

Auteurs : Travail collectif(plus d'infos)

Résumé : Tous les animaux ont peur du feu, excepté l'homme. Celui-ci, qui en a acquis la « maîtrise » depuis la préhistoire, en tire des avantages énormes, notamment pour s'éclairer, se chauffer et cuire ses aliments. Il faut cependant attendre le XVIIIe et, surtout, le XIXe siècle pour que son utilité croisse considérablement avec la découverte des modes de production de l'énergie. Document de Marc Julia issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.

Copyright : Creative Commons France. Certains droits réservés.



Feu et Combustion

Importance du phénomène



© John Warden/Cosmos



L'homme n'a pas tardé à domestiquer le feu, qui, à l'état « sauvage » peut ravager la nature. Entre autres utilisations salutaires, celle de pouvoir cuire ses aliments.

© John Kaprielian, Photo researchers, Inc./Cosmos

Tous les animaux ont peur du feu, excepté l'homme. Celui-ci, qui en a acquis la « maîtrise » depuis la préhistoire, en tire des avantages énormes, notamment pour s'éclairer, se chauffer et cuire ses aliments. Il faut cependant attendre le XVIIIe et, surtout, le XIXe siècle pour que son utilité croisse considérablement avec la découverte des modes de production de l'énergie.

L'utilisation du feu s'est d'abord faite, au début du XIXe siècle, dans des machines à vapeur qui ont rendu disponibles des quantités d'énergie sans commune mesure avec celles utilisées lorsqu'on ne disposait que de la force musculaire des êtres humains ou des animaux (la vitesse maximale des déplacements était alors celle d'un cheval au galop). À la fin de ce même siècle, un autre progrès notable fut l'invention du moteur à explosion ou à combustion interne. Sous des formes diverses, c'est aujourd'hui la principale source d'énergie utilisée pour le transport des personnes et des biens et le mode de fonctionnement d'innombrables moteurs. Au milieu du XXe siècle, le moteur à réaction a pris une place considérable, et l'histoire n'est pas finie...

La signification du titre doit être explicitée. Le feu désigne le phénomène général ainsi que les objets qui en sont le support, la combustion les phénomènes qui s'y déroulent. La combustion est une transformation de la matière, c'est-à-dire une transformation chimique qui produit lumière et chaleur. Ce phénomène a donné lieu à beaucoup d'études. Dans un exposé très simplifié, nous définirons les conditions d'apparition du phénomène – comment le faire démarrer et s'arrêter – et nous présenterons les résultats de l'observation simple. Après cela, nous verrons comment nous avons été conduits à faire des expériences. L'approche expérimentale (qui a servi pour l'étude de nombreux phénomènes) vise tout d'abord à acquérir des informations sur le résultat global, l'énergie fournie. Nous étudierons ensuite d'aussi près que possible le déroulement du phénomène, en particulier du point de vue de la matière qui se transforme. La flamme d'une chandelle nous servira de modèle simplifié et commode.

Nous nous limiterons aux combustions dites « vives », mais d'autres formes de combustion dites « lentes » seront cependant abordées : la corrosion, la respiration-alimentation. Nous évoquerons aussi l'opération inverse, par laquelle on régénère l'oxygène et une substance combustible (du bois par exemple, la photosynthèse).

Que faut-il pour faire du feu ? Comment le fait-on démarrer et s'arrêter ?

Tout le monde sait que pour faire du feu, il faut quelque chose qui brûle, un combustible.

Les combustibles peuvent être classés selon leur origine : végétale (bois, alcool, papier, huile d'arachide), animale (beurre, suif, saindoux, huile de baleine) ou minérale. Le charbon, le pétrole – qu'on trouve dans la terre, comme les minéraux, mais qui sont d'origine vivante –, le gaz de ville, le gaz naturel sont également des combustibles. On les classe quelquefois en solides liquides et gazeux. Les substances non combustibles (les pierres, l'eau, le sable, la terre cuite) n'en sont pas moins intéressantes, ne serait-ce que parce qu'elles permettent de contenir le feu.

La différence (fondamentale, bien sûr) entre ces deux groupes est due à leur constitution même : les molécules des corps combustibles sont riches en éléments – principalement le carbone et l'hydrogène –, qui se combinent volontiers avec l'oxygène de l'air par des réactions chimiques qui dégagent de la chaleur.

Cela nous permet déjà de comprendre pourquoi il faut, à côté du combustible – et ce n'est pas moins important –, de l'air. On l'appelle ici « comburant ». Tout le monde sait qu'un feu de bois ou même du papier trop tassé ne brûle pas bien et que pour activer la combustion de bois ou de charbon, il faut augmenter la quantité d'air disponible avec des soufflets.

Deux gaz constituent ce mélange : l'oxygène (pour 20 %) et l'azote (pour 80 %). Seul le premier peut entretenir la combustion et est consommé ; par conséquent, la combustion s'arrête quand il n'y en a plus. On peut séparer ces deux constituants, par exemple en les liquéfiant d'abord (vers – 200° C), puis en les soumettant à la distillation fractionnée, comme lorsque l'on sépare du vin l'alcool et l'eau dans les alambics. Cela se pratique sur une échelle énorme dans l'industrie. L'oxygène permettant des combustions beaucoup plus vives que l'air (la lumière émise est plus intense), il est très utilisé dans les chalumeaux et la métallurgie. L'azote, quant à lui, est principalement transformé en ammoniac par réaction avec l'hydrogène. On fabrique ainsi les engrais azotés qui ont contribué à augmenter considérablement le rendement des cultures.

Cependant, si l'on met ensemble un combustible et de l'air, il ne se passe rien (heureusement !). Il faut adjoindre une certaine quantité de chaleur, par exemple avec la flamme d'une allumette. Dans le cas de la bougie, une petite partie de la chaleur fournie par la combustion transformera, par la suite, la cire pour qu'elle puisse brûler, comme dans une arme à répétition.

Après avoir disposé et allumé deux bougies, on coiffe l'une d'un grand bocal, l'autre d'un petit. La flamme s'éteint bientôt dans le petit bocal, nettement plus tard dans le grand. Plusieurs informations nous sont délivrées : en premier lieu, il faut de l'air ; ensuite, en mesurant les quantités de cire brûlée et d'air disparu, on dégage une relation de proportionnalité – ce qui est la situation normale dans les transformations de matière. Enfin, il reste du gaz et pourtant la bougie s'éteint ! Le gaz résiduel n'est en réalité plus capable d'entretenir la combustion. Surtout, on constate que l'air qui a servi n'était pas un corps pur, mais un mélange dont une partie seulement a été consommée.

Mais avant d'allumer du feu, il faut savoir l'éteindre – ce qui est au moins aussi important ! Pour cela, il faut le priver de combustible ou bien – et c'est souvent plus facile – d'air. On pourra ainsi : pincer la flamme de la bougie avec les doigts mouillés, arroser, étouffer les flammes avec une couverture mouillée, etc. Les extincteurs à neige carbonique remplacent l'air autour du feu par un gaz inerte, incapable, à l'inverse de l'oxygène, d'entretenir la combustion.

Ces notions élémentaires permettent de comprendre comment « faire du feu sous l'eau » ou dans l'espace intersidéral (pour les fusées) : il faut apporter à la fois le combustible et le comburant.

Dans le cas de la poudre à canon ou des explosifs, l'oxygène nécessaire est apporté par un constituant (autrefois le salpêtre) qui en contient beaucoup sous une forme assez faiblement attachée pour pouvoir le céder au combustible. La poudre fabriquée par Lavoisier a ainsi contribué aux succès des armées révolutionnaires américaines et françaises à la fin du XVIIIe siècle.

Un modèle de combustion : la chandelle de Michael Faraday

À Londres, vers 1850, la Royal Institution organisait les « Conférences du vendredi soir ou de Noël » destinées à diffuser une formation scientifique aux enfants et au grand public non spécialiste. Dans une

série restée célèbre, Michael Faraday (1791-1867) y racontait l'« histoire d'une chandelle », modèle d'approche expérimentale qui sera largement utilisé dans le présent chapitre.

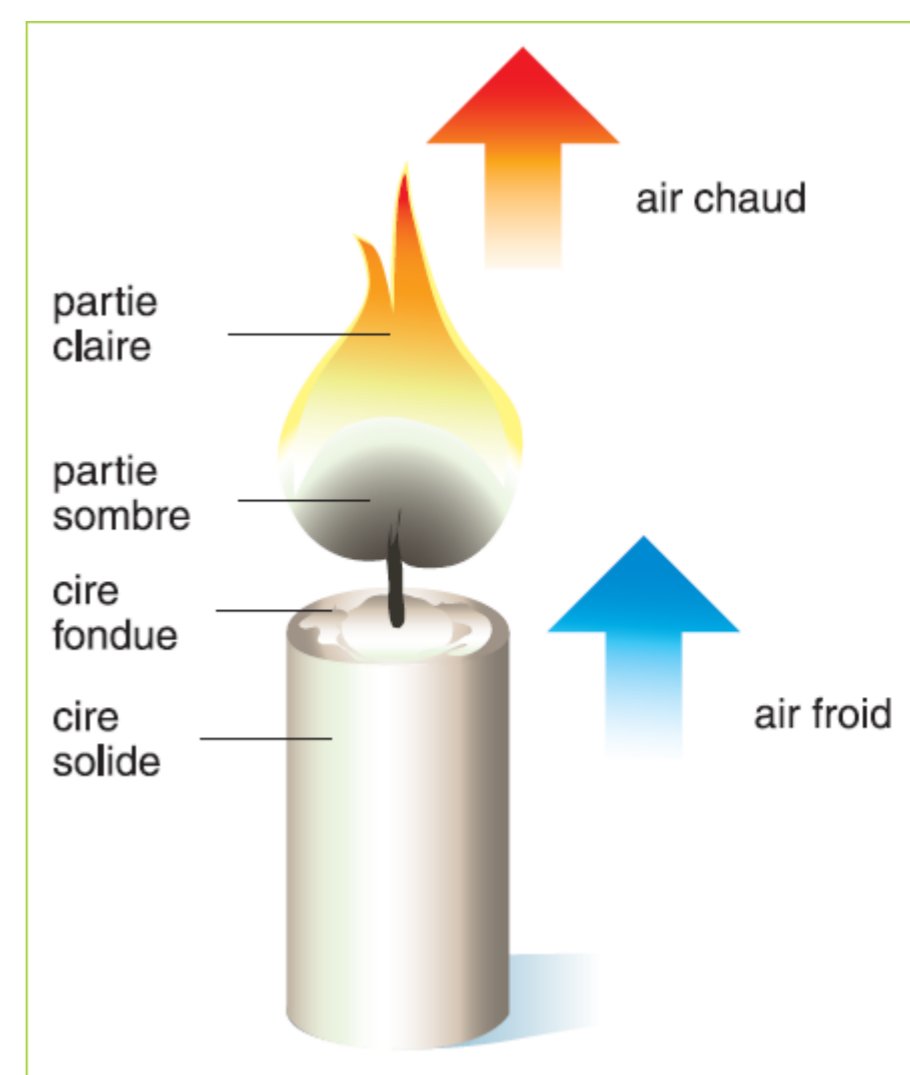
Pour s'éclairer, on eut d'abord recours à la torche de résine avant d'utiliser – progrès notable – la lampe à huile. On remplaça ensuite l'huile des lampes par un combustible solide : les chandelles étaient fabriquées avec des tresses de coton qu'on laissait pendre dans le suif fondu en les retirant plusieurs fois pour les laisser durcir. Si le résultat désiré était obtenu, le procédé demeurait sale. Les chandelles de luxe, faites avec de la cire d'abeille, plus propres, étaient cependant plus coûteuses. Par la suite, lors de ses études sur les corps gras, Chevreul obtint, par saponification, la stéarine blanche avec laquelle on fit, dès lors, les bougies : la science mettait ainsi le luxe à la portée de tous.

La mèche, quant à elle, ne sert pas seulement, dans la fabrication, à produire un cylindre de cire. Elle remplit une autre mission très importante : faire monter progressivement la cire liquide dans la flamme. Tout le monde a vu du café monter dans un morceau de sucre qu'on trempe dedans (on voit bien le café parce qu'il est noir, mais de l'eau monterait tout aussi bien) : ce phénomène s'appelle capillarité, car il se produit dans des tuyaux fins comme les cheveux ou – si l'on préfère – les crevasses (il y en a dans le sucre en morceaux). Les agriculteurs savent que, par temps de sécheresse, « un binage vaut un arrosage » : l'eau du sous-sol monte plus facilement par capillarité à la surface (où elle s'évapore) dans la terre tassée, qui contient de très fins canaux, que dans la terre ameublie par le binage, où ces fins canaux ont été détruits. Un participant à la session a suggéré une très belle expérience : pourquoi ne pas disposer l'extrémité d'une autre mèche (en coton) dans la coupelle de cire fondue, pour allumer l'autre extrémité et réaliser ainsi une bougie à deux flammes ?

Au-dessus de la mèche, la flamme proprement dite est composée de deux parties très différentes d'aspect : un cône sombre en bas est surmonté par une partie brillante qui éclaire. Cela suscite nombre de questions que nous étudierons ci-dessous.

Cette flamme est entourée par le flux de gaz chauds dont nous avons parlé plus haut, entraîné par la convection (cf. [La physique du climat](#) »). Conséquence inattendue, si l'on éclaire fortement une bougie allumée et que l'on observe son ombre portée sur un écran, on s'aperçoit qu'elle est rendue fort volumineuse à cause de ce cortège gazeux.

Encore au-dessus de la partie brillante, on distingue une fumée noire, d'autant plus importante que la mèche est plus longue.



On distingue en haut de la colonne de cire solide une coupelle circulaire contenant de la cire liquide (fondue) que les rebords empêchent de couler. En plaçant la main (largement) au-dessus de la flamme, on sent un très fort courant ascendant de gaz chauds ; ce courant provoque un appel d'air froid qui monte tout autour de la bougie et maintient froide la cire qui constitue le rebord de la coupelle.