

Lycée Maria Assumpta
Av Wannecouter, 76
1020 Bruxelles

Balthasart Florence, Langbeen Antoine
Et Van Laere Sophie
6G2 n°1, 8, 20



Les feux d'artifice

Les feux d'artifice



LES FEUX D'ARTIFICE	3
1 INTRODUCTION	3
2 HISTORIQUE DE LA PYROTECHNIE	3
3 THÉORIE RELATIVE AUX FEUX D'ARTIFICE	4
3.1 RÉACTION D'OXYDORÉDUCTION	4
3.2 RÉACTION DE COMBUSTION	4
3.2.1 <i>Le combustible :</i>	4
3.2.2 <i>Le comburant</i>	4
3.2.3 <i>L'élément déclencheur :</i>	5
3.3 CHALEUR DE COMBUSTION	5
3.4 INCANDESCENCE	5
3.5 LUMIÈRE	5
3.6 ÉMISSION ATOMIQUE	5
3.7 ÉMISSION MOLÉCULAIRE	6
3.8 VITESSE	6
3.8.1 <i>Vitesse de l'onde</i>	6
3.8.2 <i>Vitesse de réaction</i>	6
3.9 DÉFLAGRATION ET DÉTONATION	6
4 EXPÉRIENCES	7
4.1 LE FUMIGÈNE LIQUIDE	7
4.1.1 <i>Matériel :</i>	7
4.1.2 <i>Protocole Expérimental :</i>	7
4.1.3 <i>Explication :</i>	7
4.2 DU FEU SANS ALLUMETTES	7
4.2.1 <i>Matériel :</i>	7
4.2.2 <i>Protocole Expérimental :</i>	7
4.2.3 <i>Explication :</i>	7
4.3 LES ÉTINCELLES	7
4.3.1 <i>Matériel :</i>	7
4.3.2 <i>Protocole Expérimental :</i>	8
4.3.3 <i>Explication :</i>	8
4.4 LES FLAMMES COLORÉES	8
4.4.1 <i>Matériel :</i>	8
4.4.2 <i>Protocole Expérimental :</i>	8
4.4.3 <i>Explication : (Cfr Emission atomique)</i>	9
5 DE QUOI EST COMPOSÉE UNE FUSÉE?	9
5.1 LES POUDRES PROPULSIVES	9
5.2 LES POUDRES DE RETARD	9
5.3 LES POUDRES EXPLOSIVES	10
5.4 LES POUDRES PYROTECHNIQUES OU ÉTOILES	10
6 QUE SE PASSE-T-IL LORSQU'ON ALLUME LA MÈCHE ?	10
7 POINT SÉCURITÉ	10
8 CONCLUSION	11
9 ANNEXES	12
9.1 LUMIÈRE	12
9.2 ÉMISSION ATOMIQUE	12
9.3 FLAMMES COLORÉES 1	13
9.4 FLAMMES COLORÉES 2	13
9.5 LA BOMBE PYROTECHNIQUE	14
10 BIBLIOGRAPHIE	15

Les feux d'artifice

1 Introduction

Nous avons choisi de faire notre exposé sur les feux d'artifice. Nous les rencontrons au cours de fêtes nationales, et autres événements. Ils sont aussi utilisés pour des trucages dans les films mais servent aussi à effrayer les oiseaux dans les champs. Mais que savons-nous d'eux ? Oh la belle rouge, oh la belle bleue. D'où tout cela vient-il ? Comment cela fonctionne-t-il ? Qu'est réellement le feu d'artifice ? Voilà à quoi nous allons nous intéresser ici.

Tout d'abord quelques petites définitions :

Feu : Dégagement simultané de lumière et de chaleur produit par la combustion de certains corps.

Feu de Bengale : Artifice brûlant avec une flamme vive, blanche ou colorée.

Feu d'artifice : Tir à effets lumineux, pour une fête en plein air.

Pyrotechnie : Science et technique des poudres et de leur mise en œuvre, ainsi que des compositions pyrotechniques.

Combustion : Réaction chimique où une substance réagit avec l'oxygène de l'air.

La pyrotechnie est en fait l'ensemble des artifices éclairants et des artifices produisant de la fumée. Mais cela ne nous explique toujours pas comment il fonctionne ni comment le faire fonctionner. Revenons d'abord un peu en arrière. Qui inventa le premier feu d'artifice ? Ou plutôt quelles évolutions technologiques menèrent à notre feu d'artifice actuel ?

2 Historique de la pyrotechnie

Vers 670 après J.-C., l'alchimiste chinois Sun Si mao décrit dans ses notes, pour la première fois une méthode de fabrication de la poudre à partir de résine, de soufre, de bitume et de salpêtre. Au cours du commerce avec l'empire byzantin, cette poudre se répandit et donna naissance au feu grégeois. Cette poudre était enflammée et lancée sur les ennemis. Ce n'est ni cette poudre ni les anciennes machines romaines (de la poix enflammée) qui donnèrent naissance aux feux d'artifice mais la poudre noire. Celle-ci est le résultat de la purification du salpêtre par les alchimistes chinois qui ont également remplacé la résine par le charbon de bois. Cette poudre est inflammable et propulsive, elle servait à lancer les projectiles des premiers canons. Le gros problème était que la combustion bien que forte était lente. C'est pourquoi elle fut peu utilisée comme arme mais plus comme divertissement.

Au XIII^{ème} siècle, Marco Polo rapporta la poudre noire en Europe occidentale. La préparation devint alors plus rigoureuse et on put commencer à parler de pyrotechnie, notamment grâce à Bacon, un moine anglais et à un allemand, Schwartz. Néanmoins le problème de la vitesse demeure. Le feu d'artifice européen s'est développé dans la guerre et c'est en y ajoutant de la limaille de fer qu'il a servi à des utilisations plus pacifiques. Il a donc une double utilisation, faire la guerre et ensuite la commémorer.

Au XVII^{ème} siècle, le problème de la vitesse est résolu par des alchimistes suisses. Le feu d'artifice commence alors à être utilisé pour les fêtes officielles (mariages, naissances,...) à partir du mariage de Louis XIII avec Anne d'Autriche en 1612. Les spectacles représentaient toujours une histoire ou une bataille avec un décor, etc... Il y avait notamment un « temple de la Félicité », machine qui servait de support matériel aux fusées et qui cachait le mécanisme et l'artificier (les secrets de fabrication étaient bien gardés). C'était un vrai chef d'œuvre architectural qui avait lieu sur une vaste étendue et près de l'eau. La complicité entre les feux et l'eau est importante, notamment grâce aux effets miroirs. Certains noms de feux sont d'ailleurs tirés d'elle (cascades, jets,...).

Les feux d'artifice furent un peu délaissés pendant la révolution française mais Napoléon les reprit à son compte pendant son règne. Au XIX^{ème} siècle, grâce aux progrès de la chimie, la pyrotechnie avance à grands pas. La poudre noire fut remplacée par des mélanges plus efficaces donnant plus de couleurs de là découle la disparition des décors. A cette époque, les feux sont lancés de bâtiments existants, tel la Tour Eiffel et non plus d'édifices éphémères.

Au XX^{ème} siècle, on délaisse les monuments au profit de sites évoquant un passé culturel. La hauteur et la puissance augmentent et il y a donc une meilleure visibilité. Grâce à la compétitivité, les techniques s'améliorent. Un nouveau type de spectacle apparaît alors : la pyromélie. Mêler des feux, de la musique et la voix d'un récitant, tout cela réglé par une table de montage informatisée.

C'est en même temps un art et une science. Grâce aux évolutions, la palette de couleurs et les possibilités de l'aspect des flammes se sont agrandies. Les fabricants recherchent autant la beauté que la sécurité, pour cela tout doit être bien programmé. Mais les feux d'artifice ne se limitent pas aux festivités, différentes applications civiles et militaires se sont aussi développées au fil du temps.

3 Théorie relative aux feux d'artifice

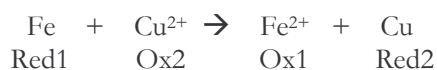
Avant de vous expliquer comment fonctionnent les feux d'artifice, nous allons revenir sur les bases de l'aspect chimique des réactions de combustion.

3.1 Réaction d'oxydoréduction

C'est un ensemble de deux réactions interdépendantes, l'oxydation et la réduction au cours de laquelle il y a un transfert d'électrons. Lors de la réduction, l'oxydant accepte les **électrons** du réducteur qui peut alors s'oxyder. Lors de l'oxydation, le réducteur perd ses **électrons** ce qui permet à l'oxydant de se réduire.



Comme pour les réactions acide base, on peut à chaque oxydant d'une espèce associer un réducteur de la même espèce et réciproquement. On définit ainsi un couple redox que l'on note ox/red.



3.2 Réaction de combustion

La combustion est le principe de base de la pyrotechnie. Trois éléments y sont indispensables :

- Un combustible réagissant avec l'oxygène
- Un comburant qui est, ou fournit, l'oxygène
- Un élément qui déclenche la réaction (exemple: augmentation de température, étincelle,...)

3.2.1 Le combustible :

C'est un réducteur : il libère des électrons pour réaliser l'octet et réagit avec l'oxygène. La réaction avec l'oxygène entraîne une libération d'énergie sous forme de chaleur et un gain de stabilité. C'est une réaction exothermique. Les combustibles sont souvent des métaux comme le strontium, le magnésium, le brome, le silicium ou le titane, mais aussi des non-métaux comme le soufre ou le carbone.

3.2.2 Le comburant

C'est un oxydant : il capte des électrons et libère de l'oxygène. Cette réaction a lieu avant la combustion proprement dite. Les oxydants sont constitués d'un ion métallique et d'un radical oxydant. En pyrotechnie, les nitrates, chlorates et perchlorates sont principalement utilisés. Le perchlorate est le plus utilisé car l'électronégativité de l'oxygène est 3,5 et celle du chlore est 3, ce sont donc deux composés très réactifs. Si le ClO_4^{-} est plus performant que le ClO_3^{-} c'est qu'il a un oxygène de plus et donc est plus réactif. Les deux ont aussi l'avantage d'être solides.

3.2.3 L'élément déclencheur :

C'est le plus souvent une étincelle ou une flamme. Les produits sont choisis de façon à ne pas réagir à basse température quand ils ne sont pas mélangés. Le rôle de l'étincelle est d'enclencher la réaction qui se poursuit ensuite d'elle-même car c'est une réaction auto-entretenue.

3.3 Chaleur de combustion

Quantité d'énergie produite lors de la combustion. Lors de la réaction, la quantité d'énergie produite permet à la réaction de se reproduire jusqu'à épuisement des combustibles.

3.4 Incandescence

Lumière, rayonnement de tout corps qui est chauffé. L'intensité de la lumière émise est proportionnelle à la puissance 4^{ème} de la température.

$$I = kT^4$$

3.5 Lumière

La lumière est un rayonnement électromagnétique d'une certaine fréquence. Notre œil peut capter une radiation électromagnétique si la longueur de l'onde est comprise entre 380 nm ($3,8 \cdot 10^{-9}$ m) et 780 nm ($7,8 \cdot 10^{-9}$ m)

→ du violet au rouge.

Annexe 9.1

L'énergie (E) d'une onde est directement proportionnelle à sa fréquence (f).

$$E = h \cdot f \quad (h = \text{constante de Planck})$$

La longueur d'onde (λ) est inversement proportionnelle à la fréquence.

La vitesse (V) d'une onde électromagnétique est constante : $3 \cdot 10^8$ m/s

$$\lambda = V/f \quad \rightarrow \quad E = h \cdot V/\lambda$$

La longueur d'onde est donc inversement proportionnelle à l'énergie.

$$\rightarrow E \uparrow \rightarrow f \uparrow \rightarrow \lambda \downarrow$$

Les photons qui véhiculent la lumière violette ont donc plus d'énergie et une longueur d'onde plus courte que ceux qui transportent la lumière rouge.

3.6 Emission atomique

Lorsqu'il est chauffé, l'atome peut absorber de l'énergie et la vitesse de ses électrons augmente. Les électrons qui ont gagné de l'énergie passent alors sur une couche énergétique supérieure. Cependant, ils sont instables, excités. Ils veulent donc redescendre à leur niveau d'énergie initial. Pour cela ils se débarrassent de leur trop plein d'énergie en émettant un photon : une énergie lumineuse. Il y a donc eu transformation de l'énergie thermique en énergie lumineuse.

Annexe 9.2

3.7 Emission moléculaire

Changement d'état d'énergie au sein d'une molécule.

3.8 Vitesse

Nous devons prendre en compte deux vitesses : la vitesse de la réaction elle-même et la vitesse à laquelle l'onde émise par la réaction se déplace.

3.8.1 Vitesse de l'onde

Tout d'abord il faut savoir qu'il y a deux sortes d'oxydation : les oxydations dites lentes (l'oxydation du fer → la rouille par exemple) et des oxydations vives dites explosions. Il y a deux sortes d'oxydations vives, les déflagrations et les détonations.

Si la vitesse de propagation de l'onde émise par la réaction de combustion est subsonique, plus petite (quelques m/s) que la vitesse du son (340 m/s), il y a une déflagration. Il n'y a pas de variation de pression mais juste une flamme. Elle est obtenue à partir d'une poudre.

Si la vitesse de propagation de l'onde émise par la réaction de combustion est supersonique, plus grande (dépassé des km/s) que la vitesse du son, il y a une détonation. La pression varie et donc il y a une onde de choc. Elle est obtenue à partir d'explosif.

Ces deux réactions sont fort semblables en apparence mais elles sont complètement différentes.

3.8.2 Vitesse de réaction

Certains facteurs augmentent la vitesse de réaction.

- L'homogénéité du mélange : plus la poudre est entassée et confinée, plus l'énergie et la vitesse de combustion sont importantes.
- L'augmentation de la température (T)
- L'augmentation du nombre de mole (n)

Selon l'équation d'équilibre des gaz parfaits.

$$P V = n R T$$

Où « P » est la pression, « V » le volume et « R » la constante des gaz parfaits.

L'augmentation simultanée de la température et du nombre de mole provoque une augmentation de pression, le volume étant constant. La hausse de la pression est utile car elle permet la projection des fusées (effet de confinement).

3.9 Déflagration et détonation

Après l'allumage, l'étincelle permet de chauffer le mélange solide. Cette émission de chaleur déclenche une première réaction d'oxydoréduction : la décomposition du comburant permet de libérer le dioxygène nécessaire à la combustion. Selon l'oxydant utilisé la réaction est soit endothermique soit exothermique. Ensuite grâce à l'oxygène dégagé par le comburant et à la hausse de température, le combustible réagit : c'est la combustion. Elle produit de la chaleur et il se forme des éléments gazeux grâce à la température. Mais les deux constituants ne réagissent qu'en surface et à une vitesse limitée par le transfert de chaleur. Celle-ci à température ambiante est limitée car le mélange est métastable (état intermédiaire entre la stabilité et l'instabilité). Pour briser la stabilité, il faut atteindre une température plus élevée, qui permet de vaporiser les réactifs pour que ceux-ci puissent rapidement réagir à leur tour en se mélangeant et produire une flamme. Une fois la vitesse du transfert thermique atteinte, la fusée est propulsée, si le système est confiné.

4 Expériences

4.1 Le fumigène liquide

4.1.1 Matériel :

- Un Berlin (1 L).
- Permanganate de Potassium (KMnO_4)
- Eau Oxygénée

4.1.2 Protocole Expérimental :

- Préparer environ 300 ml d'une solution d'eau oxygénée à 20% dans le Berlin.
- Verser une pincée de permanganate dans le Berlin, la réaction est très vive et dégage un épais brouillard blanc qui se dissipe en quelques secondes.
- Lorsqu'on agite légèrement le récipient, la réaction reprend, et ceci jusqu'à ce que l'un des réactifs soient totalement consommé.

4.1.3 Explication :

Le permanganate de potassium oxyde l'eau oxygénée par une réaction d'oxydoréduction très exothermique. Sous l'effet de la chaleur, l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux et cette vapeur d'eau se condense instantanément en fines gouttelettes d'eau en suspension donnant un brouillard blanc. Ce brouillard est à ne pas confondre avec de la fumée, qui est, elle, un solide en suspension dans l'air.

4.2 Du feu sans allumettes

4.2.1 Matériel :

- Un petit récipient en porcelaine
- Permanganate de potassium (KMnO_4)
- Glycérine (propane-1,2,3-triol)
- Un compte-goutte

4.2.2 Protocole Expérimental :

- Faire un petit tas de poudre de permanganate de potassium au centre du récipient et le mouder.
- Répartir 4 ou 5 gouttes de glycérol (liquide très visqueux) sur la poudre. Rien ne se passe...
- Au bout de quelques secondes (voir une minute parfois), de la fumée se dégage du mélange, puis des flammes violettes apparaissent rapidement.

4.2.3 Explication :

Le permanganate de potassium oxyde le glycérol, très lentement au début, en dégageant de la chaleur. La chaleur accélère la réaction et le permanganate de potassium libère son oxygène plus rapidement. La couleur violette des flammes provient de la présence du potassium.

4.3 Les étincelles

4.3.1 Matériel :

- Bougie
- Poudre de fer
- Poudre d'aluminium
- Poudre de charbon de bois (carbone)
- Magnésium

4.3.2 Protocole Expérimental :

- Allumer la bougie
- Saupoudrer la flamme de la bougie avec les trois substances, séparément. Il apparaîtra des gerbes d'étincelles plus ou moins éblouissantes et colorées selon le composé: orange pour le carbone, jaune pour fer, blanches et éblouissantes pour l'aluminium.
- A l'aide d'une pince mettre le magnésium sur la flamme il y aura un « flash » lumineux.

4.3.3 Explication :

Ces trois composés ne s'enflamment pas lorsqu'ils sont en masse (c'est à dire en solide compact), contrairement par exemple au magnésium comme le montre l'expérience de la combustion du magnésium. Le fer et l'aluminium sont facilement oxydable mais pas assez pour donner une combustion s'ils ne sont pas réduits en poudre. Le charbon de bois devient incandescent si on le chauffe un moment et ne donne pas d'étincelles (ou à peine en soufflant dessus). Réduit en poudre, la surface de contact entre le combustible et le dioxygène (O₂) contenu dans l'air augmente considérablement. La chaleur de la flamme initie alors la combustion et des oxydes sont produits :



Selon le composé, la chaleur dégagée lors de la combustion est plus ou moins élevée, on observe alors des étincelles plus ou moins éblouissantes dont les couleurs varient avec la température des particules incandescentes : rouge (comme le carbone) pour une température d'environ 1100°C, puis orange (comme le fer) vers 1300°C, jaune vers 1500°C, blanc (comme l'aluminium) à partir de 3000°C et bleuté (comme le magnésium) pour les températures au delà de 5000°C.

Pour être plus précis, ce phénomène est appelé *rayonnement du corps noir*. L'explication de ces couleurs est bien différente de l'explication de la couleur des flammes. Ici, plus la chaleur provoquée par la combustion est grande et plus les couleurs émises s'étalent du rouge vers le violet **de manière continue**. La couleur résultante vue par notre oeil est l'addition des couleurs émises .

4.4 Les flammes colorées

4.4.1 Matériel :

- Tiges en bois pour brochettes
- Spatule
- Petits flacons (100 mL), autant que de sels métalliques disponibles
- Bec Bunsen
- Sels métalliques en poudre :
 - Sulfate de cuivre (CuSO₄)
 - Nitrate de baryum (Ba(NO₃)₂)
 - Chlorure de sodium (NaCl)
 - Nitrate de strontium (Sr(NO₃)₂)
 - Chlorure de calcium (CaCl₂)
 - Nitrate de potassium (KNO₃)
 - Nitrate de lithium (LiNO₃)

4.4.2 Protocole Expérimental :

- Préparer les solutions de sels métalliques en introduisant dans chaque flacon l'équivalent de 2 cuillères à café de poudre. Laver la spatule entre chaque poudre de manière à ne pas faire de mélanges. Remplir les flacons d'eau aux 2/3 et plonger une tige en bois dans chaque flacon.
- Ou saupoudrez la flamme des sels solides.

- Au dessus de la flamme du chalumeau (la plus bleue possible), faire passer tour à tour les tiges en bois imbibées des solutions de sels. Observer les différentes couleurs : vert, vert pâle, rouge, orangé-rouge, orange, lilas, rose fuchsia.
- Annexe 9.3

4.4.3 Explication : (Cfr Emission atomique)

On dit que le spectre d'émission atomique est un **spectre de raies** ou **discontinu** car il ne contient que *certaines* couleurs et non pas *toutes* les couleurs, par opposition au spectre de *rayonnement du corps noir* comme dans l'expériences des étincelles. Ceci peut illustrer le modèle théorique de l'atome décrit par Niels Bohr.

Annexe 9.4

Spectre visible entier (pour comparaison)



Note : ces spectres ont été reproduits assez approximativement...

5 De quoi est composée une fusée?

Il existe une multitude de sortes de poudres différentes utilisées en pyrotechnie. Celles-ci varient selon ce que l'on veut obtenir, la couleur que l'on souhaite, la fréquence que l'on veut ou encore la forme. Néanmoins, on peut classer ces poudres en 4 grandes catégories :

- Les poudres propulsives
- Les poudres explosives
- Les poudres à retardements
- Les mélanges

Chaque fusée est un mélange de ces différentes poudres pré-citées. La forme finale obtenue dépend des poudres utilisées, de la disposition de celles-ci et de la structure de la fusée elle-même. Elles ont cependant toujours le même but, emmagasiner le maximum d'énergie dans un minimum d'espace.

Annexe 9.5

5.1 Les poudres propulsives

Le but de cette poudre est de permettre à la fusée de s'élever dans les airs. Elle se situe dans la chasse. Il s'agit de la poudre la plus ancienne. En effet, elle dérive directement de la poudre noire utilisée au Moyen-âge. Le salpêtre (nitrate de potassium ou KNO_3) est un oxydant, il se décompose pour fournir l'oxygène nécessaire à la combustion. Le soufre, qui a l'avantage de s'enflammer à basse température a aussi l'inconvénient de brûler très lentement ce qui n'arrange pas les affaires des artificiers ! Il faut donc y ajouter un autre combustible, brûlant très rapidement, voilà pourquoi on y ajoute du charbon de bois, qui cependant nécessite une haute température pour commencer à brûler. En résumé, un mélange de soufre, de salpêtre et de charbon de bois brûlera lentement et relativement faiblement, donc sans détonation. Une fois la combustion entamée, une importante quantité de gaz est formée dans un petit espace ouvert en un seul point : la tuyère, équivalent d'un pot d'échappement. Le gaz, comme on le sait, prenant tout l'espace qu'on lui donne va s'échapper par la tuyère, ce qui aura pour effet l'envol de la fusée.

5.2 Les poudres de retard

Son rôle est très précis et un peu particulier. En effet, la poudre de retard a comme but de déterminer le temps qui doit s'écouler entre la mise à feu de la chasse et celle de la poudre explosive. Cela permet à la fusée de ne pas exploser juste après avoir été mise à feu, ce qui entraînerait d'énormes risques et gâcherait le spectacle, la

fusée étant alors peu visible. Elle peut aussi permettre de séquencer un tir même si aujourd'hui, l'informatique a pris le pas, cela reste une "roue de secours" parfois bien utile. Cette poudre permet d'obtenir une combustion plus ou moins lente (selon les désirs de l'artificier) et sans dégagement de chaleur trop important, ce qui permet d'éviter la mise à feu de la poudre explosive à un moment inopportun. Souvent cette poudre est présente sous forme de mèche possédant une échelle de combustion (la plupart du temps 1 cm de mèche = 1 sec de combustion).

5.3 Les poudres explosives

C'est la charge d'éclatement. Elle est composée des mêmes éléments que la poudre propulsive mais ceux-ci sont présents en proportions différentes. Il y a, en effet, un pourcentage de charbon légèrement plus important et un pourcentage de soufre beaucoup plus important, la proportion de salpêtre étant réduite. Cela aura pour conséquence que la poudre brûlera plus rapidement et à température plus basse. En fait, sa vitesse de combustion est suffisamment rapide pour engendrer une onde de choc qui est à l'origine du bruit que l'on entend lorsque la fusée "explose". Ce n'est cependant pas la poudre explosive qui rend les feux d'artifice colorés. C'est par contre elle qui leur permet de prendre une forme particulière. Son but est de disperser, de manière plus ou moins forte selon le type de fusée les étoiles contenant le mélange pyrotechnique.

5.4 Les poudres pyrotechniques ou étoiles

Ce sont ces poudres qui produisent les effets que nous observons et qui rendent les feux d'artifice si beaux et si magiques. Elles y apportent les magnifiques couleurs, dont le nombre rend le recensement des poudres presque impossible, celles-ci étant très nombreuses. Néanmoins, en se basant sur les éléments chimiques utilisés lors de l'expérience sur les étincelles, on peut se faire une petite idée des différentes couleurs obtenues en fonction de l'atome métallique présent.

La notion d'étoile est très importante dans la compréhension du feu d'artifice. En effet, sans les étoiles, la fusée ne serait qu'un simple artifice produisant un effet similaire à celui d'une explosion d'obus, de missile ou de tout autre type d'explosif "classique". En effet, la poudre pyrotechnique n'est pas simplement disposée autour de la charge d'éclatement comme on pourrait le supposer. Grâce à des liants (principalement la gomme arabique ou encore la dextrine), la poudre est modelée en forme de sphère de diamètre variant selon l'effet désiré. Ces petites sphères sont disposées autour de la charge d'éclatement. Lorsque cette dernière explose, elle expulse les étoiles selon la forme dans laquelle elles avaient été placées dans la fusée. C'est ce procédé qui permet d'obtenir toutes sortes de formes, de la sphère à "effet chiffre" en passant par le cœur. C'est également ce phénomène qui fait que l'on ne voit pas une ligne continue de lumière dans le ciel, mais bien une série de petits points lumineux, chacun de ceux-ci étant une étoile. Les étoiles peuvent être composées de plusieurs couches, chacune contenant une poudre différente. Cela a pour effet que les étoiles changent de couleur au cours de leur combustion. D'autres effets sont possibles mais ils sont tellement nombreux que nous allons nous arrêter ici pour les exemples.

6 Que se passe-t-il lorsqu'on allume la mèche ?

Maintenant que toutes ces explications ont été données, nous vous proposons de tout résumer en vous expliquant concrètement ce qui se passe lorsque le feu est mis à la mèche.

L'artificier allume la mèche, celle-ci se consume et conduit le feu à la charge (charge propulsive). Cette charge se consume, faisant s'élever la fusée dans les airs. Une fois l'entièreté de la charge consommée, la fusée continue sur sa lancée pendant quelques secondes, pendant que la poudre de retard se consume. Une fois la fusée arrivée au point culminant de son ascension, si le calcul de proportion des poudres est respecté, la poudre de retard est entièrement consommée et mets le feu à la charge d'éclatement. Celle-ci explose et projette toutes les différentes étoiles en y mettant le feu, celles-ci produisent l'effet lumineux escompté.

7 Point sécurité

La maîtrise des feux est néanmoins délicate voici donc quelques conseils pour ne pas avoir de mauvaises surprises.

- Choix du site de tir :
 - Il doit correspondre à la distance de sécurité maximum du produit, le plus important que vous possédez.
 - L'endroit doit être débarrassé des herbes sèches et éloigné de lieux à hauts risques.
 - Vérifier qu'aucun obstacle ne pourrait gêner la trajectoire ou la dévier.

- L'installation du site & manipulation :
 - Le lanceur des fusées doit être bien enterré pour ne pas risquer de basculer.
 - Ne pas rallumer un artifice qui n'a pas fonctionné.
 - Ne pas fumer aux abords du lieu de tir.
 - Arrêter l'installation si une averse ou un orage menace.
 - Porter des vêtements en coton, un pull en laine ou du cuir, un casque de sécurité et antibruit et des lunettes de protection.

- Tir d'artifice :
 - Avant le tir, faire une dernière vérification des fixations.
 - Avoir toujours à disposition des moyens d'extinction.
 - Si le vent est supérieur à 15m/s, annuler le tir.

- Administratif :
 - Prévenir les pompiers, la police et la commune de l'endroit exact où aura lieu le tir.

Remarque : Les produits utilisés peuvent, comme tout produit chimique, provoquer des réactions, parfois spectaculaires. Le démarrage très lent de la réaction montre bien qu'il est **dangereux de mélanger des produits chimiques dont on ne connaît pas les propriétés**, même si ceux-ci ne sont pas dangereux ; une réaction inattendue peut commencer après un long moment et provoquer des catastrophes : incendie, explosion ou production de gaz asphyxiant...

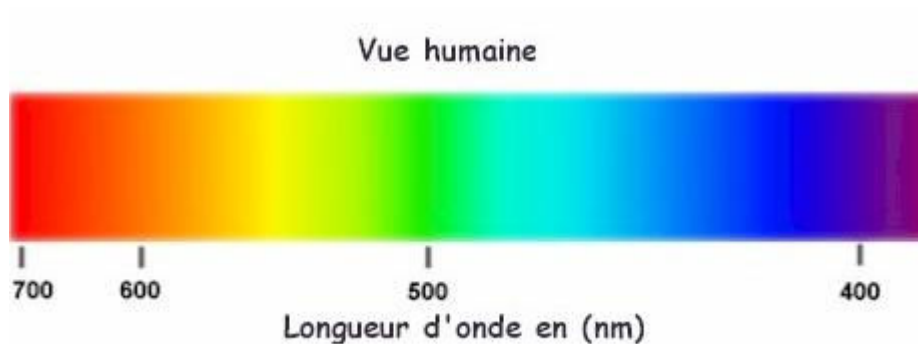
8 Conclusion

C'est ainsi par ces quelques points sur la sécurité que nous terminons notre exposé. Grâce à ces quelques points théoriques et à ces quelques expériences nous pouvons, au lieu de simplement admirer ; comprendre comment fonctionnent les feux d'artifice qui ne sont en fait « constitués » que de phénomènes physiques et chimiques bien connus et applicables dans de nombreux autres domaines. Ainsi on peut expliquer la rouille par l'oxydation lente, l'onde de choc provoquée par une explosion dans une carrière par l'onde émise par une détonation, etc....



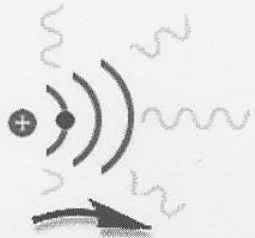
9 Annexes


9.1 Lumière



9.2 Emission atomique

 Selon le modèle de Bohr, l'électron tourne autour du noyau, sur une couche électronique bien définie.

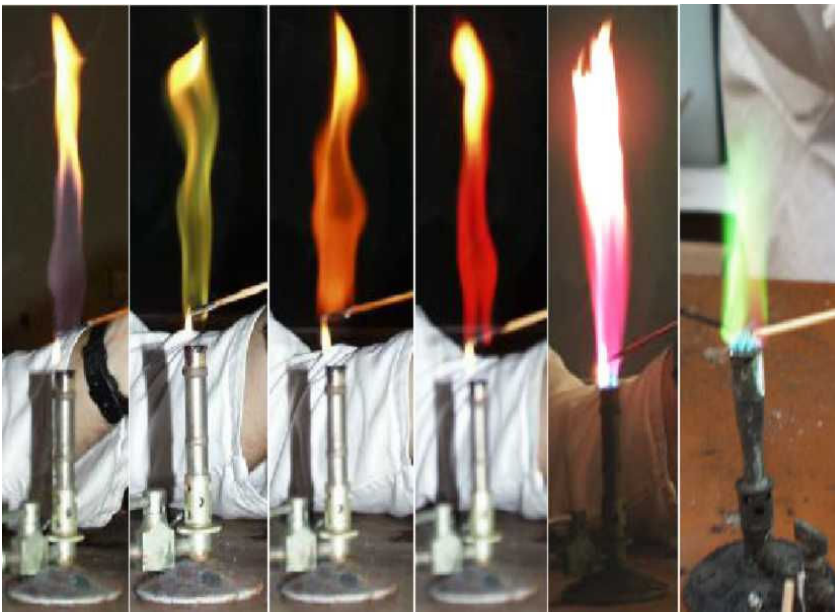
 Sous l'effet de l'énergie thermique (chaleur) ou électrique, l'électron est excité par cette énergie qu'il absorbe et saute sur une couche électronique plus énergétique.

 L'électron est sur une couche électronique plus énergétique. Cette situation est instable et le besoin de stabilité l'amène à perdre cette énergie pour se rapprocher du noyau.

 L'électron revient sur sa couche électronique, à son état fondamental. Lors de son retour, il libère, sous forme d'énergie lumineuse (photons), l'énergie thermique ou électrique qu'il avait absorbée.

 L'électron est à nouveau sur sa couche électronique définie.

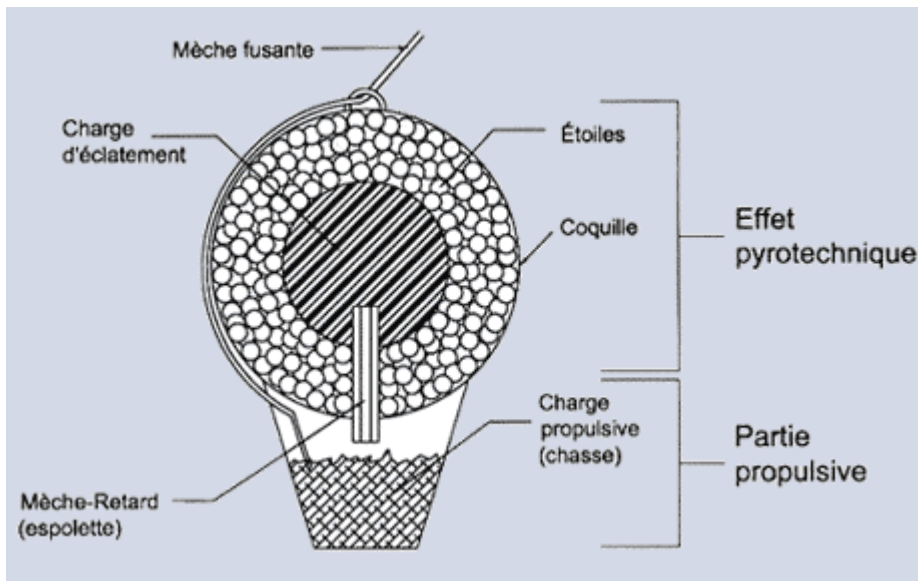
9.3 Flammes colorées 1



9.4 Flammes colorées 2

Élément (cation)	Spectre d'émission de flamme	Couleur observée
<u>Cuivre (Cu²⁺)</u>		<i>Vert</i>
<u>Baryum (Ba²⁺)</u>		<i>Vert pâle/jaune</i>
<u>Strontium (Sr²⁺)</u>		<i>Rouge</i>
<u>Calcium (Ca²⁺)</u>		<i>Orangé-rouge</i>
<u>Potassium (K⁺)</u>		<i>Lilas/violet</i>
<u>Lithium (Li⁺)</u>		<i>Rose fuschia</i>
<u>Sodium (Na⁺)</u>		<i>Orange</i>

9.5 La bombe pyrotechnique



10 Bibliographie

Dictionnaire :

- 1999. Le petit Larousse illustré, Larousse, Editions Larousse, France, 1784 p

Revue :

- TDC Les Feux d'artifice, n°581 (20 mars 1991)
- Encyclopédie visuelle des sciences (le Soir, 2002)

Sites web :

- BOUTILLIER, Yann. <http://www.ifrance.com/TPELesfeuxdartifice/>.
- BOURQUE, Ghislaine. <http://mendeleiev.cyberscol.qc.ca/carrefour/theorie/pyrotechnie.html>. déc. 04
- ARTIFICIERS ASSOCIES.
<http://www.pyrotechnie.com/index.php?page=prestations&lang=&rub=ccm>
- <http://christopheblanc.free.fr/>
- <http://www.pyrotechnic.ch/Page-principale.htm>

Livre :

- RUSSEL, Michael. The chemistry of fireworks, RSC Paperbacks.
- CANBY, Courtlandt. Histoire de la fusée.
- CANBY, Courtlandt. Histoire de l'armement.
- Encyclopédie Universalis
- Le livre mondial des inventions de l'an 2000

Emission TV:

- "C'est pas sorcier": les feux d'artifice, France Television

Merci à Pierre J. Van Tiggelen, professeur et directeur du laboratoire de physico-chimie de la combustion à l'université catholique de Louvain.

Merci à Dimitri et Gregory Breidenbach pour nous avoir gentiment réalisé notre DVD.

Merci à notre professeur de chimie Mme Walnier

Merci à Christophe Blanc et au site Pyrotechnic pour les photos