

I La réaction de combustion

I-1 Rappel : lois de conservation au cours des réactions chimiques

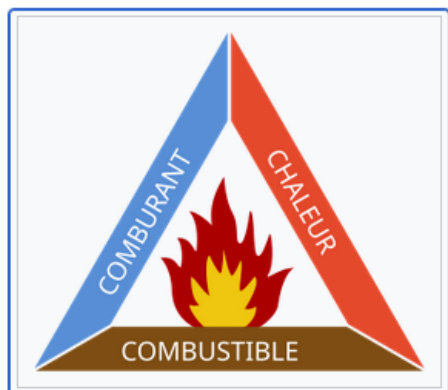
A compléter avec éléments chimiques, identique, réactifs, charge électrique, produits

Au cours d'une transformation chimique, il y a conservation :

- des _____ : les éléments présents dans les réactifs et les produits sont identiques
- de la _____ : la somme des charges des réactifs est égale à la somme des charges électriques des produits
- le nombre d'atomes de chaque élément présent dans les réactifs est _____ au nombre d'atomes de chaque élément dans les produits.
- la masse des _____ est égale à la _____ des produits

Pour obéir à ces lois de conservation, il faudra ajuster l'équation avec des nombres placés devant les symboles, appelés nombres stœchiométriques. Lorsque le nombre stœchiométrique est égale à un, il n'est pas écrit devant l'espèce chimique. Astuce: toujours commencer par équilibrer l'élément chimique qui intervient le plus dans les espèces chimiques.

I-2 Combustible et comburant



Le triangle du feu montrant les trois éléments indispensables pour une combustion chimique

Un **combustible** est une espèce chimique ou un mélange capable de brûler en présence d'un autre réactif, le **comburant**, pour fournir de l'énergie par transfert thermique. Un troisième élément est indispensable : l'énergie d'activation fournie par une source de chaleur (flamme, étincelle électrique etc..).

Les **combustibles organiques** les plus courants sont les alcanes et les alcools. Ils sont surtout d'origine fossile, comme le gaz naturel, le pétrole et le charbon. Un **carburant** est un combustible qui alimente un moteur thermique.

Exemple :

Le combustible peut être : Un liquide ou un solide liquéfiable (alcool, kérosène, fiouls légers ou lourds, essence, huile...qui sont issus du pétrole, etc...);

Un solide (biomasse, charbon, papier, carton, matières plastiques, etc...);

Un gaz (méthane, propane, butane, etc.).

Quel que soit l'état du combustible (liquide, gazeux ou solide), ce sont des **vapeurs qui brûlent**.

Ces vapeurs combustibles proviennent de la **vaporisation** d'un combustible liquide ou de la **pyrolyse** (c'est-à-dire la décomposition sous l'action de la chaleur) d'un combustible solide..

Remarque : **Biomasse** : matière organique d'origine végétale cultivée ou non, animale ou bactérienne.

I-3 Combustions.

A compléter avec les mots : oxydoréduction, dioxyde de carbone, combustible, eau, chaleur, rayonnement, comburant.

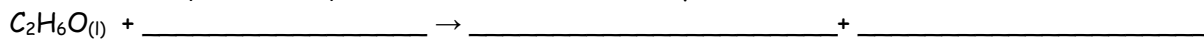
Une combustion est une réaction _____.

Elle correspond à l'oxydation d'un _____ par un _____ (en général le dioxygène de l'air).

Une combustion s'accompagne de production de _____, de rayonnement et de la formation de produits de combustion. Lors de la **combustion complète** d'un alcane ou d'un alcool, le composé organique réagit avec du dioxygène pour former, comme seuls produits, du _____ et de l'eau. Dans ce cas, la flamme est en partie bleue et peu éclairante. Cette réaction est exothermique (**fig.2**).

Lors de l'écriture d'une combustion complète, on utilise la conservation des éléments carbone et hydrogène pour ajuster les nombres stœchiométriques devant les réactifs et les produits. Puis on vérifie la conservation de l'élément oxygène en ajustant le nombre stœchiométrique devant le dioxygène O_2 .

Exercice 1 : équilibrer l'équation de la combustion complète de l'éthanol :



Exercice 2 : clique sur l'animation et équilibre [les équations chimiques de combustion](#) du carbone (C) et des alcanes méthane (CH_4) et butane (C_4H_{10}).

Remarque Si la quantité d'oxygène est insuffisante, la combustion est **incomplète** : il peut se former aussi du monoxyde de carbone CO (mortel si la quantité est trop importante!) et du carbone C. Dans ce cas, la flamme est jaune, lumineuse, et peut produire de la fumée noire (**fig.3**).

II) Aspect énergétique des combustions.

II-1 La combustion une réaction exothermique

Les transformations chimiques peuvent libérer de l'énergie et elles sont

_____, en prendre au milieu extérieur et elles sont

_____, ne pas avoir d'impact énergétique et elles sont _____.

La **combustion** provoque un dégagement de chaleur accompagné d'une émission de flammes et/ou de fumées. C'est une **réaction** _____, au cours de laquelle la structure moléculaire des réactifs se modifie, avec des liaisons qui se dissocient et d'autres qui se forment. Pour le milieu réactionnel, la réaction s'accompagne d'une perte d'énergie thermique, notée Q. L'unité légale d'énergie est le _____ (____) Par conséquent l'énergie thermique dégagée par une combustion est négative, car le système est le milieu réactionnel : Q _____ 0

II-2 Pouvoir calorifique massique PC d'un combustible

Le pouvoir calorifique massique d'un combustible, noté PC, est l'énergie dégagée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible. Il s'exprime en joule par kilogramme ($J.Kg^{-1}$). Par convention, PC est _____. La relation liant PC et l'énergie thermique fournie par le combustible est :

$$Q = - m \times PC$$

Unités légales ; Q(J) ; m(kg) ; PC($J.kg^{-1}$)

On parle de pouvoir calorifique massique supérieur PCS si l'eau produite par la combustion est à l'état liquide. Dans le cas où l'eau formée est à l'état vapeur, on parle de pouvoir calorifique massique inférieur PCI (**fig.4**).

Exercice : calculer la masse m de méthane nécessaire pour produire autant d'énergie thermique qu'une masse de bois $m_b = 15$ kg.

Combustible	Pouvoir calorifique massique inférieur (en $MJ \cdot kg^{-1}$)
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.

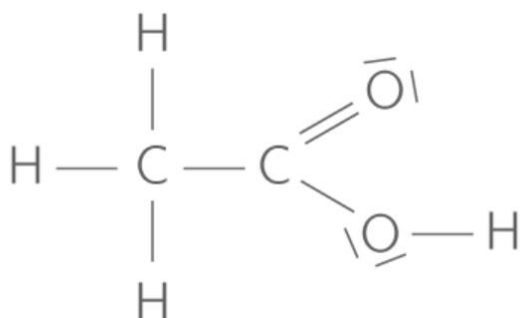
II-3 Energie molaire de liaison.

En phase gazeuse, la dissociation d'une liaison chimique A-B conduit aux atomes A et B isolés : $A-B_{(g)} \rightarrow A_{(g)} + B_{(g)}$

La dissociation d'une liaison chimique nécessite de l'énergie, nommée « énergie molaire de liaison », notée E_L . Elle s'exprime en joule par mol ($J \cdot mol^{-1}$) ou $kJ \cdot mol^{-1}$

Exemple :

liaison	C-H	C-C	C-O	O-H	C=O
Energie molaire de liaison ($J \cdot mol^{-1}$)	413	348	360	463	804



Exemple : pour dissocier une mole de liaisons C-H

($6,02 \times 10^{23}$ liaisons) il faut apporter une énergie de 413 kJ

Exercice : exprimer puis calculer l'énergie molaire de liaison E_L de l'acide éthanóïque. Quelle énergie faut-il apporter pour dissocier $n = 2$ mol d'acide éthanóïque ?

Par opposition, la formation d'une liaison chimique A-B à partir des atomes isolés A et B isolés : $A_{(g)} + B_{(g)} \rightarrow A-B_{(g)}$

produit une énergie molaire de formation $E_F = -E_L < 0$. Cette énergie est perdue par le système chimique au profit du milieu extérieur.

L'énergie molaire de combustion E_C est l'énergie libérée lors de la combustion par mole de combustible. Elle est négative puisque les combustions sont exothermiques. Elle est égale à la somme de l'énergie molaire de liaison E_L des réactifs et l'énergie molaire de formation E_F des produits formés : $E_C = E_L + E_F$ donc :

$$E_C = \sum E_{L(\text{réactifs})} - \sum E_{L(\text{produits})}$$

unité légale : E_C et E_L en joule par mole ($J \cdot mol^{-1}$)

Exercice : L'équation de combustion complète du propane est : $C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$
Calculer l'énergie molaire de combustion.

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 :

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

$$\Delta E = (2 \times 345 + 8 \times 415 + 5 \times 498) - (6 \times 804 + 8 \times 463) = -2,0 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

III) Combustions et enjeux sociétaux.

III-1 Applications.

Les combustions sont au cœur des révolutions industrielles des XIX^e et XX^e siècles.

Elles ont permis le développement de l'industrie avec les machines à vapeur, des transports avec les moteurs à essence ou diesel. Les conditions de vie se sont améliorées avec le chauffage central au gaz. L'électricité produite par les centrales thermiques a transformé le quotidien des personnes. Plus de 90% de l'énergie utilisée actuellement a comme origine une combustion ! La majeure partie des combustibles sont **non renouvelables**.

Risques.

En plus d'être hautement inflammables (risque d'incendie), les combustibles sont la plupart du temps nuisibles à l'environnement.

Dans le cas d'un incendie, les combustions entraînent des risques de brûlures ou d'asphyxie pour les personnes, de destruction pour les matériels et pour l'environnement.

Les combustions réalisées dans les moteurs, les chaudières ou les centrales thermiques produisent de nombreux gaz polluants, à effet de serre...dangereux pour les êtres humains et pour la nature (**fig.7**).



FIG. 7

Le mécanisme de l'effet de serre.

III-2 Axes d'études durables.



FIG. 8 Algues produisant des lipides pour les agrocarburants de troisième génération.

Les **rendements** des combustions peuvent être améliorés par la **cogénération**. Cette technique permet de récupérer une part plus importante de l'énergie d'une combustion en produisant simultanément de l'électricité et de la chaleur. L'origine des combustibles se diversifient. Par exemple, du biogaz est produit au sein d'unité de **méthanisation** par fermentation de matière organique. Le biogaz est brûlé sur place ou injecté dans le réseau de distribution.

Les **agrocarburants** sont des substituts aux combustibles pétroliers. Ceux de **première génération** sont synthétisés à partir de la partie comestible de plantes cultivées sur de grandes surfaces agricoles. Ils empiètent sur les surfaces agricoles destinées à l'alimentation humaine ou animale.

Les agrocarburants de **deuxième génération** sont en cours de développement. Les parties non comestibles des plantes et les déchets agricoles serviront à leur synthèse.

Enfin, des algues capables de synthétiser des lipides constituent la voie d'avenir pour la **troisième génération** des agrocarburants. A l'heure actuelle, des souches plus prometteuses d'algues doivent encore être sélectionnées. De plus, les méthodes d'extraction des lipides utilisées sont coûteuses en énergie, et nécessitent d'être améliorées (**fig.8**).

Vocabulaire.

Agrocarburant : Carburant obtenu à partir de la transformation de végétaux (oléagineux, céréales, canne à sucre, algues, etc).

Rendement : Quotient de l'énergie utile sur l'énergie produite.

Renouvelable : Se dit d'une source d'énergie, comme le vent, le soleil ou la biomasse, dont le renouvellement est « rapide » à l'échelle humaine.

C) Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique	
Notions et contenus Capacités exigibles	Activités expérimentales support de la formation
Combustibles organiques usuels. Modélisation d'une combustion par une réaction d'oxydo-réduction. Énergie molaire de réaction, pouvoir calorifique massique, énergie libérée lors d'une combustion. Interprétation microscopique en phase gazeuse : modification des structures moléculaires, énergie de liaison. Combustions et enjeux de société.	Citer des exemples de combustibles usuels. Écrire l'équation de réaction de combustion complète d'un alcane et d'un alcool. Estimer l'énergie molaire de réaction pour une transformation en phase gazeuse à partir de la donnée des énergies des liaisons. Mettre en œuvre une expérience pour estimer le pouvoir calorifique d'un combustible. Citer des applications usuelles qui mettent en œuvre des combustions et les risques associés. Citer des axes d'étude actuels d'applications s'inscrivant dans une perspective de développement durable.

.

.