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M_O = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Combustible	Pouvoir calorifique massique inférieur (en MJ · kg ⁻¹)
bois	15
charbon	15 à 27
éthanol	29
gazole	45
octane	45
heptane	45
méthane	50

FIG. 4 Valeurs de quelques pouvoirs calorifiques massiques inférieurs de combustibles.

Liaison	Énergie de liaison (en kJ · 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

FIG. 5 Valeurs de quelques énergies de liaison.

EXEMPLE

L'équation de combustion complète du propane est :
 $\text{C}_3\text{H}_8 (\text{g}) + 5 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$.

Au cours de cette combustion :

- 2 liaisons C—C, 8 liaisons C—H et 5 liaisons O=O sont rompues ;
- 6 liaisons C=O et 8 liaisons O—H sont formées (FIG. 6).

L'énergie molaire de réaction est :

$$\Delta E = (2 E_{\text{C—C}} + 8 E_{\text{C—H}} + 5 E_{\text{O=O}}) - (6 E_{\text{C=O}} + 8 E_{\text{O—H}})$$

$$\Delta E = (2 \times 345 + 8 \times 415 + 5 \times 498) - (6 \times 804 + 8 \times 463)$$

$$\Delta E = -2,0 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

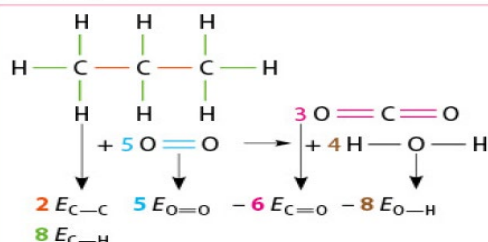
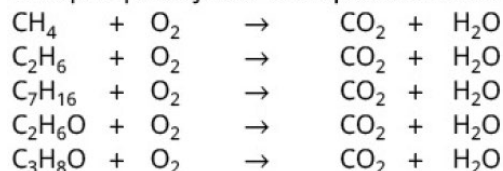


FIG. 6 Rupture et formation des liaisons chimiques lors de la combustion du propane.

15 Équations de combustion

Recopier puis ajuster les équations suivantes :



16 Équations de combustion complète

Écrire les équations ajustées correspondant à la combustion complète de l'hexane $\text{C}_6\text{H}_{14} (\text{l})$, de l'hexan-1-ol $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O} (\text{l})$ et du propan-1-ol $\text{C}_3\text{H}_8\text{O} (\text{l})$.

18 Combustion du butane

Le gaz contenu dans la plupart des briquets est du butane, qui est maintenu sous pression afin de demeurer à l'état liquide. Il est détendu et brûle à l'état gazeux lorsqu'on actionne le briquet.

Donnée : masse volumique du butane liquide : $580 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Écrire l'équation de la combustion complète du gaz butane $\text{C}_4\text{H}_{10} (\text{g})$.
2. Quelle masse d'eau est formée par la combustion complète des 10 mL de butane contenu dans un briquet ?

21 Conversions

Recopier le tableau ci-dessous et compléter les données manquantes :

Espèce chimique	Énergie de combustion (MJ · mol ⁻¹)	Pouvoir calorifique massique (MJ · kg ⁻¹)
CH_4		50
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	1,3	
C_8H_{18}	5,1	

22 Liaisons et énergie molaire de combustion

1. Indiquer pour chacune des molécules des trois équations suivantes le nombre et la nature des liaisons les composant :

- a. $\text{CH}_4 (\text{g}) + 2 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$
- b. $\text{H}_3\text{C—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH} (\text{g}) + 6 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 4 \text{CO}_2 (\text{g}) + 5 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$
- c. $\text{C}_3\text{H}_8 (\text{g}) + 5 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$

2. En déduire l'énergie molaire de chaque combustion.

31 Pouvoir calorifique massique



Une bonbonne de gaz butane pleine pèse 24,0 kg et 11,2 kg lorsqu'elle est vide. Elle alimente le chauffe-eau d'une caravane, permettant d'élever la température de l'eau de 45,0 °C. Cette bonbonne est vidée en quatre semaines avec une consommation quotidienne de 100 L d'eau chaude pour six vacanciers.

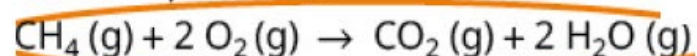
Données : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$; il faut fournir 4,18 kJ pour élever la température d'1 kg d'eau de 1,0 °C.

1. **Déterminer** la masse de butane m_{butane} contenue dans une bonbonne pleine.
2. **Déterminer** la masse d'eau m_{eau} chauffée quotidiennement, et en déduire l'énergie Q_{eau} nécessaire pour cette élévation de température.
3. **Expliquer** le lien entre l'énergie de combustion Q et l'énergie permettant de chauffer la masse d'eau Q_{eau} .
4. En déduire la valeur du pouvoir calorifique massique du butane.
5. **Comparer** avec la valeur indiquée dans les tables : $PC = 45,7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

33 Énergie de combustion du méthane dans l'air



Le méthane, le plus simple des alcanes, est le composant essentiel du gaz naturel. Il est utilisé dans les chaudières individuelles, où il brûle avec le dioxygène de l'air. Son équation de combustion complète est :



Données : énergies de liaisons p. 157.

1. **Expliquer** pourquoi il est possible d'utiliser les énergies de liaison chimique pour déterminer une énergie molaire de réaction.
2. **Déterminer** l'énergie molaire de la réaction.
3. **Comparer** la valeur obtenue à celle donnée dans les tables : $-802 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.