

Qu'est-ce qui permet d'envoyer une chandelle verte à 30 mètres de hauteur ?



Moreau Noémie
Daguet Léa
Vivier Claire

Thème choisi : Avancées scientifiques et réalisations techniques

Matières concernées : Physique/Chimie et Mathématiques

© www.fond-ecran-image.com

Sommaire

<u>Introduction</u>	p.3
I. <u>Projectiles, calibres, sécurité ...</u>	p.4
1. Projectiles et calibres	
2. Composants de base	
3. Préparation et mises à feu	
4. Qualifications	
5. Sécurité	
II. <u>Les différents phénomènes qui permettent d'envoyer une chandelle à 30 mètres de hauteur.</u>	p.9
A) La combustion et l'oxydoréduction	
1. Généralités	
2. Mise en relation avec la chandelle	
B) La propulsion par réaction	
1. Généralités	
2. Mise en relation avec la chandelle	
a) Energie et vitesse	
b) Equation de trajectoire	
C) L'émission de lumière	
1. Généralités	
2. Mise en relation avec la chandelle	
<u>Conclusion</u>	p.16
<u>Bibliographie</u>	p.17

Introduction

Le feu d'artifice est un spectacle de feu dépendant de la pyrotechnie, c'est-à-dire de la science de la combustion, qui vise à produire de la lumière, du son et de la fumée.



Les textes fiables les plus anciens situent la création des feux d'artifice en Chine vers le VIII ou IX^{ème} siècle. Les feux d'artifice étaient alors utilisés pour chasser les démons et le mauvais esprit, mais également pour effrayer l'ennemi sur les champs de batailles. Ils sont appelés feux d'artifice pour montrer qu'ils ne sont pas naturels.

La poudre noire, qui est composée de salpêtre, de charbon et de soufre de bois est le composant de base des feux d'artifice. Elle a été rapportée en Europe au XIII^{ème} siècle par Marco Polo, de son long voyage en Chine. Elle a été alors principalement utilisée pour fabriquer des armes et des bombardes avant d'être utilisée pour les fêtes. Puis, d'autres ingrédients ont été ajoutés à la poudre : la poussière d'or et d'argent essentiellement.

Aujourd'hui, on admire la belle bleue, la belle rouge et le bouquet final, mais, autrefois, on intégrait les feux d'artifice dans des spectacles et on ne les regardait pas pour eux-mêmes : ils devaient soutenir une intrigue théâtrale, un conte ou encore un récit de bataille.

En France, le premier vrai feu a été tiré sur la Place des Vosges, à Paris, pour le mariage d'Anne d'Autriche et Louis XIII en 1615. Mais les feux d'artifice sont utilisés en France essentiellement depuis le XVIII^{ème} siècle, où on voit apparaître des feux d'artifice tirés dans des jardins. Cette fois, on les admire car le théâtre ne fait plus partie du jeu. Jusqu'au XIX^{ème} siècle, ils étaient principalement jaunes ou blancs.

Mais à la fin du XVIII^{ème} siècle, les caisses de l'Etat sont vides et les feux d'artifice deviennent rares

car ils sont trop coûteux. Quand la République arrive, ils sont d'autant plus mal vus car ils rappellent trop les divertissements des privilégiés. Mais, heureusement pour nous, le Premier, puis le Second Empire vont renouer avec la tradition des feux d'artifice. Le succès du feu d'artifice de 1880, le jour de la fête nationale, va faire que la fête va se renouveler tous les ans.

Mais on peut alors se demander comment obtenir un spectacle éblouissant avec de la lumière, des couleurs variées, des explosions et des hauteurs de feux d'artifice parfois très grandes.

Nous allons le démontrer en plusieurs parties. En premier lieu, nous allons étudier la base des feux d'artifice comme les différents projectiles, calibres, les mesures de sécurité à respecter, le système de mise à feu ... Puis, nous allons montrer comment différents phénomènes scientifiques permettent d'envoyer une chandelle de couleur verte de calibre 30 mm à 30 mètres de hauteur.

I. Projectiles, calibres, sécurité ...

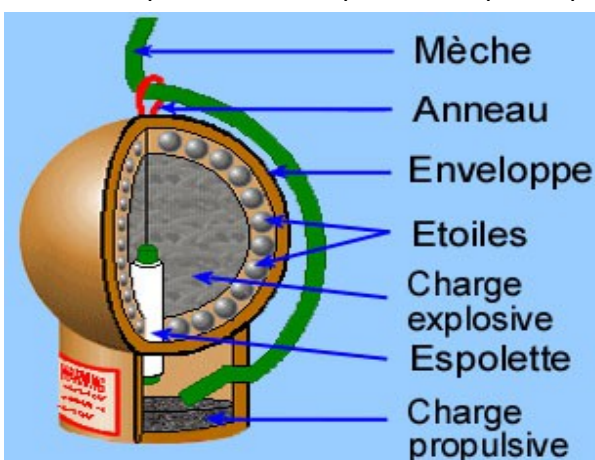
1. Projectiles et calibres

Il existe différents projectiles qui composent un feu d'artifice comme la bombe, la chandelle, le compact, la fusée, le feu de bengale, la roue, la cascade, le pot à feu, ect ...

La **fusée** est un dispositif autopropulsé, qui emporte avec elle la source d'énergie nécessaire à son ascension. Celle-ci se fait grâce à une petite réserve de poudre noire qui se consume. La fusée est la première pièce d'artifice à être apparue. Au début, elle avait un but militaire mais à cause de son manque de précision, la bombe la remplaça. En effet, les fusées ne sont pas très fiables et sont très sensibles aux vents.

La **bombe** est le produit type du feu d'artifice en général. C'est elle qui offre les énormes fleurs qui remplissent le ciel, qui fait vibrer le sol en libérant des palmiers dorés, qui constitue ces bouquets qui éblouissent tout le monde. Elle peut être sphérique ou cylindrique en fonction de l'effet qu'elle contient, ou de son pays de fabrication.

Elle est composée de deux parties : la partie propulsive et la partie explosive.



Bombe sphérique

La partie explosive est une enveloppe en carton ou plastique, de forme sphérique ou cylindrique. Elle contient une charge explosive, la poudre noire, qui permet de faire exploser la charge. Autour, il y a des "étoiles" qui sont des sortes de billes de poudre noire compactée.

La partie propulsive est une enveloppe qui contient une charge de poudre propulsive. La liaison entre ces deux parties est une mèche retard (l'espolette).

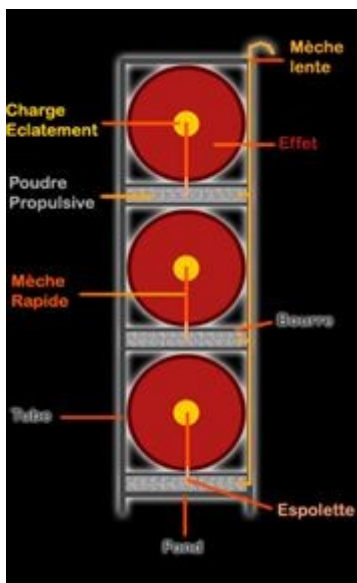
Effet d'une bombe

Ces bombes sont placées dans des tubes de même diamètre, les mortiers. Mise à feu, la partie propulsive (la chasse) s'enflamme instantanément en produisant un flux de gaz brûlants qui allume l'espolette et propulse dans les airs la bombe. Pendant l'ascension, l'espolette se consume pour mettre le feu finalement à la partie explosive qui éclate et libère les étoiles en fusion dans le ciel.

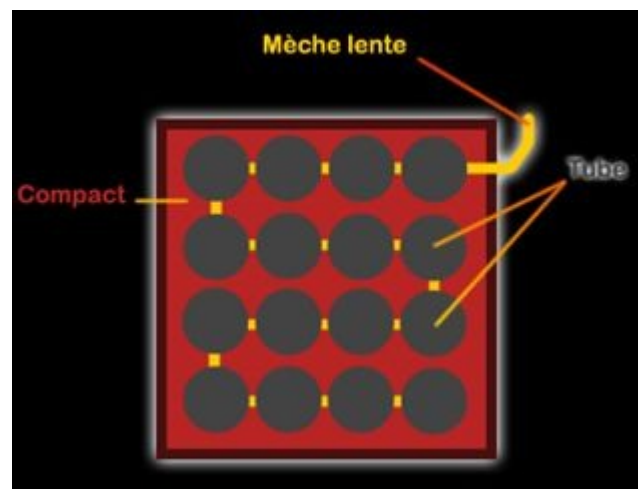
Le calibre des bombes varie de 75 à 300 mm. Pour les plus petits calibres, elles explosent à environ 80 ou 90 mètres d'altitude, et atteignent un diamètre dans le ciel d'environ 75 mètres. Pour les plus grands calibres, elles explosent à 300, 400 mètres d'altitude et atteignent un diamètre dans le ciel d'environ 350 mètres.

Les bombes sont reliées entre elles grâce à l'espolette qui permet un retard qui peut aller de 0,5 secondes à 5 secondes. L'impulsion électrique qui met à feu la partie propulsive fait enflammer la première bombe qui fait enflammer la seconde en fonction du retard choisi par l'artificier, et ect.

Une bombe donne seulement un effet.



Organisation d'une chandelle



Organisation d'un compact

Les **chandelles** sont placées dans des tubes. Elles ont différents diamètres qui vont de 30 mm à 75 mm. Les projectiles sont empilés les uns sur les autres. L'impulsion électrique allume le premier étage qui provoque les allumages successifs des étages inférieurs d'une manière synchronisée et automatique. Le départ entre chaque projectile doit être au minimum de 2 secondes et au maximum de 4 secondes. Ça ne peut pas dépasser 15 projectiles et cela donne plusieurs effets au sol.



Le **compact** est un assemblage de tubes (sorte d'assemblage mortiers) d'un diamètre variant de 15mm à 150mm. Le compact peut posséder la forme d'un losange, d'un carré ou d'un rectangle. C'est un peu le même principe que la chandelle, mais il y a beaucoup plus de tubes, entre 20 et 600, qui ne comportent chacun qu'un coup. Ces tubes partent automatiquement et d'une manière synchronisée après l'allumage du premier. Les diamètres des tubes varient entre 20 et 75 mm. Au fond de chaque tube a été disposée de la poudre qui sert à la propulsion, et au-dessus une bombette, des comètes, des bombes, qui vont produire les effets. Les compacts peuvent être droits ou éventailés en fonction de l'effet que l'on cherche à produire. Les effets peuvent monter jusqu'à 50 mètres d'altitude. Ils peuvent partir à 2 ou 3 endroits différents et on peut lancer jusqu'à 300 projectiles en 30 secondes.

Ils sont fabriqués en Chine, car on ne sait pas les fabriquer en Europe.

Effet chandelle et compact

Les effets des **chandelles** et des **compacts** sont, entre autres, des comètes, des gerbes d'étoile ...

Le **feu de bengale** est un tube en carton ou en métal dans lequel on dispose un mélange pyrotechnique qui va se consumer lentement et générer un fort dégagement de lumière et de fumée. On l'utilise souvent pour embraser un site, ou pour faire ressortir des ombres d'un édifice. Les fusées de détresse entrent dans la famille des feux de Bengale.

Effet feu de bengale



La **cascade** est un assemblage de jets disposé tête en bas qui donnent l'impression d'une cascade d'étincelles tombantes.

Effet cascade

Le **pot à feu** ressemble fortement à la bombe. La partie propulsive enflamme directement le composé pyrotechnique destiné aux effets. Le pot à feu sort du mortier déjà en combustion, ce qui provoque une gerbe de lumière à la manière de la lave des volcans en éruption.



Effet pot à feu

Couleurs	Eléments	Composée	Formules chimiques
Bleu	Cuivre Zinc	Chlorure cuivreux Sulfate de cuivre Poudre de zinc	$CuCl$ $CuSO_4$ Zn
Violet	Potassium	Nitrate Chlorate	KNO_3 $KClO_3$
Rouge	Strontium Lithium	Nitrate de strontium Hydroxyde de strontium Carbonates de strontium Oxyde de strontium Chlorure de strontium	$Sr(NO_3)_2$ $Sr(OH)_2$ $SrCO_3$ SrO $SrCl_2$
Orange	Calcium	Nitrate de calcium	$Ca(NO_3)_2$
Jaune	Sodium	Oxalate de sodium Oxyde de sodium Nitrate de sodium	$Na_2C_2O_4$ Na_2O $NaNO_3$
Doré	Fer Carbone Soufre	Limaille de fer Charbon	Fe C S
Vert	Baryum	Nitrate de baryum Chlorure de baryum Chlorate de baryum	$Ba(NO_3)_2$ $BaCl_2$ $Ba(ClO_3)_2$
Blanc	Magnésium Aluminium	Poudre d'aluminium Poudre de magnésium	Al Mg
Argenté	Titane Aluminium	Poudre de Titane Poudre d'aluminium	Ti Al
Scintillant	Antimoine	Composé toxique dans toutes ses formes	Sb
Etincelles	Aluminium	Granules d'aluminium	Al
Fumées	Zinc	Poudre de zinc	Zn

2. Composants de base

Le composant de base des feux d'artifices est la poudre noire qui est un mélange de charbon (15%), de salpêtre (75%) et de nitrate (10%). Pour obtenir les différentes couleurs, on y mélange du baryum, du strontium, du sodium, du magnésium ... Au départ, il y avait seulement le blanc et le jaune. On ajoutait alors à la poudre noire du magnésium et de l'aluminium d'une part et du sodium d'autre part. Puis sont apparues les couleurs or, argent, bleu, rouge et vert. Maintenant, on peut réaliser une trentaine de couleurs comme le fushia, le cyan, le jaune ...

3. Préparation et mise à feu

Pour réaliser un bouquet, il y a plusieurs batteries pour occuper un maximum de place dans le ciel. Il y a des angles de tir à respecter selon l'emplacement de tir. La hauteur de l'effet est déterminée par le produit que l'on utilise. Par exemple, plus on augmente le calibre des bombes, plus ça monte haut dans le ciel ce qui permet de travailler sur plusieurs étages.

Pour préparer un feu, il y a 3h de montage au dépôt sans compter le programme qui est fait en fonction du budget. Sur place, il faut entre 3 et 4h avec 3 artificiers. Les produits sont stables dans le transport, mais il ne faut pas d'étincelles.

Le système de mise à feu est une mèche classique avec un inflammateur électrique. Il y a 10 ou 15 ans, les artificiers allumaient à la main. Maintenant, ils commandent à partir d'un pupitre ou par informatique. Sur informatique, ils ont des logiciels spécialisés où ils rentrent un programme de tir. C'est donc l'ordinateur qui pilote et ce système est essentiellement utilisé sur les gros feux d'artifice avec des effets musicaux car cela demande beaucoup de temps de coder tout le programme. Pour les feux classiques, les artificiers mettent à feu manuellement par l'intermédiaire du pupitre où les artifices sont reliés par des satellites.

4. Qualifications

Pour tirer un feu d'artifice, on doit être qualifié. Il y a 2 niveaux de qualification : C3 et C4. La C3 est simple à obtenir, mais il y a une limitation dans les calibres. Les bombes doivent avoir au maximum un calibre de 75 mm. Les compacts doivent avoir au maximum 500 grammes de matière active (poudre noire). Le feu au total ne doit pas dépasser 354 kg. Pour la C4, il y a une formation d'une semaine où on tire sur des chantiers. On peut tirer tous les types d'artifice.

Le stockage de la poudre noire est très réglementé : il y a un site de stockage classé, en pleine campagne avec vidéosurveillance et grillage. Les explosifs ne sont pas en vente libre, hormis les pétards pour les qualifications C1 et C2.

5. Sécurité

Pour une bombe de calibre 100 mm, le diamètre qu'elle obtient en explosant est de 100 mètres. Les spectateurs sont donc systématiquement placés à 100 mètres. Si on augmente le calibre des bombes, il faut éloigner encore plus les spectateurs. L'effet est donc calculé par rapport à l'endroit où les spectateurs sont installés. En France, l'altitude maximale autorisée est de 300 mètres. En Chine, elle est de 600 mètres.

En cas de pluie, on peut tirer quand même car les pièces sont mises dans des sacs en plastique adaptés à leur taille.

Si il y a du vent au dessus de 26 km/h, les distances de sécurité doivent être doublées. Si le vent dépasse 52 km/h, le feu d'artifice est annulé car les projectiles peuvent aller n'importe où.

II. Les différents phénomènes qui permettent d'envoyer une chandelle à 30 mètres de hauteur.

A. La combustion et l'oxydoréduction

1. Généralités

La combustion est un élément primordial en pyrotechnie.

On appelle combustible toute substance capable de générer de la chaleur en présence de dioxygène. En pyrotechnie, le combustible est un réducteur qui libère des électrons afin de réaliser l'octet. La réaction avec l'oxygène entraîne une libération d'énergie sous forme de chaleur, de lumière et un gain de stabilité.

Parmi les combustibles, on compte des métaux comme le strontium, le magnésium, le brome, l'aluminium, le silicium ou le titane et des non métaux comme le soufre, le charbon et même le lactose.

De même, on appelle comburant toute substance étant capable de permettre la combustion d'un combustible. Autrement dit, il va fournir le dioxygène nécessaire à la combustion. En pyrotechnie, le comburant est un oxydant qui capte des électrons et libère de l'oxygène. Les nitrates, chlorates et perchlorates sont principalement utilisés dans les feux d'artifice

Pour qu'il y ait combustion, il faut que 3 éléments soient réunis : il faut une énergie d'activation (flamme, feu), un comburant et un combustible. Si l'un des trois n'est pas présent, la combustion ne peut pas avoir lieu. Ce principe est aussi appelé triangle du feu:



La réaction débute par le transfert d'électrons du combustible vers le comburant. C'est au cours d'une réaction d'oxydoréduction, qui est caractérisée par un transfert d'électrons entre un oxydant et un réducteur, que les atomes du combustible se lient avec les atomes de dioxygène libérés par le comburant. Le premier subit alors une réduction (gain d'électrons) et le second une oxydation (perte d'électrons). Ils forment ainsi des produits stables tels que le dioxyde de carbone CO₂ ou le

dioxyde de soufre SO₂ dans le mélange pyrotechnique. Ce gain de stabilité s'accompagne d'un dégagement d'énergie, sous la forme de chaleur : c'est une réaction exothermique. Le mélange contient le combustible et le comburant. La réaction s'effectue dans un très petit volume. Par conséquent, la température de la réaction est très importante.

2. Mise en relation avec la chandelle

Dans un feu d'artifice, il y a combustion de la poudre noire, de formule KNO₃+S+C. Le KNO₃ est du nitrate de potassium, le S est du soufre et le C du carbone. L'équation chimique de cette combustion est : $2\text{KNO}_3 + \text{S} + 3\text{C} \rightarrow \text{K}_2\text{S} + 3\text{CO}_2 + \text{N}_2$. Ici, le combustible est le soufre et le comburant est le nitrate de potassium. Le produit stable formé pendant la réaction d'oxydoréduction est le dioxyde de carbone CO₂.

B. La propulsion par réaction

1. Généralités

Comme on l'a vu précédemment, l'oxydoréduction entraîne une production de gaz, dans notre cas, du CO₂. La formation extrêmement rapide de gaz en grande quantité participe à l'explosion. En effet, d'après la loi des gaz parfaits, si la quantité de gaz et la température augmentent, alors la pression augmente aussi.

La loi de Boyle-Mariotte dit : « à volume constant la pression augmente proportionnellement à la température ». Dans le cas des feux d'artifice, le volume est constant, c'est le mortier. La pression augmente donc proportionnellement à la température.

Pour les feux d'artifice, la température est décuplée très rapidement donc la pression devient énorme. Ces deux éléments créent l'un des facteurs les plus importants de la propulsion : la vitesse.

La propulsion est donc due à trois éléments :

- **L'énergie** : On sait que plus le mélange pyrotechnique est homogène et le volume le contenant est restreint, plus la réaction est rapide. Cependant, une petite quantité de poudre noire, en dehors d'une bombe, brûle lentement et ne produit pas d'explosion. En revanche, elle explosera lorsque sa combustion sera accélérée par le confinement dans un petit volume.
- **La pression et les gaz** : On applique à la mèche une étincelle, ou n'importe quelle autre énergie. La mèche se consume avec une flamme et arrive alors à la charge (charge de propulsion). Par conséquent, la combustion de la poudre noire qui dégage non seulement beaucoup de gaz mais aussi une chaleur énorme (2000 °K), fait énormément augmenter la pression car le volume est constant. Ainsi l'explosion est provoquée, et la bombe est propulsée.

L'énergie est alors apportée à l'espolette qui se consume avec une flamme. Lorsque la bombe se

trouve à son apogée dans le ciel, la flamme de l'espolette arrive à la charge d'éclatement qui, semblablement à la chasse, dégage beaucoup de gaz dans un volume restreint ainsi qu'une chaleur énorme. Cela provoque alors une explosion. A l'intérieur de la bombe, les étoiles réparties autour de la charge d'éclatement sont alors dispersées dans le ciel, elles ont reçu la chaleur produite par la combustion de la poudre noire.

2. Mise en relation avec la chandelle

a. Energie et vitesse

La propulsion par réaction de la chandelle fonctionne de la même manière que celle de la bombe. Nous savons que pour 215 g de poudre, une chandelle de calibre 30 mm va monter à 30 m d'altitude.

Nous savons aussi que $E_{pp} = m \cdot g \cdot h$ où :

E_{pp} est l'énergie potentielle de propulsion en J

m est la masse de poudre en kg

g est l'intensité de la pesanteur qui est égale à 9,81 N/kg

h est l'altitude de la chandelle en m

$$E_{pp} = 0,215 \times 9,81 \times 30 \\ = 63,27 \text{ J}$$

On estime que 90 % de l'énergie potentielle de propulsion sert à faire monter la chandelle, le reste étant perdu sous forme de chaleur.

$$\frac{90}{100} \times 63,27$$

57 J servent à faire monter la chandelle.

Nous savons aussi que $E_{pp} = \frac{1}{2} m \times v^2$ où v est la vitesse de la chandelle en m/s

Nous cherchons à connaître v , donc $v^2 = E_{pp} / \frac{1}{2} m$

$$v^2 = 57 / \left(\frac{1}{2} \times 0,215 \right)$$

$$= 530$$

$$v = \sqrt{530}$$

$$= 23 \text{ m/s}$$

Nous avons donc déterminé le pouvoir calorifique de la poudre qui est de 57 Joules et la vitesse de la chandelle qui est de 23 m/s.

b. Equation de trajectoire

Nous allons faire une modélisation de la trajectoire de la chandelle en modifiant la vitesse initiale V' de la fusée et son angle d'inclinaison α .

Plusieurs formules nous permettent d'obtenir l'équation de trajectoire :

--> la chandelle subit une force $a = -g$ où g est la valeur de l'intensité de la pesanteur, c'est-à-dire 9,81 N/kg.

--> la vitesse en l'axe x est $V_x = V' \times \cos \alpha$.

--> la vitesse en l'axe y est $V_y = -gt + V' \times \sin \alpha$.

--> grâce aux précédentes formules, nous obtenons le vecteur position \vec{OA} avec :

$$x(t) = V' \times t \times \cos \alpha.$$

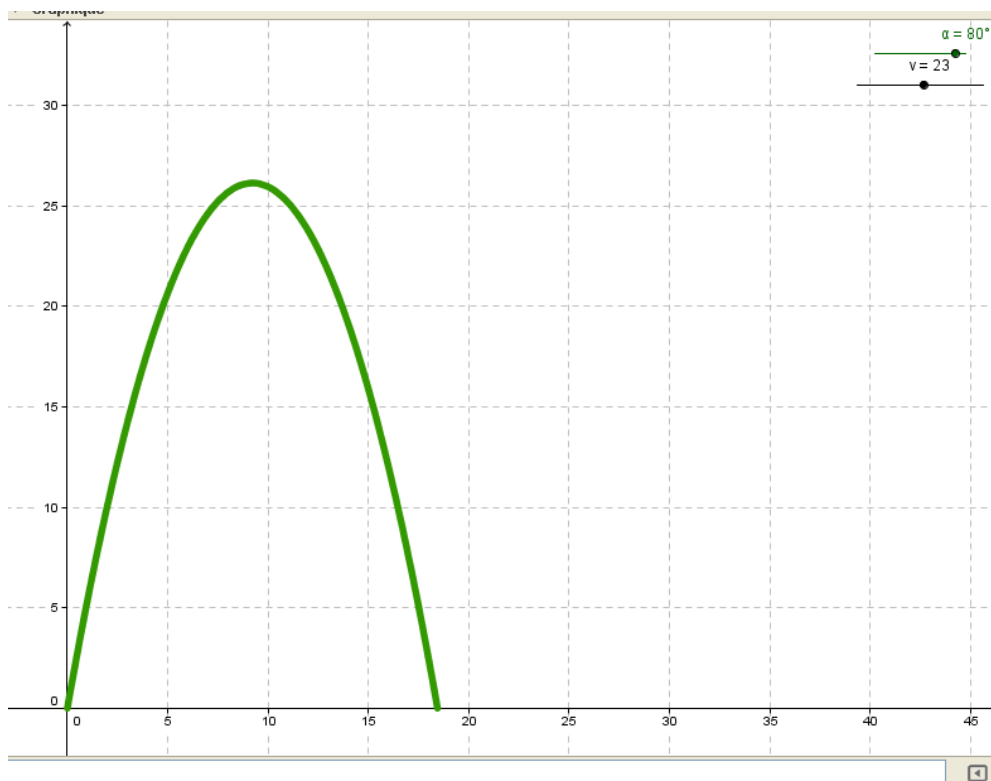
$$y(t) = \frac{-gt^2}{2} + V' \times t \times \sin \alpha.$$

--> nous obtenons donc $t = \frac{x}{V' \times \cos \alpha}$

--> l'équation de la trajectoire est donc :

$$g(x) = \frac{-g \times x^2}{2V'^2 \times \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha$$

Grâce à cette équation, nous pourrions modéliser une courbe en modifiant la vitesse initiale de la chandelle et son angle d'inclinaison. Nous savons que la véritable vitesse initiale est de 23 m/s et que l'angle d'inclinaison est de 80° , comme dans cet aperçu de la modélisation, mais il est intéressant de voir quelles modifications sur la trajectoire cela entraînerait.



C. L'émission de lumière

1. Généralités

Ce qui rend les feux d'artifice aussi grandioses sont leurs effets de couleur et de lumière. En effet, ils émettent de la lumière selon trois phénomènes : l'incandescence, l'émission atomique et l'émission moléculaire.

Le premier phénomène est l'incandescence.

Il s'agit du rayonnement de tout corps qui est chauffé. L'intensité de la lumière émise est proportionnelle à la puissance de la température. Une faible augmentation de température correspond donc à une augmentation considérable de l'émission lumineuse. Lorsque les particules d'oxyde métallique, formées lors de l'oxydation du combustible, sont portées à plus de 3 000 °C, l'incandescence est d'un blanc éblouissant. Si on veut voir des gerbes de longues étincelles plutôt que des éclairs, il faut prendre de plus grosses particules métalliques. Elles resteront chaudes plus longtemps que les petites particules et leur combustion se poursuivra dans l'oxygène de l'air.

Un autre phénomène est l'émission atomique:

La couleur provient des atomes ou des molécules issus des flammes lors de la combustion. L'émission atomique résulte d'une excitation des électrons de l'atome par une source extérieure d'énergie (par exemple, la chaleur dégagée par la combustion). Ceci leur permet de passer d'un niveau d'énergie fondamental à un état d'énergie supérieur, et ce, d'un seul bond. Au cours de leur retour vers l'état fondamental, les électrons libèrent, sous forme de photons, l'énergie qu'ils avaient absorbée. Selon la nature des atomes du gaz et la quantité d'énergie retournée par les électrons, les photons auront différentes longueurs d'ondes, donc différentes couleurs émises par les rayons lumineux.

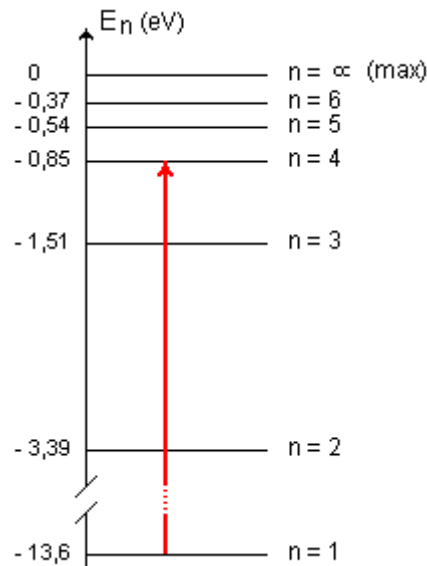


Diagramme d'énergie

Enfin le dernier des trois phénomènes est l'émission moléculaire.

L'émission moléculaire est une action semblable à l'émission atomique. Elle résulte d'un changement d'état d'énergie des atomes au sein d'une molécule. Le phénomène se produit lorsque les molécules sont vaporisées dans une flamme à une température suffisante pour communiquer l'énergie assurant la transition. Cependant, il faut faire attention, car les flammes trop chaudes décomposent les molécules qui ne pourront plus émettre aucune lumière.

2. Mise en relation avec la chandelle

Nous avons réalisé une expérience visant à expérimenter les effets de différentes poudres utilisées dans les feux d'artifice sur la flamme d'un bec bunsen.

Nous avons donc placé un bec bunsen sous une hotte et saupoudré sur la flamme alternativement du calcium, du sulfate d'aluminium et du chlorure de baryum. Ces trois expériences ont été filmées, les vidéos seront montrées le jour de l'oral. Nous verrons ici trois photos de ces expériences.

Première expérience : avec du calcium



On s'aperçoit ici que le calcium donne une flamme de couleur orange. L'orange est obtenu par émission moléculaire du calcium.

Seconde expérience : avec du sulfate d'aluminium



On voit que le sulfate d'aluminium donne des étincelles. Les étincelles sont obtenues par incandescence du sulfate d'aluminium.

Troisième expérience : avec du chlorure de baryum



On voit que le chlorure de baryum donne du vert. Le vert est obtenu par émission moléculaire du chlorure de baryum. Pour notre chandelle, il faut donc ajouter à la poudre noire du chlorure de baryum pour qu'elle soit de couleur verte.

Conclusion

Les recherches que nous avons effectuées nous ont permis de répondre à notre problématique : « Qu'est ce qui permet d'envoyer une chandelle verte à 30 mètres de hauteur ? » Les différents phénomènes scientifiques qui interviennent donc pour propulser cette chandelle à 30 mètres de hauteur et émettre une couleur verte sont la combustion, l'oxydoréduction, la propulsion par réaction et l'émission de lumière. Cependant, il ne faut pas oublier que tout le monde ne peut pas tirer des chandelles et des feux d'artifice sans un minimum de qualifications, car cela peut être très dangereux si on ne respecte pas les mesures de sécurité, qui sont très nombreuses. De plus, les différents projectiles ne réagissent pas tous de la même façon, ce qui nécessite une bonne maîtrise des connaissances nécessaires.

Nous avons vu que les feux d'artifice ont évolués depuis leur création, en terme de couleurs émises et de hauteurs atteintes. On peut alors se demander si dans quelques années, les feux d'artifice évolueront encore, si ils atteindront des hauteurs encore plus élevées et si de nouvelles couleurs émises apparaîtront.

Bibliographie :

<http://www.web-libre.org/feu-d-artifice,7330.html>

<http://www.artificiers.com/feux-artifice.html>

<http://feu-artifice-automatique.fr/vousetnous/histoiredufeudartifice/index.php>

<http://soniag.chez.com/invention/feu.html>

<http://feux-artifices-tpe.e-monsite.com/pages/les-effets-engendres-par-les-feux-d-artifices/le-principe-d-oxydo-reduction.html>

<http://tpeartifice.wordpress.com/ii-propulsion/modelisation-1/>

<http://www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/feux-d-artifice.html>

<http://www.edip.info/Cours/terminales/niveaux%20energie%20cours.pdf>

http://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/spectro_de_latome.pdf

<http://guy.chaumeton.pagesperso-orange.fr/ts15phc.htm>

<http://tpepyrotechnie.e-monsite.com/pages/ii-la-propulsion.html>

« Sciences et vie junior », hors série n°60, 04/2005, pp 108-113

Documents fournis par l'artificier

Théma : encyclopédie Larousse dans techno p 400

Physique chimie 1^{ère}S, collection espace, édition Bordas, pp 351-352