

Projet de communication scientifique
Document pédagogique du projet "Explosion et
propulsion: une histoire de combustion".

Hermans Manon

Fontaine Julien

Van der Linden Jules

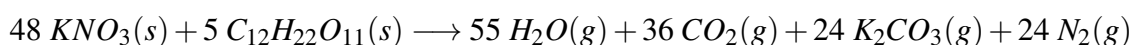
Huet Xavier

Printemps des Sciences 2022

Encadrante: MARTENS Chloé

Dans le cadre du Printemps des Sciences 2022, qui avait comme thème l'exploration, nous nous sommes tournés vers un sujet d'actualité: l'exploration de l'espace; et plus particulièrement comment aller explorer l'espace. Nous avons donc tenté de créer et faire décoller une maquette de fusée pour comprendre ce qui lui permettait de s'arracher à la gravité.

Pour faire décoller cette fusée, il nous fallait trouver de prime abord une réaction chimique qui libérerait une quantité d'énergie assez grande pour donner une force de poussée à la fusée. Après quelques recherches, nous sommes tombés sur cette réaction:



Cette réaction est une réaction entre du saccharose, et du nitrate de potassium. Elle fait partie de la famille des réactions d'oxydoréduction. Afin de mieux comprendre la réaction en elle-même et comment elle fonctionne, penchons-nous d'abord sur ce qu'est une réaction d'oxydoréduction. Au cours de ce type de réaction va avoir lieu un échange d'électron(s) entre deux espèces chimiques. Une espèce va s'oxyder, donc va perdre des électrons, et une autre va en gagner donc se réduire. Cet échange d'électrons va soit demander de l'énergie pour qu'il ait lieu, on parle alors de réaction endothermique, ou alors la réaction va libérer une certaine quantité d'énergie en se produisant (réaction exothermique). Dans notre cas, la réaction étant une combustion, elle sera exothermique. L'énergie libérée sous forme de travail est en réalité une production massive de gaz. Comme les gaz prennent plus de place que les solides, on va avoir une expansion de volume lorsque la réaction a lieu qui va faire que la fusée va être propulsée.

Au cours de cette réaction, il est difficile de voir quelles sont les espèces chimiques qui gagnent ou perdent des électrons. On va donc faire appel aux nombres d'oxydation de chaque atome. Le nombre d'oxydation (n.o) d'un atome au sein d'une molécule est la charge électrique que va apporter cet atome à la molécule. Pour certains atomes, il sera toujours le même, comme l'hydrogène ou le potassium qui auront un n.o de +1. Pour d'autres, ce nombre d'oxydation va varier en fonction de la molécule dans laquelle ils se trouvent, comme c'est le cas de l'azote. Pour une molécule donnée, la somme des n.o doit être égale à la charge de la molécule (0 pour une molécule neutre). En se basant sur les atomes qui ont un n.o qui ne varie pas, on peut trouver quelles espèces vont gagner des électrons, appelées oxydants, ou perdre des électrons (espèces réductrices). On voit alors que le carbone du saccharose (le combustible) va s'oxyder et que l'azote contenu dans le nitrate de potassium va se réduire en diazote, ce sera notre comburant.

Lors de notre expérience, nous avons remarqué que la flamme produite lors de la réaction était de couleur rosée. Nous nous sommes donc également interrogés sur le phénomène physico-chimique qui pouvait expliquer cette couleur. Ce phénomène peut être expliqué par une excitation suivie d'une relaxation de certains électrons des atomes présents dans la flamme. Durant une réaction exothermique, il y a libération d'énergie sous forme de travail qui va permettre à notre fusée de décoller. Mais il y a aussi une libération d'énergie thermique qui va induire la production de flammes.

Les électrons d'un certain atome sont caractérisés par des énergies bien particulières, dites discrètes, c'est-à-dire que seules certaines valeurs d'énergie sont permises, comme nous le dit la mécanique quantique. Des transitions, définies comme une variation de l'énergie de l'électron entre deux valeurs permises, peuvent avoir lieu dans un élément à la suite d'un apport de chaleur, ce qui va s'accompagner de l'émission d'un photon dont l'énergie est égale à la variation d'énergie de l'électron. Ces photons émis vont nous apparaître comme étant de la lumière.

Afin de démontrer ce phénomène, nous avons réalisé une seconde expérience dans laquelle nous avons fait brûler différents cotons imbibés d'éthanol et d'une certaine solution en sel. Nous avons effectivement observé que nos différentes solutions en sel n'émettaient pas à la même longueur d'onde et donc qu'elles apparaissaient à différentes couleurs. Nous avons remarqué que les chlorures et sulfates de cuivre émettaient une flamme vert bleu, que le sulfate de lithium produisait une flamme rose et le chlorures de strontium une flamme rouge-rose. Le sel de table, chlorure de sodium produisait lui une flamme très jaune. Nous avons également testé notre réactif de la première expérience, le nitrate de potassium et nous avons remarqué qu'il produisait une flamme rose-mauve.

Dans notre expérience, c'est donc la combustion de l'éthanol qui apporte cette chaleur. Un rayonnement monochromatique est ainsi observable, dont la couleur dépend de l'élément dont les électrons sont impliqués dans les transitions.

Pour aller plus loin

Nous savons donc pourquoi de la lumière est produite mais il est également possible de déterminer précisément la couleur émise par notre relaxation. L'énergie thermique libérée lors de la réaction permet à certains électrons de passer à un état d'énergie supérieur. Ceux-ci passent donc d'un état électronique stable à un état électronique excité, ce qu'on appelle l'excitation. Après avoir été excités, les électrons vont retrouver leur état fondamental. Ce passage d'un électron d'un état excité à un état fondamental libère un photon. Ce photon aura une certaine énergie définie comme la différence d'énergie entre l'état excité d'où provient l'électron et l'état fondamental. Nous appelons ça la relaxation.

Sachant que les niveaux d'énergie sont discrets et varient en fonction des atomes du tableau périodique, l'énergie des photons émis va varier en fonction des atomes présents dans la réaction. Cette énergie nous permet dès lors de calculer la longueur d'onde du rayonnement grâce à la formule:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Avec E l'énergie ; h la constante de Planck ; c la vitesse de la lumière et λ la longueur d'onde.

Bibliographie

- Rettinger, Porter, M., Canaria, J., Smith, J. L., Oxley, J. C. (2020). Fuel-oxidizer mixtures: a lab and field study. *Journal of Energetic Materials*, 38(2), 170–190. <https://doi.org/10.1080/07370652.2019.1679282>
- Skoog, West, D. M., Holler, F. J. (2012). *Chimie analytique* (8eme edition). DeBoeck-Universite.
- McQuarrie, Rock, P. A. (1992). *Chimie generale* (3e ed.). De Boeck-Wesmael.
- Eliason, Lee, E. J., Wakefield, D., Bergren, A. (2000). Improvement of sugar-chlorate rocket demonstration. *Journal of Chemical Education*, 77(12), 1581–1583. <https://doi.org/10.1021/ed077p1581>

Manipulations du projet "Explosion et propulsion: une histoire de combustion".

Hermans Manon Fontaine Julien Van der Linden Jules Huet Xavier

Printemps des Sciences 2022

1 Introduction

Voici ici le document reprenant les modes opératoires des 2 expériences dont vous pouvez retrouver le résultat dans la vidéo du projet "Explosion et propulsion: une histoire de combustion". Attention: ces manipulations, et en particulier celle de la fusée au sucre, demandent une grande précaution des normes de sécurité. Nous allons manipuler des flammes et chauffer des réactifs qui réagissent violemment.

2 La fusée au sucre

2.1 La cartouche et sa charge

2.1.1 Réactifs

- 32g de sucre de table en poudre (saccharose)
- 55g de nitrate de potassium en poudre

2.1.2 Matériel

- Tube en PVC d'environ 7 cm de long et 1,5 de rayon
- Du plâtre
- Des feuilles d'aluminium
- Une perceuse munie d'une mèche d'environ 8 millimètres
- Des longues allumettes

2.1.3 Manipulation

Nous allons d'abord préparer la cartouche qui nous servira à contenir la charge. Elle sera par la suite, une fois chargée, greffée à notre fusée miniature. Pour ce faire, prenez votre tube de PVC et bouchez le à l'une de ses extrémité avec du plâtre mélangé à de l'eau. Aidez-vous de l'aluminium si besoin: vous pouvez en enfoncer préalablement dans le tube pour maintenir le plâtre lorsqu'il séchera.

Nous pouvons maintenant préparer la charge. Avec une grande précaution, chauffez le sucre et le nitrate de potassium sans dépasser une température de 190°C jusqu'à obtenir une pâte couleur caramel qui a la texture d'une pâte à tartiner épaisse. Attention: mélanger constamment pendant le chauffage. Une surchauffe locale pourrait provoquer une réaction précoce. Une fois la pâte obtenue et avant qu'elle ne refroidisse, insérez-en un maximum dans le tube en laissant environ 1 cm de tube libre.

Grâce à ce petit volume laissé libre, bouchez le tube à nouveau avec du plâtre. Percez ensuite un trou bien centré au travers de la première couche de plâtre et de la pâte des réactifs. Faites-le délicatement: il faut à tout prix éviter de former des étincelles au sein du tube. Dans ce trou, enfoncez une allumette, coupée si besoin, en laissant une bonne partie de sa longueur ainsi que sa tête inflammable dépasser. Elle nous servira de mèche.

2.2 Le fuselage

C'est le moment d'être créatif ! Construisez la fusée qui vous plaît à partir d'un tube en PVC plus large que celui utilisé pour la cartouche. Améliorez son dynamisme en lui ajoutant des ailerons et une coiffe arrondie en utilisant un pistolet à colle pour les fixer. Afin d'insérer la cartouche dans le fuselage et qu'elle y soit bien maintenue, épaississez-la à l'aide de scotch et de bande d'isolant jusqu'à obtenir le diamètre parfait tel qu'elle s'insère dans le corps de la fusée avec difficulté. Cela nous assure qu'elle ne bougera pas une fois en place. Gardez en tête qu'il faut à tout prix minimiser le poids de la fusée en choisissant vos décorations et le matériel.

3 Les flammes colorées

3.1 Réactifs

- Chlorure de lithium
- Sulfate de cuivre
- Chlorure de cuivre

- Nitrate de sodium
- Nitrate de strontium
- Ethanol
- Eau

3.2 Matériel

- Cotons (de démaquillage par exemple)

3.3 Manipulations

Faites des solutions saturées des différents sels en utilisant un mélange eau-éthanol 50-50. Imbibez ensuite des cotons avec vos différentes solutions. Imbibez aussi un coton avec de l'éthanol pur. Ce sera notre blanc. Placez les différents cotons dans des béchers en pyrex et allumez-les. Si ces derniers ne s'allument pas, recommencez la manipulation en diminuant progressivement le ratio d'eau du solvant.

4 Bibliographie

- Eliason, Lee, E. J., Wakefield, D., Bergren, A. (2000). Improvement of sugar-chlorate rocket demonstration. *Journal of Chemical Education*, 77(12), 1581–1583. <https://doi.org/10.1021/ed077p1581>
- Recrystallized rocketry. (s. d.). Consulté 7 mars 2022, à l'adresse <http://www.jamesyawn.net/>
- Singh, D. (2015). Sugar based rocket propulsion system- making, analysis limitations. *International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA)*, 2(5), 30-37.
- Sanger, M. J. (2004). Flame tests: Which ion causes the color? *Journal of Chemical Education*, 81(12), 1776A. <https://doi.org/10.1021/ed081p1776A>