

## **SPECTROSCOPIE DE FLAMMES COLOREES**



**Etudiants :**

**ALDANDACHI Nizar  
BOUATLAOUI Mazine  
GANDOSSE Camille  
GUIRANDE Léa**

**LE CALVEZ Jeanne  
NAJI Salim  
SAFRIQUI Karim**

**Enseignant-responsable du projet :**

**David HONORE**



Date de remise du rapport : **15/06/2015**

Référence du projet : **STPI/P6/2015 – 020**

Intitulé du projet : **Spectroscopie de flammes colorées**

Type de projet : **Bibliographie - expérimental**

Objectifs du projet :

- **Mettre en place un montage expérimental nous permettant de colorer une flamme d'un brûleur à l'aide de poudres.**
- **Obtenir les spectres des flammes colorées.**
- **Analyser et comparer les spectres expérimentaux aux spectres théoriques.**

Mots-clefs du projet : **Chimiluminescence, Spectroscopie, Combustion**

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction .....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail .....	6
3. les flammes colorées .....	7
3.1. Les espèces utilisées.....	7
3.2. La combustion.....	7
3.3. Modèle de Bohr et émission d'un photon.....	8
4. Montage optique .....	9
4.1. Le spectromètre, la fibre optique et le logiciel.....	9
4.2. Description du montage.....	10
4.3. Protocoles expérimentaux.....	11
4.3.1. Premiers essais.....	11
4.3.2. Protocole pics en bois.....	11
4.3.3. Montage et protocole finaux.....	12
4.3.4. Protocole final.....	13
4.3.5. Problèmes rencontrés.....	14
5. Spectres et analyses.....	14
5.1. Nitrate de lithium.....	15
5.2. Nitrate de potassium.....	16
5.3. Nitrate de sodium.....	17
5.4. Zinc.....	18
5.5. Nitrate de strontium.....	19
5.6. Nitrate de baryum.....	20
5.7. Nitrate de cadmium.....	21
5.8. Chlorure de cuivre I.....	22
6. Conclusions et perspectives.....	24
7. Bibliographie .....	25
8. Annexes.....	27
8.1. Fiches toxicologiques des poudres utilisées.....	27

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : PLANNING DE GANT.....	6
FIGURE 2 : MODELE DE L'ATOME DE BOHR.....	8
FIGURE 3 : EMISSION D'UN PHOTON.....	8
FIGURE 4 : SPECTRE DU NITRATE DE POTASSIUM .....	9
FIGURE 5 : MONTAGE OPTIQUE AVEC LES DIMENSIONS (VUE DU DESSUS).....	10
FIGURE 6 : LENTILLE SUR SON SUPPORT.....	10
FIGURE 7 : TEST AVEC LA GRILLE EPAISSE .....	11
FIGURE 8 : TEST BRULEUR EN POSITION HORIZONTALE.....	11
FIGURE 9 : TEST DES PICS EN BOIS AVEC UNE BOUGIE .....	11
FIGURE 10 : MONTAGE FINAL .....	12
FIGURE 11 : DIMENSIONS DU MONTAGE DE CREATION DES FLAMMES LUMINEUSES.....	12
FIGURE 12 : FLAMME DU BRULEUR .....	13
FIGURE 13 : APPORT DE LA POUDRE .....	13
FIGURE 14 : POSITION VERTICALE DU BRULEUR.....	14
FIGURE 15 : SPECTRE DU VISIBLE .....	15
FIGURE 16 : SPECTRE DU NITRATE DE LITHIUM (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE).....	15
FIGURE 17 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE NITRATE DE LITHIUM.....	15
FIGURE 18 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU LITHIUM .....	15
FIGURE 19 : SPECTRE DU NITRATE DE POTASSIUM (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE) .....	16
FIGURE 20 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE NITRATE DE POTASSIUM .....	16
FIGURE 21 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU POTASSIUM .....	16
FIGURE 22 : SPECTRE DU NITRATE DE SODIUM (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE).....	17
FIGURE 23 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE NITRATE DE SODIUM.....	17
FIGURE 24 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU SODIUM.....	17
FIGURE 25 : SPECTRE DU ZINC (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE).....	18
FIGURE 26 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE ZINC.....	18
FIGURE 27 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU ZINC.....	18
FIGURE 28 : SPECTRE DU NITRATE DE STRONTIUM (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE).....	19
FIGURE 29 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE NITRATE DE STRONTIUM .....	19
FIGURE 30 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU STRONTIUM.....	19
FIGURE 31 : SPECTRE DU NITRATE DE BARYUM (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE) .....	20
FIGURE 32 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE NITRATE DE BARYUM .....	20
FIGURE 33 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU BARYUM .....	20
FIGURE 34 : SPECTRE DU NITRATE DE CADMIUM (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE) .....	21
FIGURE 35 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE NITRATE DE CADMIUM .....	21
FIGURE 36 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU CADMIUM .....	21
FIGURE 37 : SPECTRE DU CHLORURE DE CUIVRE I (INTENSITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE) .....	22
FIGURE 38 : PHOTOGRAPHIE DE LA FLAMME EN PRESENCE DE CHLORURE DE CUIVRE I.....	22
FIGURE 39 : SPECTRE D'ABSORPTION SUIVI DU SPECTRE D'EMISSION DU CUIVRE I .....	23



## 1. INTRODUCTION

Le test de flamme est utilisé pour mettre en évidence ou détecter certains ions métalliques. En effet, selon leur spectre d'émission, certains cations produisent une couleur qui leur est propre au contact de la chaleur. Cette expérience a l'avantage d'être facile et rapide à réaliser et nécessite du matériel assez courant.

Cependant, il ne s'agit pas d'un test très précis car à l'œil nu nous ne pouvons pas comparer des flammes émettant des longueurs d'onde proches ou encore mesurer l'intensité de la flamme propre à chaque longueur d'onde. Pour pallier à ces problèmes, l'utilisation d'un spectromètre est une solution efficace.

Notre projet de P6 consistait à étudier des spectres de flammes colorées obtenus avec un spectromètre. Cependant, les expériences seules ne suffisent pas. Dans un premier temps, nous avons dû mettre en place un dispositif optique et réaliser un protocole adapté à nos objectifs. Ensuite, nous avons pu enregistrer les spectres de flammes afin de les analyser. Finalement, nos objectifs étaient de concevoir et mettre en place un montage totalement reproductible par des tierces personnes afin d'analyser les spectres de flamme pour huit poudres métalliques différentes connues.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons créé un planning de Gant présenté dans la figure 1, pour mettre en place le projet plus facilement et ensuite se répartir les différentes tâches en fonction de leur avancement.

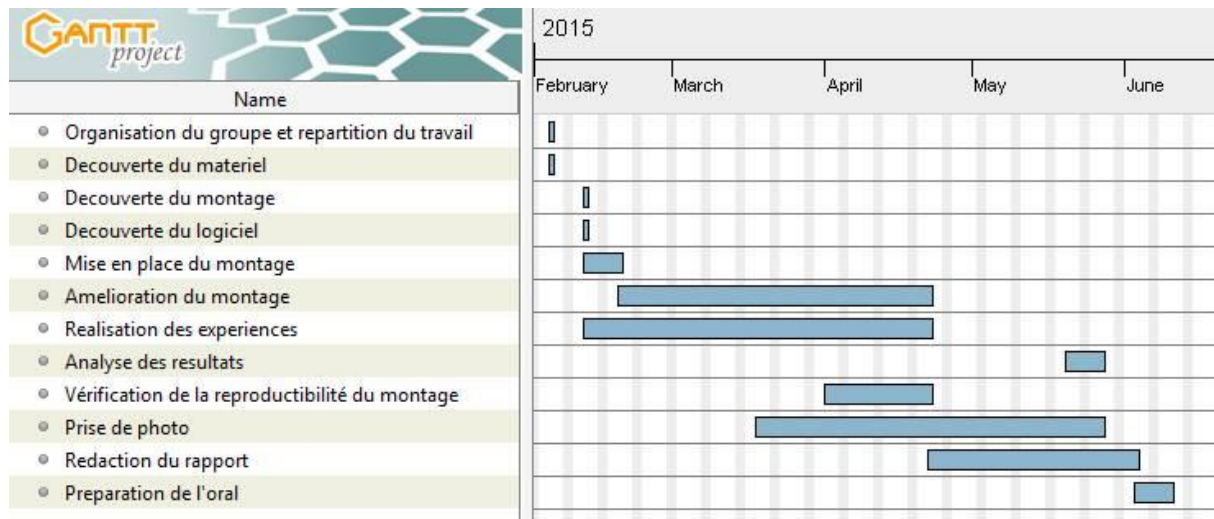


Figure 1 : Planning de Gant

Le projet a été découpé en trois parties. La première partie est le montage optique, pris en charge par Karim et Salim. La deuxième partie concerne la maîtrise du logiciel OceanView, gérée par Nizar et Mazine. Ils ont découvert par eux-mêmes comment créer un spectre, l'enregistrer, le transformer pour ensuite l'analyser. La troisième partie dont Camille, Léa et Jeanne se sont occupées prend en compte le montage pour la création des flammes colorées ainsi que l'expérience.



Cependant, cette organisation a quelque peu changé au fil des séances, car nous avons eu besoin des idées de tout le monde pour réaliser les montages optique et expérimental. De plus, la création de flammes colorées nécessitait la présence de tout le monde, non seulement pour manipuler, mais aussi pour prendre des photos et en comprendre le fonctionnement.

En ce qui concerne la rédaction du rapport, chaque membre de l'équipe a rédigé la partie sur laquelle il avait travaillé durant le projet, et nous nous sommes répartis les derniers aspects du rapport à rédiger. Nous avons également analysé un ou deux spectres chacun et rédigé la partie correspondante.

### 3. LES FLAMMES COLOREES

#### 3.1. Les espèces utilisées

Pour réaliser les flammes colorées, nous avons utilisé huit poudres différentes : du nitrate de lithium, du nitrate de cadmium, du nitrate de strontium, du nitrate de baryum, du nitrate de sodium, du nitrate de potassium, du zinc et du chlorure de cuivre. Ces différentes poudres, en se consumant, ont donné des couleurs différentes en grande partie cohérentes avec les résultats attendus.

Nous avons réalisé des fiches sur chacune de ces poudres à l'aide des références [7], [8], [10], [11], [12], [15], et [16]. Ces fiches se trouvent en annexe.

#### 3.2. La combustion

La combustion est une réaction exothermique d'oxydoréduction, qui se traduit par une flamme ou par une explosion. Il s'agit d'une réaction complexe entre deux éléments : un combustible (réducteur) et un comburant (oxydant). Le combustible est une matière capable de brûler. Le comburant entretient la combustion, c'est souvent l'oxygène de l'air. Enfin, pour déclencher cette réaction, une source d'énergie est nécessaire.

Dans une combustion, la flamme est la partie du milieu gazeux où se produit la transformation chimique de gaz combustible et de gaz comburant en gaz brûlés. La flamme prend une couleur différente selon la quantité d'oxygène disponible. En effet, si la combustion du butane est "complète", la flamme sera bleue car le dioxygène est en quantité abondante. Ceci est notre cas puisque l'expérience a lieu dans un grand espace par rapport à la taille de la flamme. A contrario, si le dioxygène est en quantité limitée alors la flamme sera jaune et on parlera de combustion "incomplète".

Les deux principaux types de flamme sont la flamme de diffusion et la flamme de prémélange.

Tout d'abord, pour une flamme de diffusion, les réactifs sont séparés avant d'être réunis par diffusion. De ce fait, il va apparaître une zone où seront présentes les conditions de concentration requises pour l'inflammation. Puis, si la température d'inflammation est atteinte dans une partie de cette zone, une flamme va apparaître. Ce type de flamme concerne la combustion des solides, des liquides et des gaz non mélangés à l'air. Une combustion incomplète peut induire la production de nombreux gaz, tel que le monoxyde de carbone et des gaz imbrûlés. Ces gaz sont à l'origine de la substance d'aspect noirâtre présente dans la fumée : la suie.

La flamme de prémélange, comme son nom l'indique, est obtenue lorsque le combustible et le comburant sont mélangés avant de réagir. C'est le cas du brûleur que nous utilisons, puisqu'il possède une entrée d'air permettant aux gaz de se mélanger avant de



sortir. La flamme apparaît ainsi immobile, alors que du mélange combustible est consommé. Cela signifie que le front de flamme se déplace à la même vitesse (mais dans le sens contraire) que l'écoulement du prémélange. Ce type de flamme a l'avantage, quand il est bien réglé, de produire peu de particules imbrûlées.

D'une manière générale, l'écriture des équations de combustion peut laisser penser que la réaction chimique est simple. Cependant, cette simplicité n'est qu'apparente puisque la combustion ne se déroule pas en une seule étape amenant aux produits finaux. Le mécanisme réactionnel est en réalité composé d'une succession de réactions élémentaires avec de nombreux composés intermédiaires. C'est cette multiplicité de réactions qui est à l'origine des différentes couleurs présentes sur une même flamme.

### 3.3. Modèle de Bohr et émission d'un photon

Dans notre expérience, nous plaçons des sels de métaux dans la flamme du brûleur. Celle-ci devient colorée au contact du métal. Le métal absorbe ainsi de l'énergie, pour la restituer sous forme de lumière. Ce phénomène est appelé chimiluminescence. Cette lumière peut être perçue par l'œil si la lumière restituée correspond au domaine du visible. C'est donc le cas de toutes nos poudres. Cependant, la couleur de la flamme ne dépend pas de la couleur de la poudre : le nitrate de strontium se trouve sous forme de poudre blanche, mais donnera une flamme de couleur rouge.

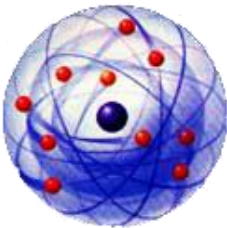


Figure 2 : Modèle de l'atome de Bohr

Pour comprendre le phénomène des flammes colorées, il faut d'abord se reporter au modèle de l'atome de Bohr, proposé par Niels Bohr en 1913. Il constate que les électrons se trouvant sur une même orbite ont tous la même énergie. De plus, cette énergie ne peut prendre que certaines valeurs bien définies et l'électron peut seulement se placer sur les orbites qui lui sont attribuées, c'est-à-dire ayant une certaine quantité d'énergie.

Lorsque le métal est placé dans la flamme, les électrons de l'atome sont excités par la chaleur. Ils peuvent ainsi passer d'une orbite à l'autre, c'est-à-dire du niveau d'énergie fondamental dans lequel ils se trouvent, à un état d'énergie supérieur  $E_p$ , en absorbant de l'énergie thermique. En se désexcitant, les électrons reviennent à un niveau d'énergie inférieur  $E_n$  et libèrent l'énergie lumineuse absorbée en émettant un photon. Ce photon possède une énergie calculable à partir de la relation :  $E = h\nu$  avec  $\nu$  la fréquence de la lumière et  $h$  la constante de Planck. Il a aussi une longueur d'onde spécifique, ce qui donne donc la couleur de la flamme.

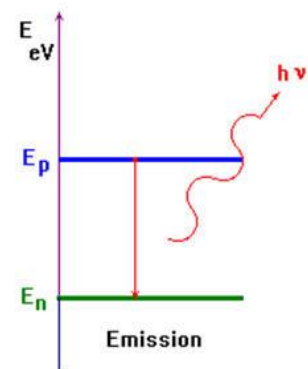


Figure 3 : Emission d'un photon





## 4. MONTAGE OPTIQUE

### 4.1. Le spectromètre, la fibre optique et le logiciel

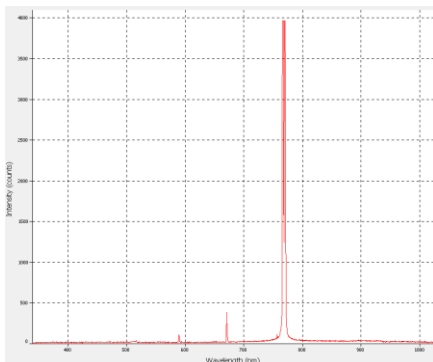
Pour notre projet, nous avons utilisé le spectromètre Red Tide USB 650 d'Oceanoptics avec le logiciel OceanView.

Ce spectromètre est préconfiguré et prêt à l'emploi. La plage de longueur d'onde de cet appareil est de 350 à 1000 nm. Ceci nous permet bien d'analyser les flammes colorées puisque tout le domaine du visible est couvert (380-780 nm).

Le spectromètre est capable de capter le rayonnement d'une source d'émission, de la disperser spectralement, et d'enregistrer la répartition de l'intensité en fonction de la longueur d'onde.

Tout d'abord, une fibre optique guide la lumière jusqu'à l'entrée de l'appareil. Dès l'entrée, un seul petit faisceau de lumière est sélectionné. Puis, un miroir sphérique crée une lumière collimatée. Un système dispersif décompose alors le spectre par diffraction. Finalement, la lumière est envoyée sur un détecteur linéaire CCD composé de pixels. Le rôle de cette barrette est de fournir un signal électrique traduisant l'intensité lumineuse perçue par ces pixels. Après avoir été converti en signal numérique, le signal analogique est transmis à l'ordinateur via le câble USB. Enfin, le logiciel affiche la courbe d'intensité spectrale.

La figure 4 présente un exemple de spectre obtenu sur la fenêtre du logiciel.



**Figure 4 : Spectre du nitrate de potassium**

Les valeurs en ordonnée représentent l'intensité du signal et celles en abscisse sa longueur d'onde en nanomètre. De plus le logiciel est capable d'enregistrer toutes les valeurs dans un fichier que l'on peut par la suite ouvrir avec un tableur de type Excel.

En outre, nous avons remarqué que l'intensité des signaux était différente en fonction des poudres utilisées, par exemple pour certains signaux, le pic d'intensité recherché n'était pas visible, ou bien au contraire pour d'autres, le pic avait une intensité trop grande. Il est alors possible de régler ce problème en modifiant le temps d'intégration du signal. En effet, il est réglé par défaut à 100 ms mais nous avons dû le régler à 800 ms voir 1 s pour obtenir des spectres avec des intensités plus grandes.



## 4.2. Description du montage

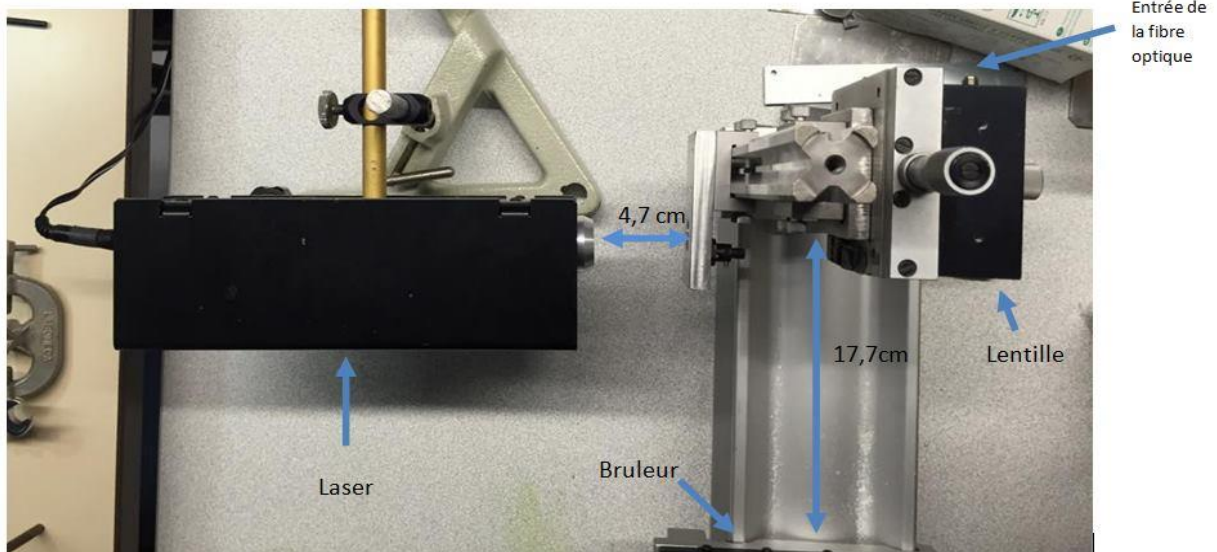


Figure 5 : Montage optique avec les dimensions (vue du dessus)

Le montage optique en lui-même (figure 5) est constitué d'une lentille, d'un laser vert et d'un support de collimation du laser, fixé sur la même tige que la lentille.

Afin d'obtenir des résultats expérimentaux les plus précis possibles, il a été utile d'introduire une lentille convergente dans notre montage. L'usage de celle-ci, reliée à une fibre optique Oceanoptics nous a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants. Ainsi, l'usage de la lentille convergente permet de focaliser la partie recherchée de l'émission de la flamme sur l'entrée de la fibre optique.

Parmi les différentes phases de la réalisation du montage figure la fixation de la lentille. La lentille a été introduite dans le montage en étant fixée sur un support vertical permettant de faire varier la hauteur de celle-ci. Malheureusement les essais pour obtenir un mouvement latéral n'ont pas abouti.

L'une des difficultés rencontrées était de trouver la bonne distance entre le brûleur et la lentille. Pour surmonter ce problème, nous avons utilisé un laser vert que nous avons relié à la fibre optique, elle-même reliée à la lentille. Ceci nous a permis d'évaluer la distance « flamme-lentille » - cette distance s'élevant à 17,7cm - et ensuite d'avoir le centre de la flamme dans le champ de collection de notre lentille pour optimiser nos résultats.

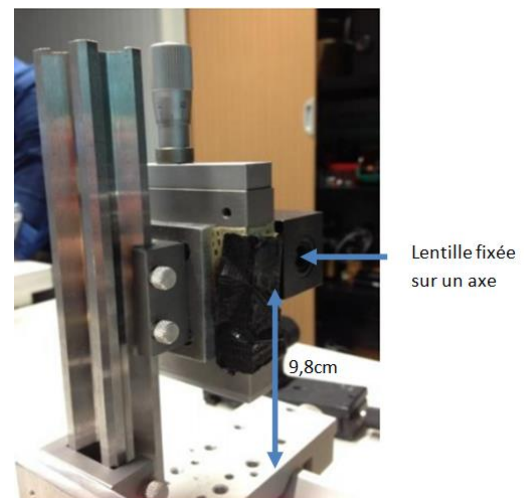


Figure 6 : Lentille sur son support

Une autre difficulté a été de réaliser le montage avec les instruments mis à notre disposition dans l'atelier. En effet, certaines idées nécessitaient des instruments qui n'étaient pas forcément disponibles sur le moment ou plus difficiles à trouver. Il a donc fallu s'adapter, changer de méthode ou de matériel plusieurs fois et nous avons finalement réussi à surmonter ces difficultés.



### 4.3. Protocoles expérimentaux

Plusieurs protocoles ont été expérimentés pour la création des flammes colorées, afin de trouver celui qui convenait le mieux.

#### 4.3.1. Premiers essais

Nous avons essayé de produire une flamme colorée avant même d'avoir réalisé notre montage final, afin de vérifier que le brûleur fonctionnait bien et que les poudres allaient donner une couleur particulière.

Pour le premier essai, nous avons déposé de la poudre sur une petite grille que nous avons elle-même placée sur une grille plus grosse et plus épaisse. La grille épaisse s'est mise à chauffer au contact de la flamme, et nous n'avons pas obtenu de flamme colorée par la poudre (figure 7). Nous avons donc décidé de ne pas utiliser de grille épaisse et de déposer la poudre directement sur la grille la plus fine (figure 8). Cela s'est révélé fructueux. Bien que la petite grille brûle également au contact de la flamme, cette dernière a d'abord le temps d'atteindre la poudre et de se colorer avant que la petite grille ne brûle.



Figure 7 : Test avec la grille épaisse



Figure 8 : Test brûleur en position horizontale

#### 4.3.2. Protocole pics en bois

- Réaliser des solutions de sels de métaux, en mélangeant quelques milligrammes de ces sels avec de l'eau dans un tube à essai.
- Imbiber de solution un pic à brochette en bois.
- Faire passer le pic en bois dans la flamme du brûleur.

Le problème que nous avons eu pendant cette séance était que le brûleur ne fonctionnait plus. Nous avons donc dû utiliser des bougies trouvées dans les placards de la salle. La flamme était beaucoup plus petite que celle du brûleur et plus difficile à contrôler.

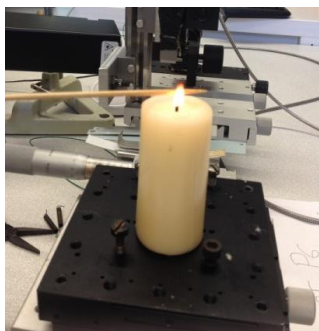
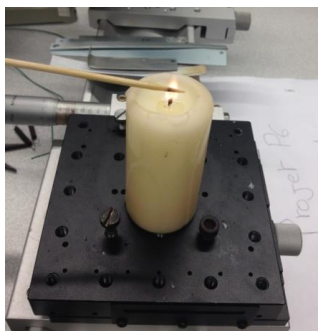


Figure 9 : Test des pics en bois avec une bougie



**Résultats** : La flamme de la bougie s'est légèrement colorée mais cela n'a pas duré. De plus, le bois s'est mis à brûler rapidement, il n'a donc pas été possible de le laisser longtemps dans la flamme. Nous n'avons pas obtenu de spectre exploitable car la fumée dégagée par le bois empêchait la lentille de capter la longueur d'onde caractéristique du produit. De plus, la flamme de la bougie dégageait une grande quantité de fumée, nous n'avons pas pu continuer cette expérience très longtemps.

Nous avons donc abandonné le protocole avec les pics en bois, même avec le brûleur, faute de spectres exploitables. Nous nous sommes donc attelés à terminer le montage le plus rapidement possible, en utilisant une petite grille de fer pour déposer la poudre dessus.

### 4.3.3. Montage et protocole finaux

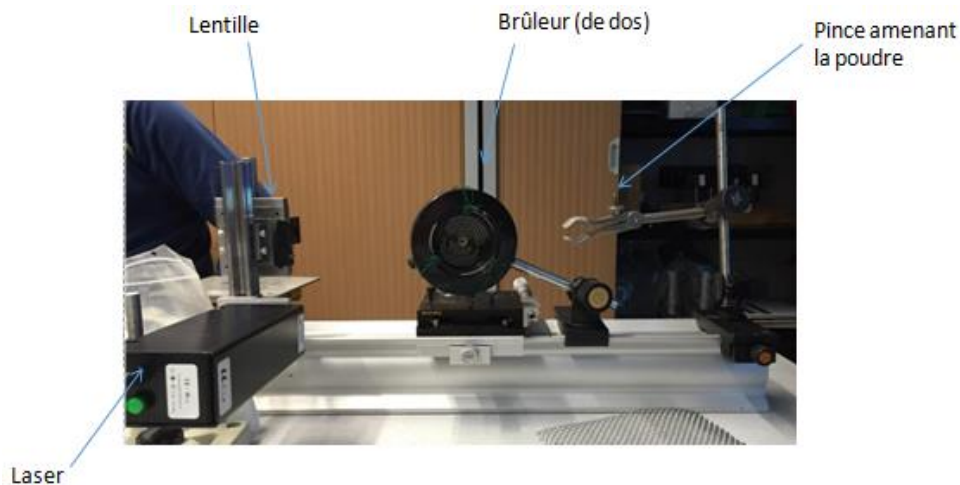


Figure 10 : Montage final

Le montage final utilisé pour la création de flammes colorées comprend donc la partie optique décrite au début du rapport et la partie permettant la formation de flammes colorées. Cette dernière se compose d'un brûleur produisant une grande flamme bleue au départ (cf. figure 12), d'un mécanisme permettant d'amener la poudre sur la flamme, c'est-à-dire une pince accrochée à un rail coulissant et tenant deux disques en métal qui renferment la petite grille sur laquelle est déposée la poudre.

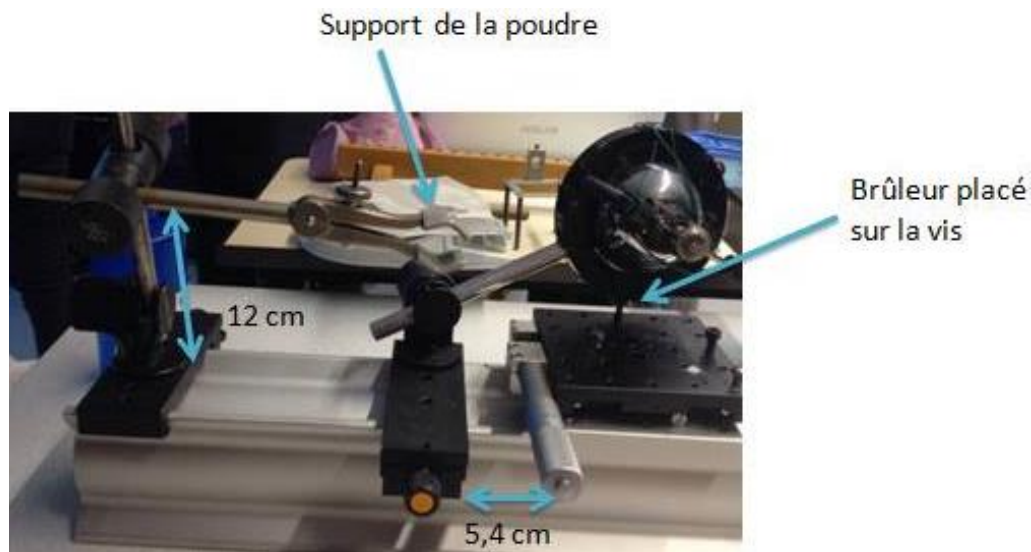


Figure 11 : Dimensions du montage de création des flammes lumineuses



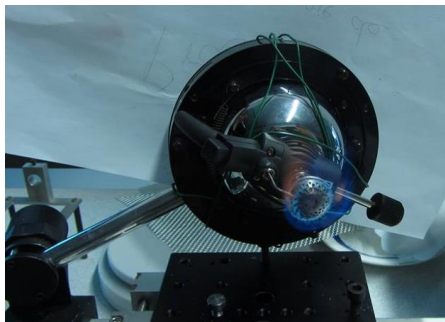
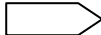


Figure 12 : Flamme du brûleur

#### 4.3.4. Protocole final

- Découper des grilles de fer de la forme :  (en arrondissant légèrement le bout)
- Placer la grille entre deux pastilles solides dans la pince qui est déjà positionnée sur son support lui-même placé sur le rail permettant de l'amener devant le brûleur.
- Déposer la poudre à étudier sur la pointe.
- Allumer le brûleur et observer la flamme
- Avec le logiciel, obtenir le graphique d'émission de la flamme sur lequel apparaissent les longueurs d'onde émises correspondant aux couleurs de la flamme.
- Eteindre le brûleur, changer de grille et de poudre.
- Recommencer pour toutes les poudres.

Nous avons donc établi un montage dans lequel il est possible de se déplacer selon les trois axes d'un repère cartésien:

- Axe z (verticalement) avec le rail sur lequel est positionnée l'entrée de la fibre optique.
- Axe y (le long du rail optique servant de support au montage) avec des supports d'optique qui se déplacent le long du rail.
- Axe x (horizontalement, perpendiculaire au gros rail) avec une plateforme coulissante munie d'une vis micrométrique sous le brûleur.

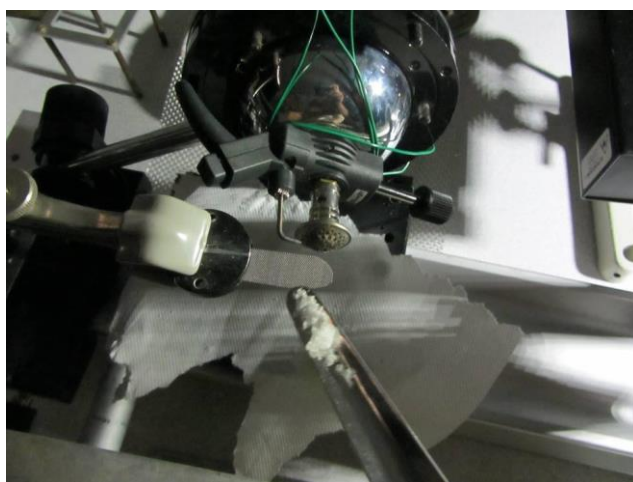


Figure 13 : Apport de la poudre

Ainsi la poudre est amenée en déplaçant son support sur l'axe y, le brûleur est positionné sur les axes x et y et la position de la fibre optique est réglée sur l'axe z.

De plus, avec la réalisation de plusieurs tests, il a été possible de constater que le spectre de la flamme ne dépend pas de la masse de poudre qu'il y a dedans. En effet, la flamme se colore tant qu'il y a de la poudre et le phénomène s'arrête quand toute la poudre a disparu mais les pics obtenus sur le spectre seront toujours les mêmes pour une poudre donnée.



#### 4.3.5. Problèmes rencontrés

Parmi les différentes phases de la réalisation du montage figure la fixation du brûleur. Nous avons rencontré plusieurs difficultés pour trouver une position correcte de celui-ci. Dans une première approche, nous avons pensé à poser le brûleur sur sa base sur l'une des plaques coulissantes et apporter les poudres à l'aide d'une spatule. Cependant, certaines poudres fondaient sous l'effet de la chaleur et bouchaient de ce fait les différents orifices du brûleur. Le nettoyage du brûleur n'étant pas simple, nous avons donc dû mettre en place un nouveau protocole. Il fallait trouver un moyen pour placer le brûleur sans qu'il ne bouge et de façon à pouvoir le replacer correctement si quelqu'un le déplaçait.

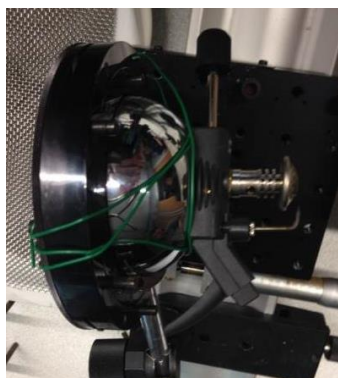


Figure 14 : Position verticale du brûleur

D'abord, nous avons essayé de fixer le brûleur sur le support uniquement à l'aide de ressorts, mais cela ne s'est pas avéré fiable dans la mesure où les ressorts ne tenaient pas. Nous avons finalement choisi de fixer le brûleur sur un support vertical afin que la flamme soit sur le côté et que les poudres ne puissent pas tomber dedans. Nous l'avons accroché avec des fils métalliques recouverts de plastique qui nous ont permis de le stabiliser, ainsi qu'un ressort. Nous avons ensuite fixé le support vertical à un autre support glissant sur le rail, afin de faciliter l'apport des différentes poudres.

Nous avons ensuite réfléchi à un système pour amener la poudre dans la flamme. Pour cela, nous avons dû trouver un grillage avec des mailles assez fines pour que la poudre ne passe pas à travers mais pas trop serrées pour ne pas bloquer la flamme du brûleur et l'empêcher d'atteindre la poudre. Le grillage devait également être assez épais pour avoir une résistance suffisante et rester droit sous le poids (faible tout de même) de la poudre. Ensuite, il a fallu trouver une découpe particulière des grillages qui permettait, d'une part, à la flamme d'atteindre la totalité de la poudre et, d'une autre part, d'éviter la chute de poudre. D'abord nous avons pensé à de petits carrés mais la flamme n'atteignait pas la poudre à chaque manipulation. Par la suite, nous avons pensé à réaliser des pentagones et mettre la poudre tout près de l'un des sommets ce qui a largement amélioré le rendement : la flamme atteignait les poudres et se colorait. Néanmoins, le bout du pentagone brûlait à cause de la longue exposition devant la flamme. Nous avons donc décidé de maintenir la même forme tout en arrondissant le sommet en contact direct avec le feu.

## 5. SPECTRES ET ANALYSES

Les poudres utilisées, hormis le chlorure de cuivre et le zinc, sont des nitrates. Ce terme est employé pour désigner les sels contenant des ions nitrate (nitrate de lithium, etc), ce qui est le cas ici. Le nitrate n'émettant pas dans le visible, on peut directement comparer les spectres expérimentaux avec les spectres théoriques des éléments eux-mêmes (lithium, sodium...). Pour analyser les spectres créés, nous avons utilisé les données trouvées sur Internet ainsi que celles du Handbook of Chemistry and Physics [14]. Nous avons également utilisé un tableur Excel pour obtenir des spectres plus précis et ajustables à partir des valeurs fournies par le logiciel OceanView.



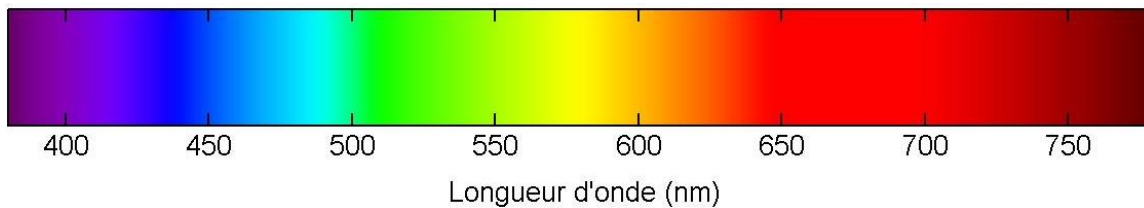


Figure 15 : Spectre du visible

## 5.1. Nitrate de lithium

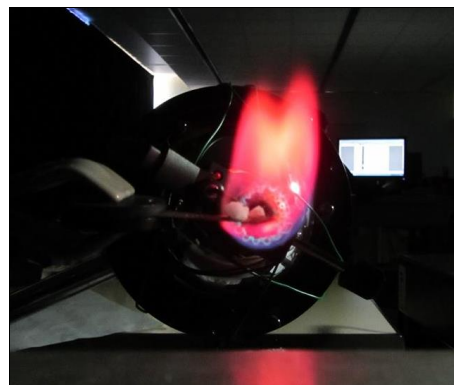
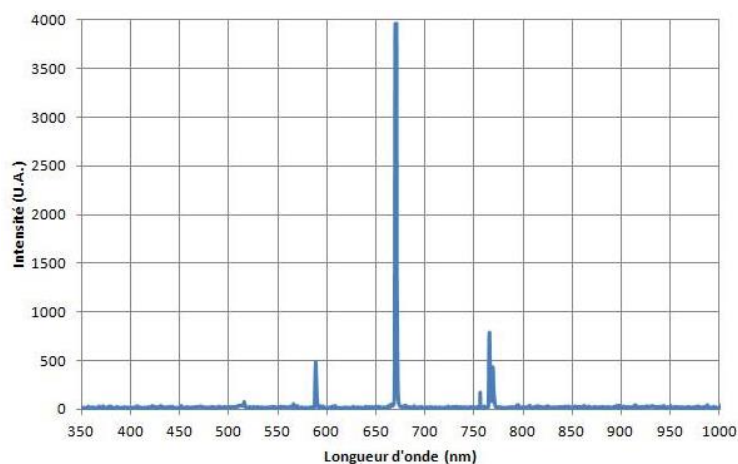


Figure 17 : Photographie de la flamme en présence de nitrate de lithium

Figure 16 : Spectre du nitrate de lithium (intensité en fonction de la longueur d'onde)

La figure 17 représente une photographie de la flamme dopée au nitrate de lithium et la figure 16 le spectre expérimental correspondant.

On observe un pic principal dont la longueur d'onde est de 670,61 nm et dont l'intensité du pic s'élève à 3960 niveaux. Le graphique présente également deux autres pics, d'intensité plus faible, l'un à 589,80 nm avec une intensité à 485 niveaux et l'autre à 766,70 nm avec une intensité de 786 niveaux.

Les spectres d'émission et d'absorption théoriques du lithium sont présents en figure 18 [14].

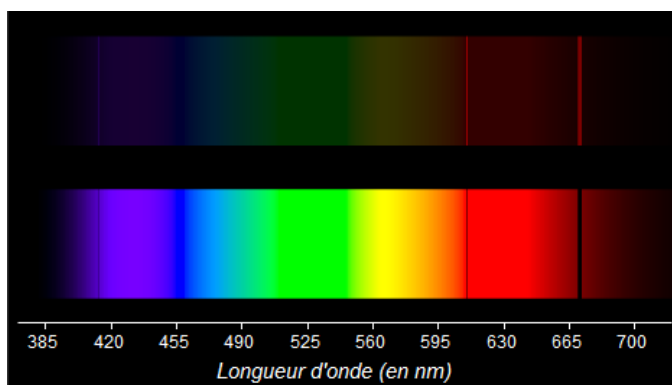


Figure 18 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du lithium

On devrait alors avoir un pic à 672 nm et un autre à 605 nm. Ainsi, en comparant avec les résultats obtenus expérimentalement, le pic principal correspond à une longueur d'onde rouge et le pic d'une longueur d'onde de 580 nm est bien dans le domaine de l'orange. Ces résultats sont alors conformes à ce que l'on attendait. En effet, la flamme obtenue était rose-fuchsia. Les pics extrêmement petits que l'on distingue aux longueurs d'ondes 510,78 et



517,98 nm correspondent à la partie bleue de la flamme qui n'a pas été en contact avec la poudre et qui n'existent pas sur le spectre théorique.

## 5.2. Nitrate de potassium

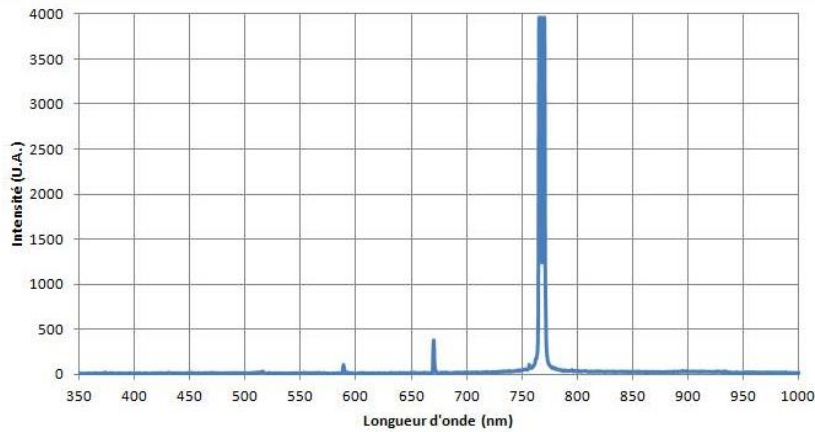


Figure 20 : Photographie de la flamme en présence de nitrate de potassium

Figure 19 : Spectre du nitrate de potassium (intensité en fonction de la longueur d'onde)

La figure 20 représente une photographie de la flamme dopée au nitrate de potassium et la figure 19 le spectre expérimental correspondant.

Le graphique du nitrate de potassium présente un pic principal pour les longueurs d'onde comprises entre 765,75 nm et 770,67 nm ayant une intensité de 3963 niveaux. Il possède également de plus petits pics à 670,27 nm et un autre encore plus petit à 586,34 nm dont leurs intensités respectives s'élèvent à 315 et 14 niveaux.

Les spectres d'émission et d'absorption théoriques du potassium sont représentés dans la figure 21 [14].

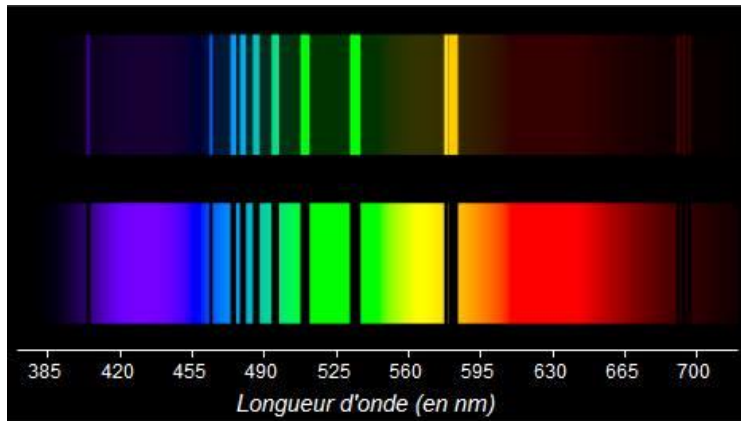


Figure 21 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du potassium

Le grand pic s'agit en fait d'un double pic à 768,38 nm. Ces longueurs d'onde correspondent à la lumière visible et plus précisément à la couleur violette. Ceci est cohérent avec ce qui était attendu et ce qui a été observé lors de la mise en place du protocole avec cette poudre. En effet lors de l'expérience, nous avons pu observer une flamme de couleur mauve pale, lilas. Les longueurs d'ondes des plus petits pics correspondent toujours au domaine du visible mais aux couleurs rouge et jaune ce qui est en accord avec le spectre théorique ci-dessus.





Ce graphique a été obtenu avec une augmentation du temps d'intégration de 1000 ms, afin d'obtenir des pics d'intensité plus grande.

### 5.3. Nitrate de sodium

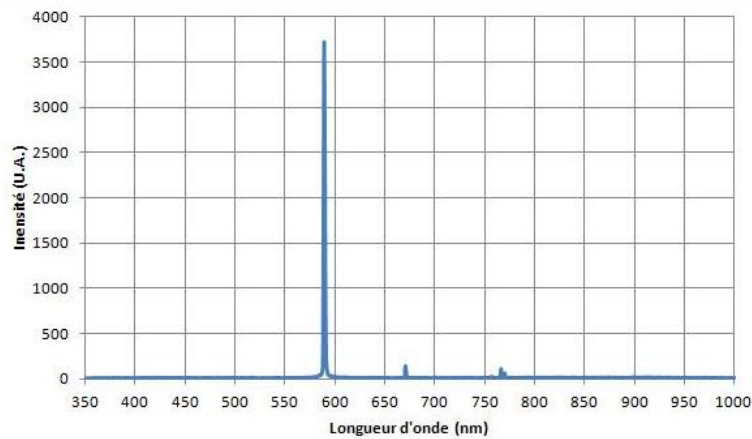


Figure 22 : Spectre du nitrate de sodium (intensité en fonction de la longueur d'onde)



Figure 23 : Photographie de la flamme en présence de nitrate de sodium

La figure 23 représente une photographie de la flamme dopée au nitrate de sodium et la figure 22 le spectre expérimental correspondant.

Le spectre du sodium révèle un pic qui se détache très clairement à 589 nm, d'intensité 3700 niveaux. On peut également voir deux petits pics à 670 nm et 766 nm, d'intensité trente fois plus faible, c'est-à-dire respectivement 145 et 111 niveaux.

La figure 24 présente les spectres d'émission et d'absorption théoriques du sodium [14].

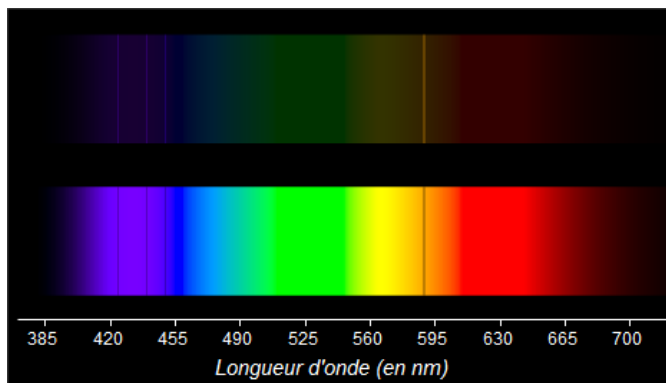


Figure 24 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du sodium

Le spectre est cohérent avec les données caractéristiques du sodium.

Le grand pic est en fait un doublet. En effet, les longueurs d'onde d'émission caractéristiques du sodium sont de 589 nm et 589,59 nm et les intensités respectives sont de 3707 et 3254 niveaux. Ces valeurs concordent avec celles du Handbook [14] car l'intensité est beaucoup plus élevée pour ces longueurs d'onde là. Cela correspond bien au domaine visible du jaune, ce qui explique donc que la flamme soit de couleur jaune.

Les deux autres pics sont dus à des perturbations extérieures car il n'y a pas de pic d'intensité pour ces longueurs d'onde sur le Handbook [14]. Les flammes colorées ne sont pas parfaites et quelques éléments extérieurs peuvent venir perturber le spectre.



Ce graphique a été obtenu avec une augmentation du temps d'intégration de 50 ms, afin d'obtenir des pics d'intensité plus grande.

#### 5.4. Zinc

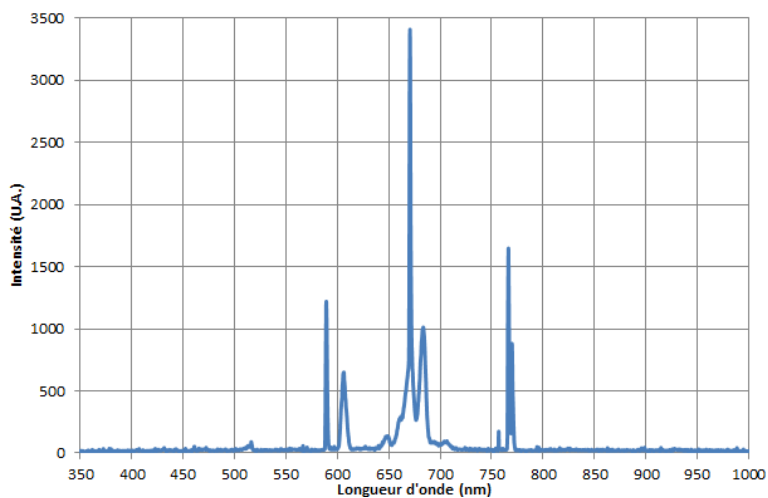


Figure 26 : Photographie de la flamme en présence de zinc

Figure 25 : Spectre du zinc (intensité en fonction de la longueur d'onde)

La figure 26 représente une photographie de la flamme dopée au zinc et la figure 25 le spectre expérimental correspondant.

Dans la théorie, les spectres d'émission et d'absorption du zinc se composeraient des raies présentes sur la figure 27 [14].

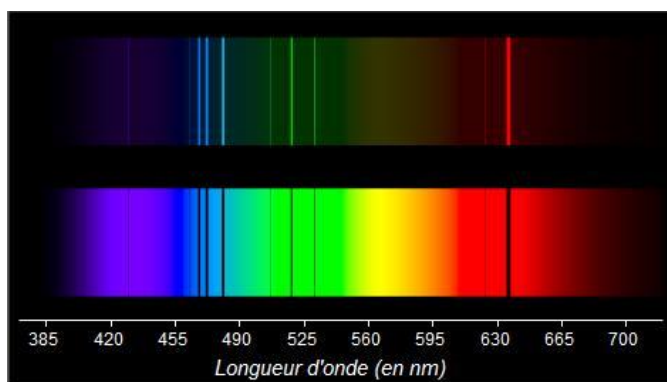


Figure 27 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du zinc

Le graphique du zinc présente cinq pics d'intensités variables.

Le graphique obtenu expérimentalement possède un petit pic à 460,99 nm s'élevant à 54 niveaux et correspondant à la couleur bleu-cyan, un pic à 516,18 nm atteignant une intensité de 91 niveaux correspondant au domaine du vert, un pic d'une longueur d'onde de 606,34 nm s'élevant à 651 niveaux et correspondant à une couleur rouge-orange, ainsi qu'un pic à 589,15 nm culminant à 1215 niveaux ce qui correspond à une couleur jaune. Ces résultats expérimentaux sont en accord avec le spectre d'émission théorique du zinc et avec la couleur de la flamme qui est bleu verdâtre avec une touche rouge.

Néanmoins, les longueurs d'ondes de 670 nm et 766,41 nm ne sont pas présentes dans le spectre théorique bien que l'intensité des pics soit élevée : 3408 et 1648 niveaux. Cela explique la couleur rouge observée dans la flamme. Peut-être que ces deux raies d'émission sont dues à une émission parasite de lumière de la lampe du laboratoire, ou des dépôts de matière sur le brûleur.



## 5.5. Nitrate de strontium

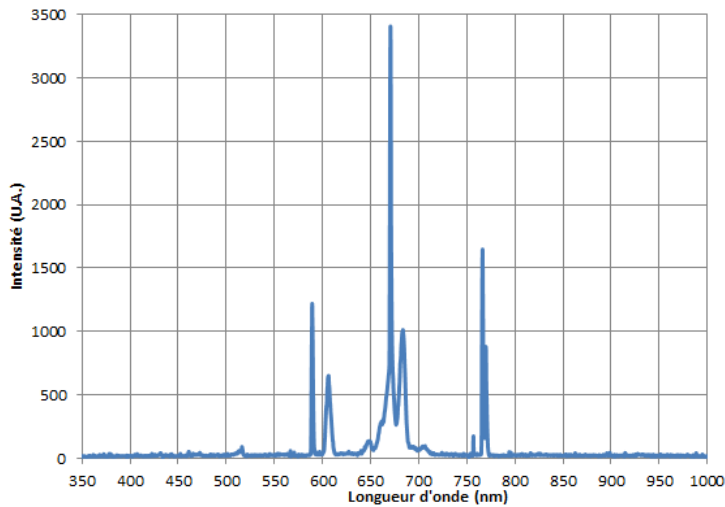


Figure 28 : Spectre du nitrate de strontium (intensité en fonction de la longueur d'onde)

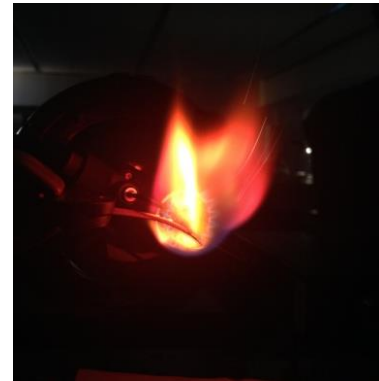


Figure 29 : Photographie de la flamme en présence de nitrate de strontium

La figure 29 représente une photographie de la flamme dopée au nitrate de strontium et la figure 28 le spectre expérimental correspondant.

On observe sur le spectre du strontium un doublet principal de longueur d'onde 670,70 nm et dont l'intensité est maximale à 3408 niveaux. Le spectre présente également deux autres pics à 585 et 765 nm ayant pour intensité moins de la moitié de celle du pic principal, se dressant à droite et à gauche de celui-ci. Leurs intensités respectives sont de 1215 et 1648 niveaux. Enfin, ce spectre admet un pic de faible intensité de 37 niveaux, négligeable devant celle des autres et dont la longueur d'onde est de 499 nm.

Les spectres d'émission et d'absorption théoriques du strontium sont représentés dans la figure 30 [14].

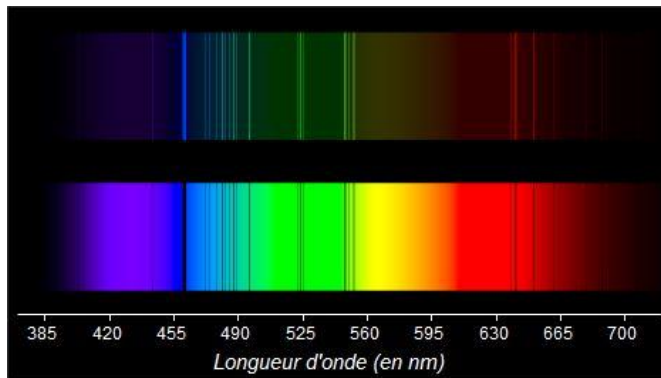


Figure 30 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du strontium

Le premier pic appartient donc au domaine du visible et plus précisément au rouge à 670,70 nm. Les deux doublets émettent dans le domaine visible, respectivement dans le jaune-vert (585 nm) et le rouge (765 nm). Le dernier pic d'intensité plus faible émet quant à lui dans le bleu (499 nm).

D'après le spectre d'émission du strontium de la figure 30, et des valeurs trouvées dans le Handbook [14], on remarque qu'il faudrait obtenir des pics autour des longueurs d'onde suivantes : 461,80 nm, 525,40 nm et 642,30 nm qui représentent respectivement le bleu, le vert et le rouge.



Ainsi le spectre du strontium admet trois pics d'intensité importante et un quatrième dont l'intensité est quasiment négligeable. La totalité de ces pics ont des longueurs d'onde qui avoisinent les valeurs théoriques du spectre d'émission représenté ci-dessus. En effet, le spectre expérimental comporte deux pics dans le rouge, deux autres pics dans le vert, et un autre dans le bleu dont l'intensité est négligeable. De plus, la flamme obtenue lors de l'expérience était principalement rouge.

### 5.6. Nitrate de baryum

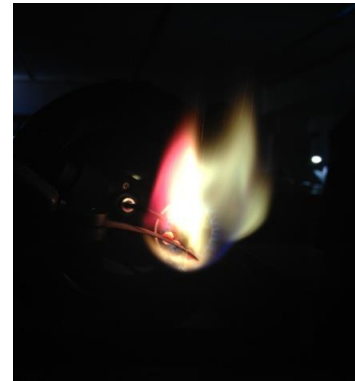
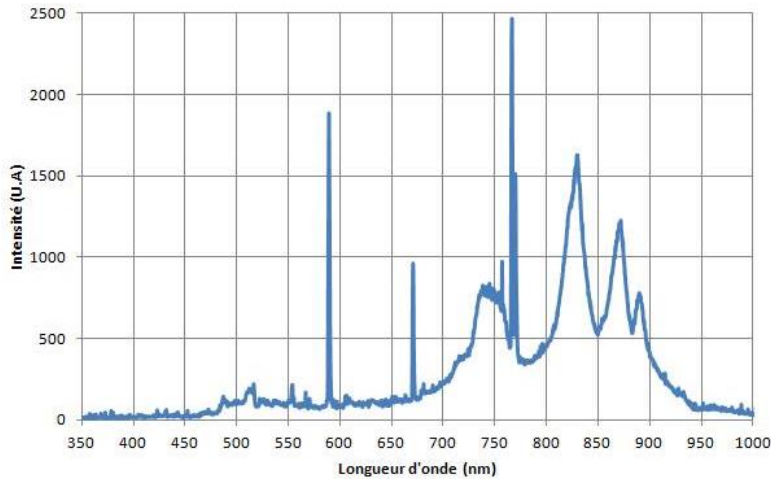


Figure 32 : Photographie de la flamme en présence de nitrate de baryum

Figure 31 : Spectre du nitrate de baryum (intensité en fonction de la longueur d'onde)

La figure 32 représente une photographie de la flamme dopée au nitrate de baryum et la figure 31 le spectre expérimental correspondant.

On observe dans ce graphique, des pics d'intensités différentes dont le plus élevé avec une intensité de 2457 niveaux a une longueur d'onde de 766,41 nm ce qui correspond à la couleur rouge. Le second pic important est présent à 589,15 nm ce qui coïncide avec la couleur jaune. Son intensité un peu plus faible s'élève à 1887 niveaux. Un troisième pic est également présent pour une longueur d'onde de 670,96 nm avec une intensité de 832 niveaux et correspondant à la couleur rouge. Entre 600 et 900 nm on peut observer sur le graphique un rayonnement continu avec des pics à 829,81 nm, 873,31 nm et 889,44 nm (d'intensités respectives 1631, 1117 et 776 niveaux) qui pourraient provenir d'un rayonnement de molécules polyatomiques non identifiées.

Les spectres d'émission et d'absorption théoriques du baryum sont détaillés dans la figure 33 [14].

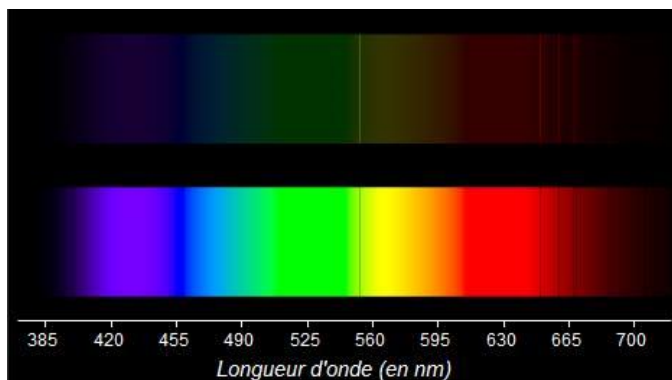


Figure 33 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du baryum



Ces résultats ne sont donc pas très cohérents avec ce que nous attendions mais plus avec les résultats obtenus à la suite de l'expérience. En effet nous nous attendions à voir une flamme verte qui en réalité était plus jaunâtre avec des reflets verts peu perceptibles.

Ceci peut être dû aux conditions expérimentales qui ne sont pas optimales comme la flamme du brûleur par exemple, qui sont des aspects à prendre en compte et qui peuvent être responsables de ces résultats. De plus, le pic à 766,41 nm pourrait peut-être correspondre à du potassium et celui à 589,15 à du sodium. En effet, cela peut être dû aux résidus de poudre sur le brûleur que nous n'avons pas su enlever.

### 5.7. Nitrate de cadmium

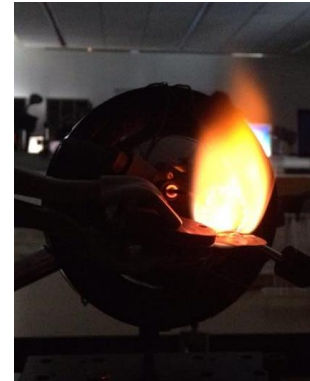
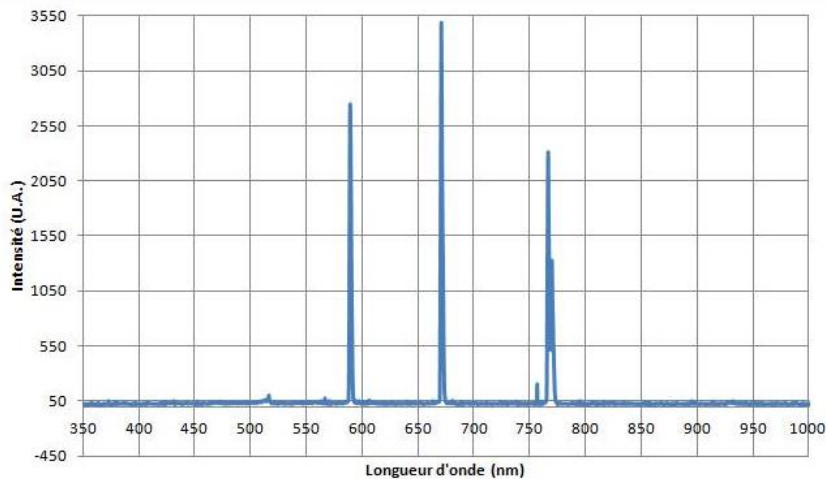


Figure 35 : Photographie de la flamme en présence de nitrate de cadmium

Figure 34 : Spectre du nitrate de cadmium (intensité en fonction de la longueur d'onde)

La figure 35 représente une photographie de la flamme dopée au nitrate de cadmium et la figure 34 le spectre expérimental correspondant.

On observe quatre pics d'intensités différentes : tout d'abord, on a un très petit pic à la longueur d'onde 516,18 nm d'intensité 97 niveaux. Le deuxième pic est présent à 589,15 nm et s'élève à 2743 niveaux. Puis on a le troisième pic qui à 670,96 nm d'intensité 3490 niveaux, et enfin, un dernier pic à 766,74 nm avec une intensité de 2306 niveaux.

Les spectres d'émission et d'absorption théorique du cadmium sont indiqués dans la figure 36 [14].

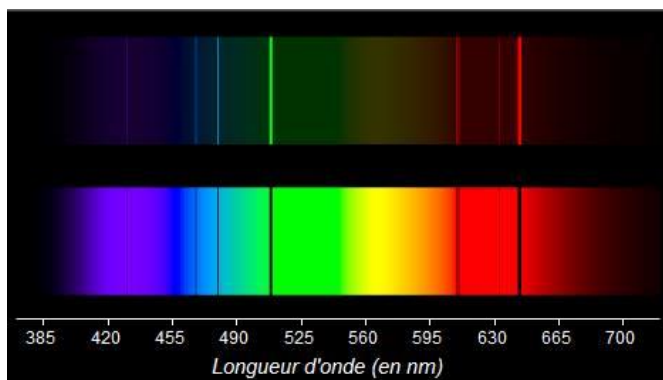


Figure 36 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du cadmium

Si on regarde le spectre d'émission du cadmium de la photo ci-dessus, et les valeurs du spectre d'émission trouvées dans le Handbook [14], on remarque qu'il faut trouver des pics



autour des longueurs d'onde suivantes : 468 nm, 480 nm, 508 nm, 643 nm qui représentent respectivement le bleu-violet, le bleu, le vert et le rouge.

Finalement, la flamme obtenue était orange, en accord avec le résultat attendu, ce qui explique que le pic principal se trouve dans le domaine orange-rouge (à 670,96 nm). Mais comme on a vu dans le cas du nitrate de baryum, on a un pic à 766,74 nm qui pourrait peut-être correspondre à du potassium et celui à 589,15 nm à du sodium. Donc on revient à la même conclusion, cela peut être dû aux résidus de poudre sur le brûleur que nous n'avons pas su enlever.

### 5.8. Chlorure de cuivre I

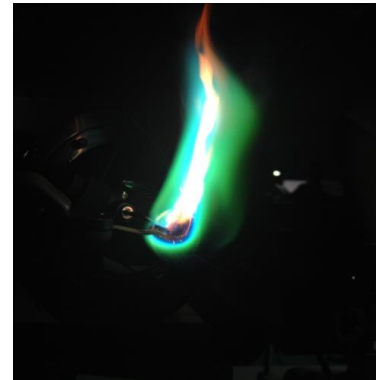
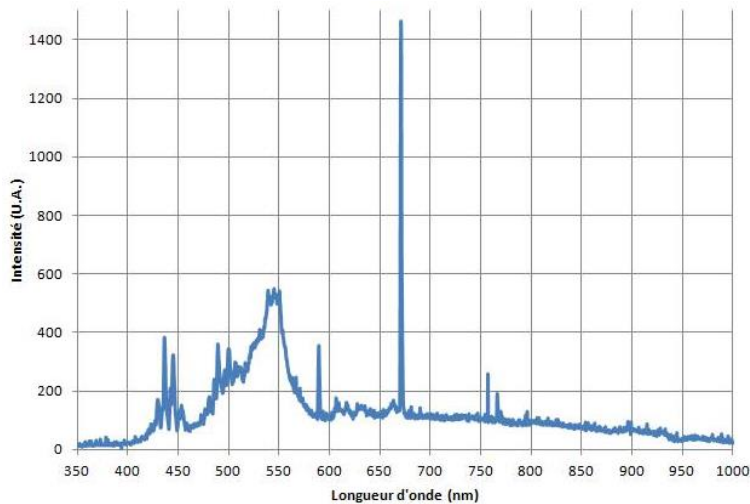


Figure 38 : Photographie de la flamme en présence de chlorure de cuivre I

Figure 37 : Spectre du chlorure de cuivre I (intensité en fonction de la longueur d'onde)

La figure 38 représente une photographie de la flamme dopée au chlorure de cuivre et la figure 37 le spectre expérimental correspondant.

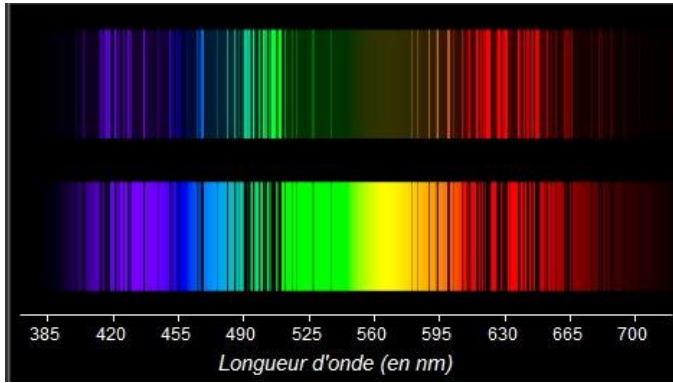
L'allure générale du spectre du chlorure de cuivre est assez difficile à décrire, car on constate la présence de nombreux signaux d'intensité très variable.

Le graphique présente une accumulation de pics de hauteurs différentes entre 500 et 590 nm. Cet ensemble atteint un maximum pour une longueur d'onde de 540 nm, qui atteint 540 niveaux. Cette plage de longueur d'onde correspond à du vert. Plusieurs pics d'intensité moindre sont aussi présents entre 440 et 500 nm. Ils expliquent sûrement la présence de bleu au foyer de la flamme, qui se démarque du vert présent plus en périphérie.

Enfin, un très grand pic fin se démarque du reste du spectre à 665 nm avec une intensité de 1440 niveaux, ce qui correspond à du rouge-magenta.

La figure 39 montre les spectres d'émission et d'absorption théoriques du cuivre I [14].





**Figure 39 : Spectre d'absorption suivi du spectre d'émission du cuivre I**

Le résultat obtenu avec la flamme n'est pas exactement celui attendu, ce que nous confirme le spectre. En effet, le fabricant annonce une flamme bleue alors que lors de nos expériences, le bleu était minoritaire devant le vert. En outre, on constate un filament orange parasite. Ceci pourrait être dû à une combustion incomplète ou à la réaction de la grille métallique. Cependant, ce phénomène n'est pas observé avec les autres poudres.



## 6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet de P6 nous a permis d'acquérir une démarche scientifique précise et d'apprendre à travailler en groupe. En effet, nous avons compris comment travailler plus tard sur un projet avec des personnes que nous ne connaissons pas forcément et qui n'ont pas la même façon de travailler. Cela nous a également donné l'occasion de voir comment créer un projet par nous-mêmes, de A à Z, avec des contraintes imposées.

Cet E.C. nous a aussi permis d'approfondir nos connaissances dans les domaines de la spectroscopie et de la chimiluminescence à travers un travail expérimental et documentaire. En effet, nous avons travaillé sur le montage expérimental, afin d'avoir un montage optimal et reproductible, permettant de brûler la poudre sans qu'elle ne tombe sur le brûleur.

De plus, nous avons dû nous adapter à des objectifs et des moyens imposés. En ce qui concerne la qualité des spectres obtenus, nous avons rencontré certains problèmes, comme pour le spectre du baryum, pour lequel nous n'avons pas réussi à obtenir de pic précis. En effet le problème était dû à une mauvaise combustion de la poudre. Grâce au Handbook of Chemistry and Physics [14] contenant les valeurs numériques des spectres d'émission des poudres étudiées, nous avons pu comparer nos résultats expérimentaux avec les théoriques. Globalement, les résultats obtenus étaient cohérents. Nous avons également appris à manipuler le logiciel OceanView qui est un logiciel facile à utiliser et grâce auquel il est possible de convertir un signal optique en signal numérique.

En matière de perspective pour ce projet, il serait intéressant de perfectionner le montage, notamment le système permettant d'apporter la poudre, c'est-à-dire trouver un moyen plus pratique et sans que la grille ne serve de combustible. En outre, approfondir la théorie et varier les conditions expérimentales permettraient certainement de comprendre les résultats inattendus pour certaines poudres. Par ailleurs, on pourrait étudier de plus près l'application des flammes colorées dans le monde de l'ingénierie. Une des applications possibles est dans la pyrotechnie, c'est-à-dire l'étude des feux d'artifices et des mécanismes par lesquels on peut obtenir des feux colorés visibles dans le ciel.





## 7. BIBLIOGRAPHIE

### Livre :

[1] Charles D.Hodgman, M.S, "Handbook of Chemistry and Physics", 41e édition, 1959.

### Sites internet :

- Sites universitaires

[2] Moodle INSA Rouen - Spectrométrie d'émission de flamme : cours. <https://moodle.insa-rouen.fr/mod/resource/view.php?id=290> (valide à la date du 20/02/2015)

[3] UFR de physique de Grenoble. Utilisation des Spectromètres à CCD : <http://physique-eea.ujf-grenoble.fr/intra/Organisation/CESIRE/OPT/DocsOptique/Notices/SpectroCCD.pdf> (valide à la date du 03/03/2015)

[4] IUT Annecy - Absorption atomique et émission de flamme : <http://www.iut-acy.univ-savoie.fr/fileadmin/DUT/MPH/fichiers/semestre3/techniques-spectroscopiques/Absorption-atomique-Emission-flamme.pdf> (valide à la date du 30/04/2015)

[5] Université du Quebec à Chicoutimi - La chimie des flammes : [http://www.uqac.ca/chimie\\_ens/Cinetique\\_chimique/CHAP\\_7.html](http://www.uqac.ca/chimie_ens/Cinetique_chimique/CHAP_7.html) (valide à la date du 15/04/2015)

- Sites d'entreprise

[6] Ocean Optics - USB-650 Red Tide Spectrometers : <http://oceanoptics.com/product/usb-650-red-tide-spectrometers/> (valide à la date du 20/02/2015)

[7] Pierron – Zinc en poudre pure : [http://www.pierron.fr/pi/produkt\\_detail.a4d?ong=phy&uth=&offrID=189335](http://www.pierron.fr/pi/produkt_detail.a4d?ong=phy&uth=&offrID=189335) (valide à la date du 27/04/2015)

[8] Sigma-aldrich - Cadmium nitrate tetrahydrate : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/642045?lang=fr&region=FR> (valide à la date 28/04/2015)

- Wikis

[9] Science amusante - Définition de la combustion : [http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=Flammes\\_color%C3%A9es](http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=Flammes_color%C3%A9es) (valide à la date du 20/03/2015)

[10] Science amusante – Chlorure de cuivre (II) dihydraté : [http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=Chlorure\\_de\\_cuivre\\_%28II%29\\_dihydrat%C3%A9](http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=Chlorure_de_cuivre_%28II%29_dihydrat%C3%A9) (valide à la date du 29/04/2015)



[11] Wikipédia. Nitrate de sodium : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Nitrate\\_de\\_sodium](http://fr.wikipedia.org/wiki/Nitrate_de_sodium) (valide à la date du 27/04/2015)

[12] Wikipédia. Nitrate potassium : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Nitrate\\_de\\_potassium](http://fr.wikipedia.org/wiki/Nitrate_de_potassium) (valide à la date du 28/04/2015)

- Autres

[13] Larousse Encyclopédie - Définition de la combustion :  
<http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/combustion/35402> (valide à la date du 02/03/2015)

[14] Ostralo – Spectres d'émission et d'absorption :  
[http://www.ostralo.net/3\\_animations/swf/spectres\\_abs\\_em.swf](http://www.ostralo.net/3_animations/swf/spectres_abs_em.swf) (valide à la date du 19/05/2015)

[15] Centers for disease control and prevention - Nitrate de potassium :  
<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrn0184.html> (valide à la date du 30/04/2015)

[16] L'observatoire de Paris – Identification des éléments chimiques :  
<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrn0184.html> (valide à la date du 30/04/2015)

[17] CNED - Source de lumière colorée et molécules organiques colorées :  
<http://www.academie-en-ligne.fr/Ressources/7/SP12/AL7SP12TEPA0013-Sequence-02.pdf>  
(valide à la date du 03/05/2015)



## 8. ANNEXES

### 8.1. Fiches toxicologiques des poudres utilisées

#### Nitrate de Baryum : $Ba(NO_3)_2$

##### GENERAL

Famille : sels de baryum

Couleur : blanc

Utilisation : pyrotechnie

##### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 261,337 g/mol

Température de fusion : 590°C

Température d'ébullition : 1640°C

Solubilité dans l'eau à 20°C : 90.2 g/l



##### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme verte

Danger : toxique et inflammable



#### Nitrate de Cadmium : $Cd(NO_3)_2$

##### GENERAL

Famille : composés inorganiques

Couleur : poudre sous forme de cristaux blancs

Utilisation : coloration de verre et de porcelaine,  
poudre de flash en photographie

##### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 236,43 g/mol

Température de fusion : 350,0 °C

Solubilité dans l'eau à 20 °C : 1090 g/l

Cette molécule est hygroscopique, c'est-à-dire qu'il absorbe toute l'eau qui est présente dans l'air.



##### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme orangée

Danger : cancérigène, toxique et nocif pour  
l'environnement



## Nitrate de Lithium : $\text{LiNO}_3$

### GENERAL

Famille : sels

Couleur : blanc

Utilisation : utilisé comme catalyseur

### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 68.946 g/mol

Température de fusion : 253°C

Température d'ébullition : 873°C

Solubilité dans l'eau à 20°C : soluble dans l'eau, légèrement dans l'alcool



### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme rose fuchsia

Danger : inflammable et comburant



## Zinc : Zn

### GENERAL

Famille : métaux non ferreux

Couleur : bleu-gris

Utilisation : galvanisation (protection du fer)

### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 65,38 g/mol

Température de fusion : 419°C

Température d'ébullition : 906°C

Solubilité dans l'eau à 20°C : insoluble



### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme vert-bleuâtre

Danger : inflammable, dangereux pour  
l'environnement



## Nitrate de Potassium (ou salpêtre) : $KNO_3$

### GENERAL

Famille : sels

Couleur : cristaux incolores ou blancs

Utilisation : propergol de fusée, additif E252 pour conservation de viande (responsable de la coloration rose de certaines charcuteries)

### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 101,10 g/mol

Température de fusion : 333 à 334°C

Température d'ébullition : 400°C

Solubilité dans l'eau à 20°C : 357 g/l



### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme violette

Danger : comburant

## Nitrate de Sodium: $NaNO_3$

### GENERAL

Famille : sels

Couleur : poudre blanche ou cristaux incolores

Utilisation : additif alimentaire et conservateur dans certaines viandes (numéro E251).

Cette molécule est également hygroscopique.

### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 84,9947 g/mol

Température de fusion : 308°C

Température d'ébullition : 380°C

Solubilité dans l'eau à 25°C : 921 g/l



### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme jaune

Danger : nocif et comburant



## Nitrate de Strontium : $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$

### GENERAL

Famille : sels

Couleur : blanc

Utilisation : pyrotechnie

### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 211.63 g/mol

Température de fusion : 570°C

Température d'ébullition : 645°C

Solubilité dans l'eau à 20°C : 700 g/l



### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme rouge

Danger : inflammable et nocif



## Sulfate de Cuivre I : $\text{CuCl}$

### GENERAL

Famille : sels

Couleur : blanc

Utilisation : production de fongicide (destruction de champignons microscopiques)

### PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Masse moléculaire : 99 g/mol

Température de fusion : 423°C

Température d'ébullition : 1366 à 1490°C

Solubilité dans l'eau à 20°C : 0.047 g/l



### EN PRATIQUE

Résultats attendus lors de l'expérience :  
flamme bleue

Danger : nocif et dangereux pour  
l'environnement

