

Chapitre 11 : les combustions

I) La combustion : une réaction chimique exothermique

Exothermique (= qui libère de l'énergie)

A Définition de la combustion

DÉFINITION Combustion

Une **combustion** est une réaction chimique exothermique entre :

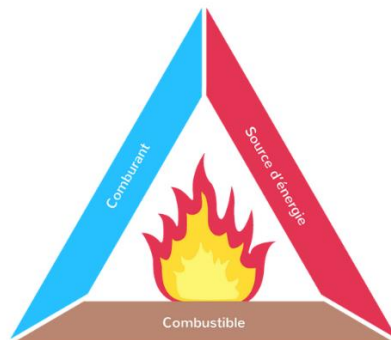
- un combustible : espèce chimique susceptible de brûler ;
 - un comburant, généralement le dioxygène : espèce chimique entretenant la combustion.
- Une source d'énergie (chaleur, étincelle, etc.) est nécessaire pour que la combustion démarre.

EXEMPLE

Une cheminée est le siège d'une combustion initiée par un premier apport de chaleur. Le combustible est le bois et le comburant est le dioxygène.

PROPRIÉTÉ

Les trois éléments, combustible, comburant et source d'énergie, représentent le **triangle de feu** : si un seul manque, il est impossible de réaliser une combustion.



B Type de combustible

On distingue les combustibles en fonction de leur vitesse de renouvellement.

PROPRIÉTÉ

On distingue deux types de combustible.

Type de combustible	Définition	Exemple
Ressource renouvelable	Se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain	Le bois
Ressource non renouvelable	Se renouvelle moins rapidement qu'on ne la consomme, et de manière négligeable à l'échelle du temps humain	le charbon, le pétrole et ses dérivés (essence, diesel, kérosène, etc.)

C Équation de réaction de combustion d'un alcane et d'un alcool

Les **alcanes** et les **alcools** sont des molécules organiques, le plus souvent dérivées du pétrole, qui sont de **très bons combustibles**.

EXEMPLE

- L'essence est un mélange de plusieurs hydrocarbures dont deux alcanes, l'heptane C_7H_{16} et l'octane C_8H_{18} qui en font un très bon combustible.
- L'éthanol C_2H_6O est le composant majoritaire de « l'alcool à brûler ».

Les équations de réaction de combustion des alcanes et des alcools ont toutes des points communs.

PROPRIÉTÉ

En présence de suffisamment de dioxygène, les combustions (dites complètes) des alcanes et des alcools peuvent être **modélisées par une réaction d'oxydoréduction** entre les couples

O_2 / H_2O et $CO_2 /$ combustible.

Ainsi, pour ces combustions :

- Les **réactifs** sont toujours le combustible (l'alcane ou l'alcool) et le dioxygène.
- Les **produits** sont toujours le dioxyde de carbone et l'eau.

Leur bilan est donc :

combustible + dioxygène \longrightarrow dioxyde de carbone + eau

Comme pour toute transformation chimique, les coefficients stœchiométriques des espèces chimiques impliquées dans cette réaction doivent être ajustés afin de respecter les lois de conservation.

Exemple :

Ecrire la réaction d'oxydoréduction modélisant la combustion complète du butane $C_4H_{10}(g)$

O_2 / H_2O

CO_2 / C_4H_{10}

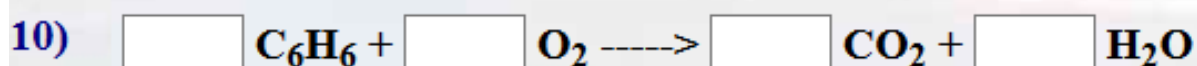
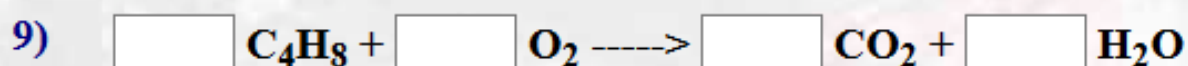
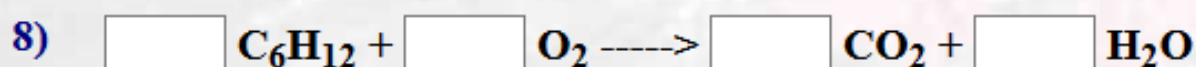
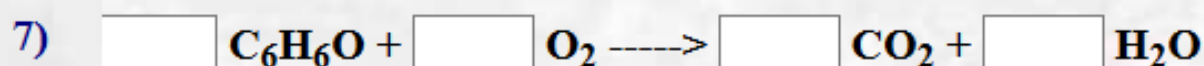
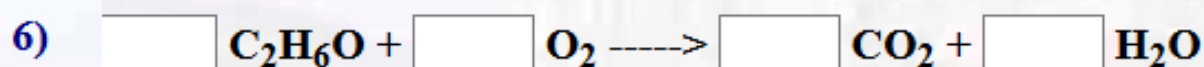
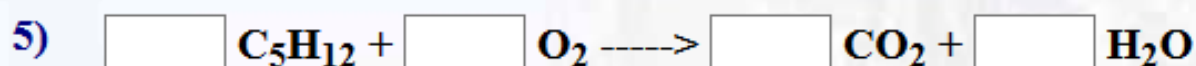
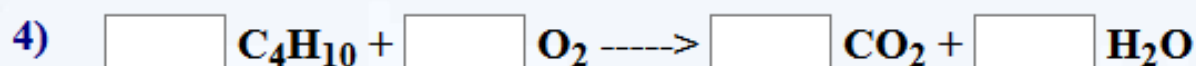
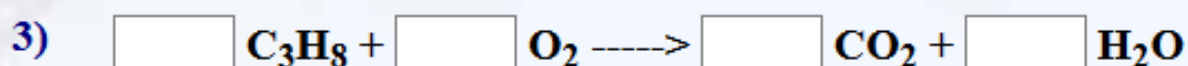
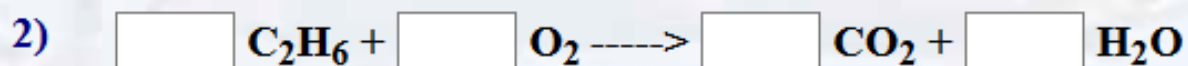
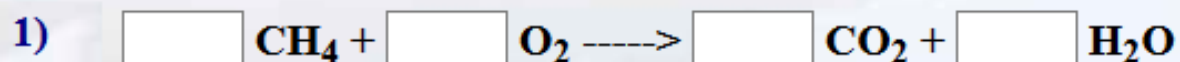
Même question avec l'éthanol C_2H_6O

O_2 / H_2O

CO_2 / C_2H_6O

Attention : par soucis de rapidité, on peut directement ajuster les équations de réactions des combustions, en ajustant les éléments dans cet ordre : carbone C, puis hydrogène H et enfin oxygène O. (Soit l'ordre « CHO »)

Exemples : ajuster directement les équations de combustions suivantes :



II) Énergie libérée par une combustion

Une réaction de combustion est exothermique. Elle libère donc de l'énergie.

Celle-ci peut être calculée à partir de la quantité de matière de combustible consommé ou de sa masse.

A) Énergie molaire de combustion

DÉFINITION Énergie molaire de combustion

L'énergie molaire E_m de combustion d'une espèce chimique est l'énergie libérée par la combustion d'une mole de cette espèce chimique. Elle s'exprime donc en $J \cdot mol^{-1}$.

EXEMPLE

L'énergie molaire de combustion du propane est $2,219 \times 10^6 J \cdot mol^{-1}$.

B) Pouvoir calorifique massique

DÉFINITION

Le **pouvoir calorifique** PC d'un combustible est l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de ce combustible. Il s'exprime donc en $J \cdot kg^{-1}$.

EXEMPLE

Le pouvoir calorifique de l'essence est de $47,3 \times 10^6 J \cdot kg^{-1}$.

Grandeur	Formule	Exemple
Quantité de matière du combustible et son énergie molaire de combustion	$E_{(J)} = n_{(mol)} \times E_{m(J \cdot mol^{-1})}$	L'énergie libérée par la combustion de 2,0 mol de propane est : $E = n \times E_m = 2,0 \times 2,219 \cdot 10^6 = 4,4 \times 10^6 J$
Masse du combustible et son pouvoir calorifique	$E_{(J)} = m_{(kg)} \times PC_{m(J \cdot kg^{-1})}$	L'énergie libérée par la combustion de 10 kg d'essence est : $E = m \times PC = 10 \times 47,3 \cdot 10^6 = 4,7 \times 10^8 J$

D Interprétation microscopique

1. Énergie de liaison

La formation et la rupture d'une liaison covalente nécessitent un transfert d'énergie.

DÉFINITION Énergie de liaison

L'énergie molaire de liaison d'une molécule diatomique AB est l'énergie qu'il faut fournir pour rompre les liaisons d'une mole de molécule AB à l'état gazeux, en ses deux atomes A(g) et B(g). Elle est toujours positive et s'exprime en kJ/mol.

Liaison	E liaison Énergie consommée par la rupture de la liaison (kJ·mol ⁻¹)
C-H	415
C-C	348
C-O	350
C=O	804
O=O	498
O-H	463

2. Détermination de l'énergie molaire de combustion

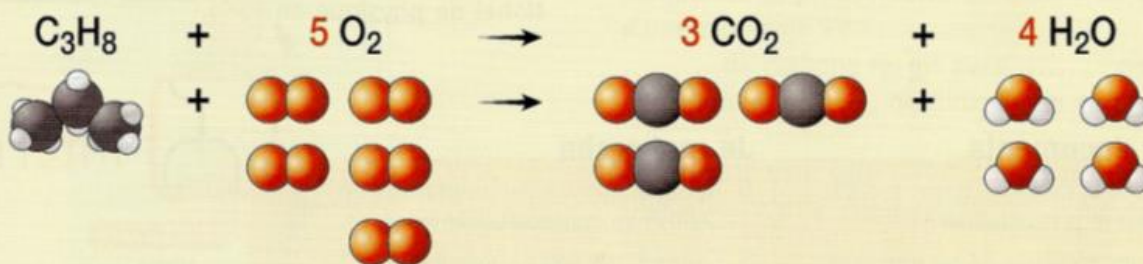
L'énergie libérée par la combustion d'une espèce chimique a pour origine la modification des structures moléculaires.

La rupture des liaisons des réactifs consomme de l'énergie, mais la formation des nouvelles liaisons dans les produits en libère davantage.

EXEMPLE

Lors de la combustion du propane, des liaisons doivent être rompues et d'autres formées.

D'après son équation :



3 atomes de carbone / 8 atomes d'hydrogène / 10 atomes d'oxygène de chaque côté.

- Les liaisons à rompre pour consommer les réactifs sont : 3C-C, 8C-H et 5O=O
- Les liaisons à établir pour former les produits sont : 6C=O, 8H-O.

PROPRIÉTÉ

L'énergie molaire de combustion d'une espèce chimique peut être calculée à partir des énergies de liaison.

On modélise la combustion par un mécanisme à deux étapes :

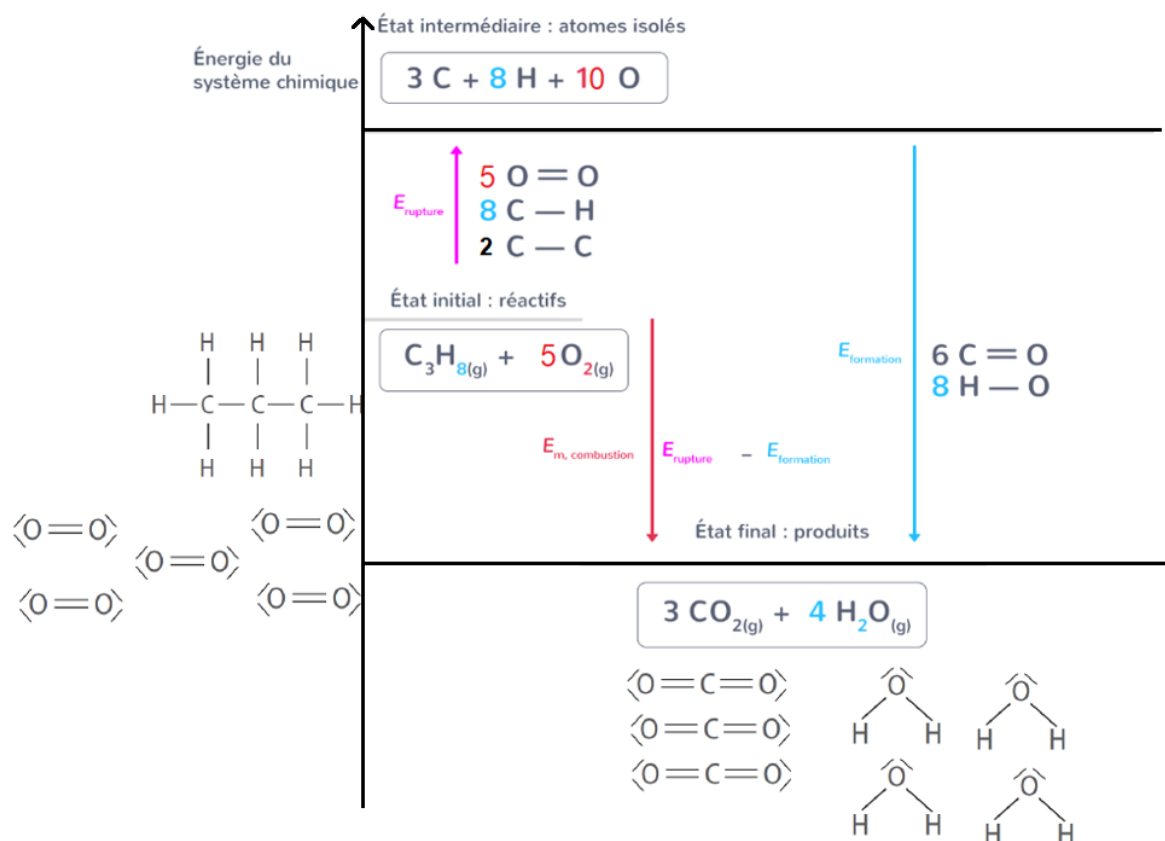
- dans la première étape, toutes les liaisons covalentes des réactifs sont rompues, ce qui donne un état intermédiaire, et fictif, de plus haute énergie dans lequel tous les atomes sont isolés ;
- dans la seconde étape, ces atomes isolés forment les liaisons covalentes nécessaires à la formation des produits. Cet état correspond à une énergie plus faible du système et est donc plus stable.

L'énergie molaire de combustion est donc :

$$E_{m,comb} = \sum E_{liaisons rompues} - \sum E_{liaisons formées}$$

Exemple :

Energie de combustion du propane



Calculons l'énergie molaire de combustion du propane

$$E_{m,comb} = \sum E_{liaisons rompues} - \sum E_{liaisons formées}$$

$$E_{m,comb} = 2.E_{l(C-C)} + 8.E_{l(C-H)} + 5.E_{l(O=O)} - 6.E_{l(C=O)} - 8.E_{l(O-H)}$$

$$E_{m,comb} = 2 \times 348 + 8 \times 415 + 5 \times 498 - 6 \times (804) - 8 \times (463) = -2022 \text{ kJ / mol}$$

Exemple 2 :

Calculer l'énergie molaire de combustion de l'éthanol C_2H_6O

III) Enjeux sociétaux

La question énergétique est au cœur des préoccupations internationales.

L'économie mondiale se trouve face à un double défi : **répondre aux besoins énergétiques croissants** afin de contribuer au développement des pays les plus pauvres (**doc. 11**) tout en **réduisant l'impact environnemental** de l'utilisation de ces énergies.

► Les combustions sont utilisées dans des domaines très variés tels que : **transport** (moteur à explosion) ; **domestique** (chauffage, cuisson des aliments, production d'eau chaude) ; **énergétique** (centrale thermique) ; **métallurgique** (pyrométallurgie, forgeage, fonderie), **astronautique** (propulsion des fusées).

► Dans le **domaine domestique**, les combustions présentent différents risques tels que : **incendie**, **explosion**, **asphyxie** par consommation du dioxygène, **intoxication** par production de monoxyde de carbone lors d'une combustion incomplète.

► L'utilisation de combustibles fossiles présente également **des risques pour l'être humain et son environnement** : réchauffement climatique dû aux gaz à effet de serre tel que le dioxyde de carbone, pollution atmosphérique, marées noires, explosions minières.

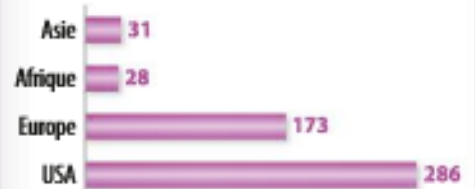
► Pour **réduire l'émission de gaz à effet de serre** (**doc. 12**) et **l'épuisement progressif des réserves de combustibles fossiles**, il est nécessaire d'agir sur plusieurs fronts :

– **Maîtriser la demande énergétique par un comportement plus responsable** des utilisateurs (consommer local, privilégier les transports en communs, réduire la consommation domestique) et la mise en place **de politiques d'incitation aux économies d'énergie** (développement des transports en commun, mesures réglementaires et fiscales pour améliorer l'isolation des bâtiments).

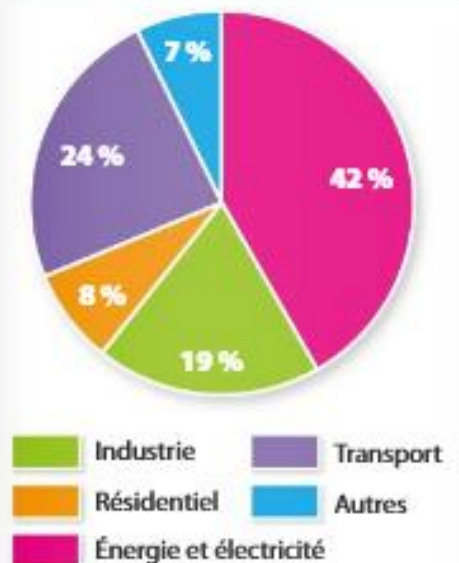
– **Améliorer l'efficacité énergétique** grâce à des systèmes plus performants de production et d'utilisation de l'énergie pour **diminuer la consommation d'énergies fossiles** (amélioration de l'efficacité des moteurs automobiles, des chaudières domestiques).

– **Émettre moins de CO₂** par la **substitution progressive des énergies fossiles par des énergies renouvelables** (géothermie, énergie solaire, énergie éolienne) et **en augmentant l'utilisation de bioéthanol et du dihydrogène** dans le secteur des transports.

Valeur en moyenne en GJ par habitant
Source : IEA



Doc. 11. Consommation moyenne d'énergie primaire par habitant en 2015.



Doc. 12. Part des émissions de CO₂ par secteur d'activité dans le monde.