

QU'EST CE LA COMBUSTION ?

Cette courte fiche a pour objectif de présenter une explication physique des réactions de combustion. Elle est accessible sans aucune connaissance scientifique préalable.

Nous nous proposons d'expliquer ici ce qu'est réellement la combustion, en commençant par définir de manière simple certaines idées scientifiques générales : les atomes, les réactions chimiques et l'énergie.

Nous allons tout d'abord essayer de comprendre de quoi est faite la matière, en décrivant les atomes qui la constituent. Puis, à l'aide d'un seul principe physique, nous allons pouvoir regarder la manière dont cette matière change, à un niveau invisible à l'œil nu, lors de la réaction chimique de combustion.

Nous serons alors capables d'interpréter des phénomènes visibles, que chacun peut rencontrer dans la vie courante : la lumière d'une bougie, la couleur d'une flamme, le bruit d'une explosion et même la manière dont fonctionne un extincteur.

Les résultats les plus importants sont résumés sous la forme du « triangle du feu », à la fin de la fiche.

La matière est composée d'atomes et de molécules.

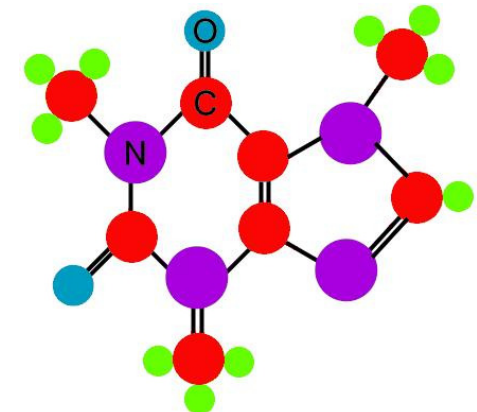
Les atomes sont des briques élémentaires de toute petite taille (environ 0.0000000001m), tellement petites qu'on a longtemps cru que rien ne pouvait être plus petit: atome vient de *atomos*, ce qui signifie « qui ne peut être divisé ». On recense 117 atomes différents, dont l'hydrogène (H), l'hélium (He), l'oxygène (O), le carbone (C), l'or (Au), le cuivre (Cu), l'uranium (U)... Chaque atome est représenté par une ou deux lettres.

Ces atomes peuvent s'assembler entre eux pour former des chaînes plus ou moins compliquées, qu'on appelle des molécules. Certaines molécules sont très simples. Par exemple: la molécule de dihydrogène H₂ est constituée de deux atomes d'hydrogène liés entre eux, la molécule de dioxygène O₂ est faite de deux atomes d'oxygène liés entre eux. D'autres sont beaucoup plus complexes. Par exemple: la molécule de caféine est un assemblage de 8 atomes de carbone, 10 atomes d'hydrogène, 4 atomes d'azote et 2 atomes d'oxygène.

Dihydrogène : H₂



Caféine : C₈H₁₀N₄O₂



Un principe physique clé : L'énergie doit être minimale.

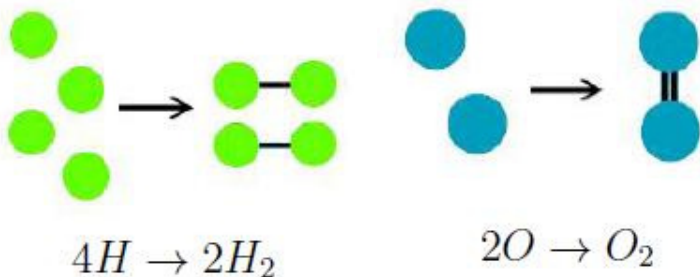
L'assemblage des atomes vérifie un principe très important, qui permet de comprendre les mécanismes de la combustion :

La nature a toujours tendance à rendre l'énergie d'un système la plus petite possible.

En effet, plus l'énergie est basse, plus le système, c'est-à-dire l'ensemble des objets qu'on regarde, est **stable**.

On peut le voir assez facilement avec un ballon de baudruche. Si le ballon est très gonflé, il possède beaucoup d'énergie et risque d'exploser à la moindre pichenette: il est peu stable. Au contraire, un ballon à moitié gonflé possède moins d'énergie et supporte sans problèmes les chocs: il est plus stable.

Le plus souvent, les atomes sont plus stables quand ils sont liés les uns aux autres que quand ils sont isolés. On les trouve donc sous forme de molécules, qui correspondent à une façon de les assembler parmi toutes les façons possibles.



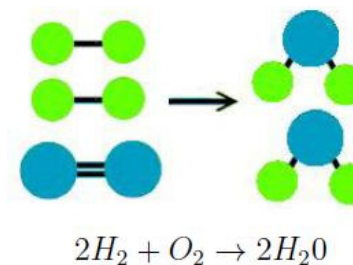
Par exemple, 4 atomes d'hydrogène peuvent être rassemblés en 2 molécules de dihydrogène et 2 atomes d'oxygène peuvent être rassemblés en 1 molécule de dioxygène, comme dans les exemples ci-dessus.

La réaction chimique : Les atomes changent de combinaison

La combinaison dans laquelle se trouvent les atomes n'est pas toujours la meilleure possible.

Pour reprendre l'exemple précédent, l'hydrogène et l'oxygène sont plus instables quand ils sont séparés que quand ils sont combinés entre eux pour former une molécule d'eau, faite de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H_2O). Quand on met ensemble 2 molécules de dihydrogène et 1 molécule de dioxygène, on a suffisamment d'atomes pour former 2 molécules d'eau et former un système plus stable que l'état initial.

Le passage d'un état initial avec des molécules données à un état final avec des molécules plus stables s'appelle une transformation chimique ou réaction chimique.



Une transformation chimique est donc un réassemblage des atomes constituant les molécules.

Pour pouvoir la réaliser, il faut tout d'abord casser certaines des liaisons qui existent entre les atomes des molécules initiales et laisser ensuite les atomes recréer de nouvelles liaisons pour former des nouvelles molécules plus stables.

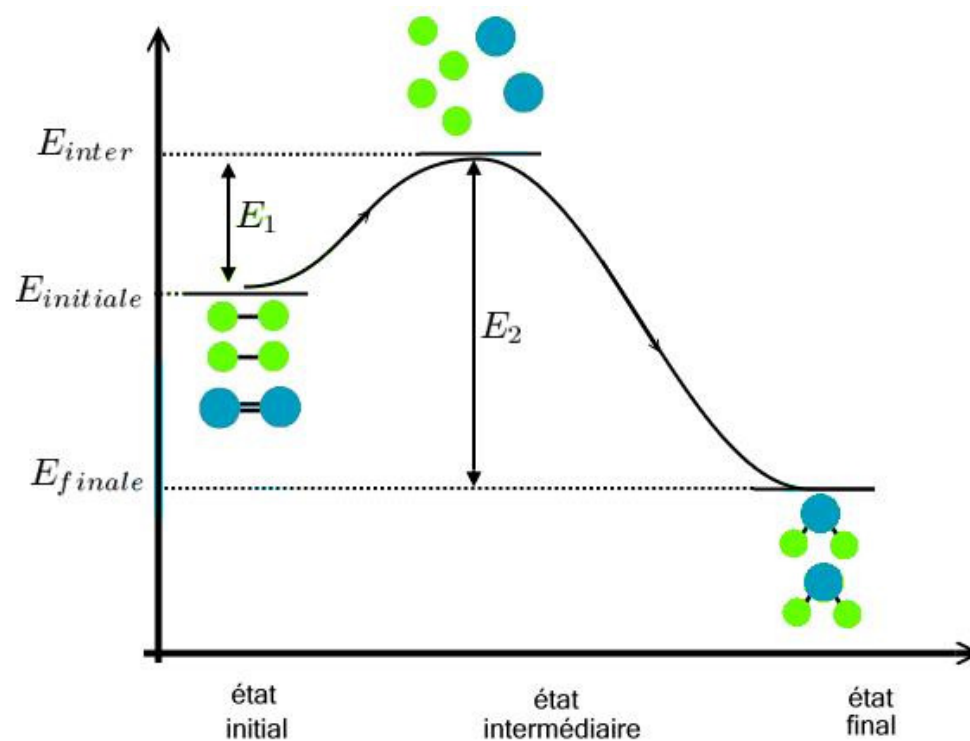
Déclencher la réaction chimique: Énergie d'activation.

L'état intermédiaire est instable car les atomes sont extraits des molécules dans lesquelles ils étaient ordonnés, alors qu'ils sont plus stables quand ils sont associés entre eux.

Du point de vue de l'énergie, l'état intermédiaire a donc une énergie plus haute que l'état initial. Cet état initial a lui même une énergie plus haute que l'état final. On peut donc représenter la transformation en terme d'énergie de la façon suivante :

Une transformation se décompose donc en trois parties :

1. Le système part d'un *état initial* avec des atomes assemblés dans des molécules données.
2. Il passe par un *état intermédiaire* où certaines liaisons dans les molécules sont cassées et où les atomes sont séparés.
3. Il arrive dans un *état final* plus stable que l'état initial, où les atomes sont assemblés dans de nouvelles molécules.



La combustion: une réaction chimique entre un comburant et un combustible.

Le passage de l'état initial à l'état final demande ainsi de passer par un état intermédiaire plus haut en énergie. Il faut donc fournir au système l'énergie nécessaire à effectuer ce premier saut après quoi le système évolue spontanément vers l'état final. En d'autres termes, les molécules initiales, si elles sont laissées toutes seules, ne pourront pas réagir car elles n'ont pas assez d'énergie pour briser leurs liaisons et se réarranger ; mais elles peuvent réagir si on leur donne un coup de pouce initial.

Cette énergie, appelée énergie d'activation, peut être donnée sous n'importe quelle forme : en chauffant, en frappant, en faisant passer un courant électrique...

S'il faut fournir beaucoup d'énergie, c'est que la réaction est difficile à lancer. A l'inverse, s'il faut fournir peu d'énergie, c'est que la transformation est très facile à lancer, ce qui peut être dangereux car la réaction peut alors démarrer à la moindre secousse.

La combustion est un cas particulier de réaction chimique qui dégage de l'énergie. Le plus souvent, au cours de cette réaction, une molécule donne un ou plusieurs atomes d'oxygène à une autre molécule que les intègre à sa structure.

On appelle **comburant** la molécule qui fournit l'oxygène et **combustible** (ou carburant) la molécule qui l'utilise.

La réaction $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ correspond par exemple à la combustion du dihydrogène, dans laquelle le dihydrogène joue le rôle du combustible et le dioxygène celui du comburant.

Le plus souvent, le comburant est le dioxygène contenu directement dans l'air, composé de 20% de cette molécule.

Cela signifie qu'un combustible au contact de l'air n'a besoin que d'une source d'énergie pour déclencher une réaction.

Il arrive parfois que le comburant soit une autre molécule mélangée avec les molécules du combustible. Le mélange est alors appelé explosif. Dans le cas de la poudre noire, le salpêtre libère de l'oxygène (c'est donc le comburant) qui réagit avec le soufre et le carbone (ce sont donc les combustibles).

Il arrive enfin que le comburant et le combustible soient réunis dans une seule et même molécule. C'est en particulier le cas de la célèbre nitroglycérine et c'est ce qui la rend si dangereuse, car il ne manque alors qu'une faible énergie d'activation pour déclencher une réaction en chaîne.

La combustion : bilan d'énergie.

Un rapide calcul permet de se rendre compte de l'énergie libérée lors d'une combustion :

La réaction demande de fournir une énergie $E_1 = E_{\text{intermédiaire}} - E_{\text{initiale}}$ pour passer de l'état initial à l'état intermédiaire. Ensuite le système passe spontanément de l'état intermédiaire à l'état final, plus bas en énergie. Au cours de cette transformation, il expulse l'énergie en surplus $E_2 = E_{\text{intermédiaire}} - E_{\text{finale}}$.

Au total, la réaction consomme l'énergie E_1 et expulse l'énergie E_2 , comme le schéma réactionnel le montre. Elle libère ainsi l'énergie $E_2 - E_1 = E_{\text{initiale}} - E_{\text{finale}}$ qui est positive. En effet, E_{initiale} est supérieure à E_{finale} puisque l'état initial est moins stable que l'état final. **La combustion fournit donc de l'énergie.**

La valeur exacte de l'énergie dépend des molécules qui sont utilisées.

Cette énergie est émise sous plusieurs formes : lumière, bruit et chaleur.

Elle peut en particulier servir d'énergie d'activation pour d'autres réactions. On parle dans ce cas de réaction en chaîne : le déclenchement de la réaction dans un coin du produit fournit de l'énergie qui déclenche la réaction de la matière à proximité etc. Au bout du compte, tout le système réagit alors qu'une toute petite quantité d'énergie a été dépensée au départ.

Enfin, la lumière produite peut prendre plusieurs couleurs, qui dépendent de la valeur de l'énergie donc de la composition du système. On peut associer différentes couleurs à différents composés :

Vert : baryum Ba

Jaune : sodium Na

Doré : soufre S, carbone C

Orangé : calcium Ca

Rouge : strontium Sr

Argenté : titane Ti

Blanc : magnésium Mg

Bleu : cuivre Cu

Violet : potassium K

Un résumé à retenir : le triangle du feu.

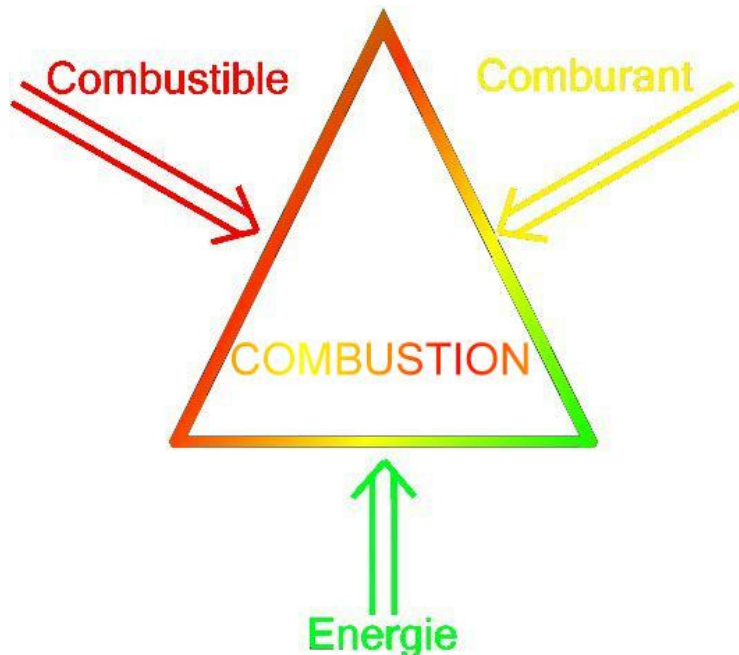
Nous avons vu que pour qu'une réaction de combustion puisse avoir lieu, trois éléments sont nécessaires :

1 Un comburant, molécule susceptible de fournir de l'oxygène.

2 Un combustible ou carburant, molécule susceptible d'utiliser des atomes d'oxygène.

3 Une énergie d'activation qui permet de briser les liaisons initiales entre les atomes des molécules et qui est fournie soit par l'expérimentateur (détonateur, choc, chaleur...) soit par une autre réaction chimique qui a lieu à proximité.

On symbolise l'association de ces trois éléments par le triangle du feu :



Eteindre une réaction de combustion.

Puisque trois éléments sont nécessaires à la réaction de combustion, il suffit d'enlever un des éléments pour que la réaction s'arrête d'elle-même.

Enlever le comburant : étouffement de la réaction.

On utilise pour cela une couverture, des mousses, du sable ou des halons, composés chimiques qui ne peuvent pas brûler. Le but est de couper l'alimentation en oxygène de la réaction. Cette méthode est inefficace si le comburant est déjà mélangé avec le combustible (poudre noire, explosifs en général).

Enlever le combustible : inhiber la réaction.

On utilise pour cela des poudres stockées dans des extincteurs. Le but est d'empêcher la réaction de se propager en l'empêchant d'utiliser du nouveau combustible. On laisse brûler ce qui brûle déjà en endiguant la progression de la réaction, qui finit par s'éteindre d'elle-même faute de combustible.

Enlever l'énergie d'activation : refroidir la réaction.

On utilise pour cela de l'eau pulvérisée ou projetée sur la zone de réaction. L'eau endigue la propagation de l'énergie d'activation : au lieu d'être fournie aux molécules voisines, l'énergie est utilisée par l'eau pour se transformer en vapeur. Il reste alors moins de chaleur pour poursuivre la réaction, suffisamment peu pour ne pas pouvoir faire passer le système de l'état initial à l'état intermédiaire.