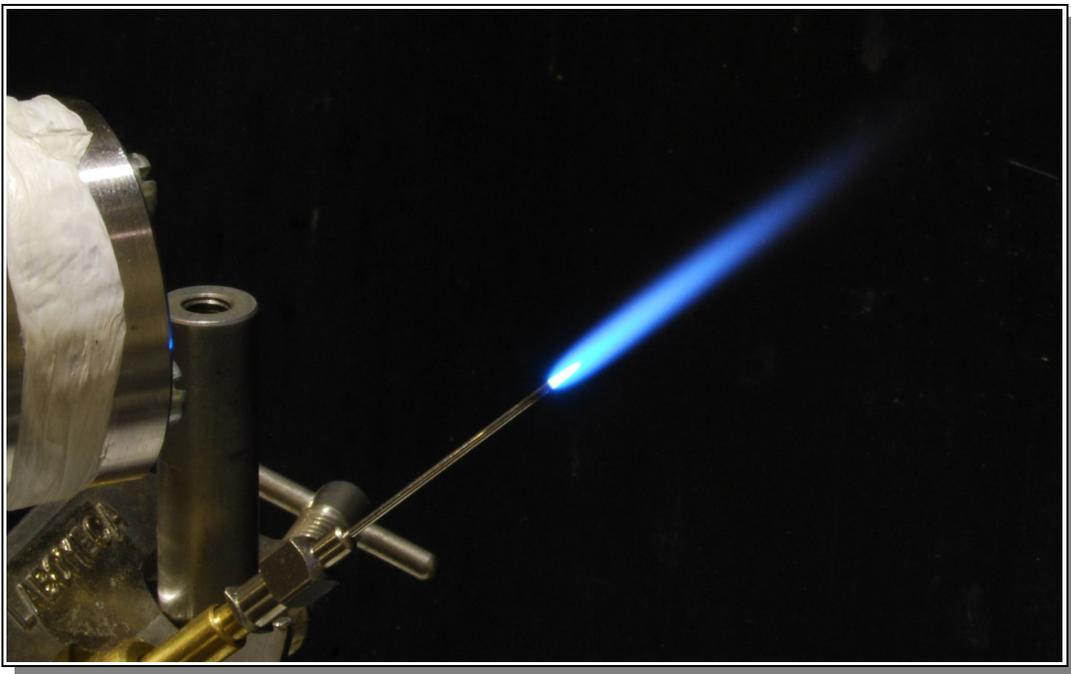


Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2011 – 11

Spectroscopie à émission de flamme pyrotechnique



Étudiants :

Floris ANDRIESSEN

Olga HERRERO

Kathleen HUVETTE

Camille LECLERE

Yannis MERLET

Mirel ZAPCIRIOU

Enseignant-responsable du projet :

M. David HONORÉ



Date de remise du rapport : **18/06/2011**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011 – 11**

Intitulé du projet : **Spectroscopie à émission de flamme pyrotechnique**

Type de projet : **expérimental**

Objectifs du projet :

Le but du projet est l'étude des spectres d'émissions de certains atomes et certaines molécules en combustion. Cette étude sera faite à l'aide d'un système d'acquisition optique relié à un ordinateur.

Pour chaque spectre, l'exploitation sera faite sous le logiciel SpectraSuite, qui permet une lecture dynamique du spectre et qui facilite l'identification de chaque atome dans le spectre d'une espèce chimique.

Le but est finalement de lier chaque rayonnement de la flamme à une espèce chimique et d'étudier la composition de la flamme.

Mots-clefs du projet : **Combustion, flamme, spectroscopie, pyrotechnie**

N° cahier de laboratoire associé : **A30227**



TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
2.1. Organisation du travail.....	7
2.2. Environnement expérimental.....	8
2.2.1. Montage.....	8
2.2.2. Logiciels.....	9
2.2.3. Capteurs et boîtier d'acquisition.....	11
2.3. Protocole expérimental et choix des paramètres.....	12
2.3.1. Protocole expérimental.....	12
2.3.2. Choix des paramètres.....	13
2.3.3. Problèmes rencontrés.....	14
3. Travail réalisé et résultats.....	14
3.1. Explication du phénomène.....	14
3.1.1. Principe de la combustion en pyrotechnie.....	14
3.1.2. Rayonnement par émission de la flamme par excitation thermique.....	15
3.2. Lampe de la salle.....	17
3.3. Lampe à mercure.....	18
3.4. Flamme avec de l'oxygène.....	18
3.5. Flamme sans oxygène.....	19
3.6. Flamme avec H ₂ O (provenant du robinet de la salle).....	20
3.7. Flammes dopées.....	21
3.7.1. LiNO ₃	21
3.7.2. KNO ₃	21
3.7.3. CaNO ₃	22
3.7.4. NaNO ₃	22
3.7.5. Alcool à 90°.....	23
3.7.6. Comparaison avec les résultats de l'année précédente.....	23

3.8. Variation de la proportion oxygène-butane.....	23
3.9. Calcul de la résolution.....	25
3.10. Comparaison avec l'autre logiciel.....	26
4. Conclusions et perspectives.....	27
5. Bibliographie.....	28
6. Annexes	30
6.1. Documentation technique.....	30
6.1.1. Manuel du boîtier d'acquisition.....	30
6.2. Tableaux des relevés des raies lumineuses pour chaque flamme.....	30
6.2.1. LiNO ₃	30
6.2.2. KNO ₃	31
6.2.3. CaNO ₃	31
6.2.4. NaNO ₃	32
6.2.5. Alcool à 90°.....	32
6.3. Fiches toxicologiques.....	33
6.3.1. Fiche toxicologique de CaNO ₃	33
6.3.2. Fiche toxicologique de KNO ₃	34
6.3.3. Fiche toxicologique de NaNO ₃	36
6.3.4. Fiche toxicologique de l'éthanol.....	38



1. INTRODUCTION

Durant ce projet de P6-3, nous avons fait des mesures et des expériences portant sur la spectroscopie d'émission de flammes pyrotechniques. Notre but était d'analyser la composition d'une flamme par son spectre et les longueurs d'ondes des éléments caractéristiques présents.

Pour mener cette étude, nous avons utilisé un montage optique, une sonde et le logiciel SpectraSuite, un logiciel modulaire pour la spectroscopie.

Dans un premier temps, pour comprendre cette étude il est important de savoir que, lors d'une combustion, les atomes en présence changent d'état d'énergie. Et lorsque cela se produit, il y a excitation de ces atomes, qui reviennent au niveau d'énergie précédent. Il y a émission d'un rayonnement caractéristique. C'est ce rayonnement que nous mesurons.

Notre objectif était de retrouver la longueur d'onde caractéristique d'un produit dopant grâce aux spectres de flammes et de comparer les résultats obtenus avec la composition théorique du produit dopant.

Nous n'avions que des connaissances limitées en chimie sur l'excitation des atomes et les niveaux d'énergie et nous ne savions que très peu sur le phénomène de combustion et la pyrotechnie en général.



2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1. Organisation du travail

Dès la présentation du projet par M. Honoré, nous avons pu séparer directement le travail sur la base des axes qu'il nous avait présentés lors de la première séance. Nous avons donc jugé bon de le séparer de la manière suivante :

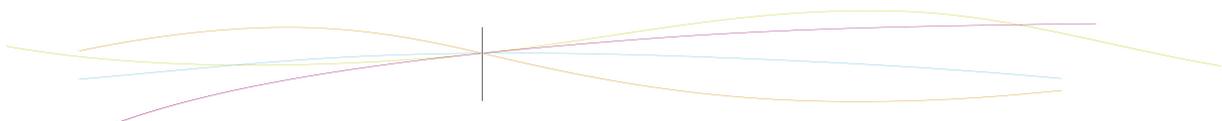
- Installation du montage, manipulation du brûleur, réglages des paramètres, optimisation des acquisitions, responsables de la constance des paramètres à travers les acquisitions et responsables photographie de chaque flamme :
 - Mirel et Yannis

- Responsables des acquisitions sur logiciel, de la simulation numérique et de l'exploitation numérique des spectres :
 - Kathleen et Camille

- Responsables des produits chimiques et de la sécurité vis à vis du risque chimique :
 - Olga et Floris

Finalement, la répartition des rôles n'était pas forcément respectée car certaines situations exigeaient l'aide d'un autre membre du groupe.

C'est pourquoi Olga a pu jouer un rôle lors du montage de l'expérience et de certaines acquisitions.



2.2. Environnement expérimental

2.2.1. Montage

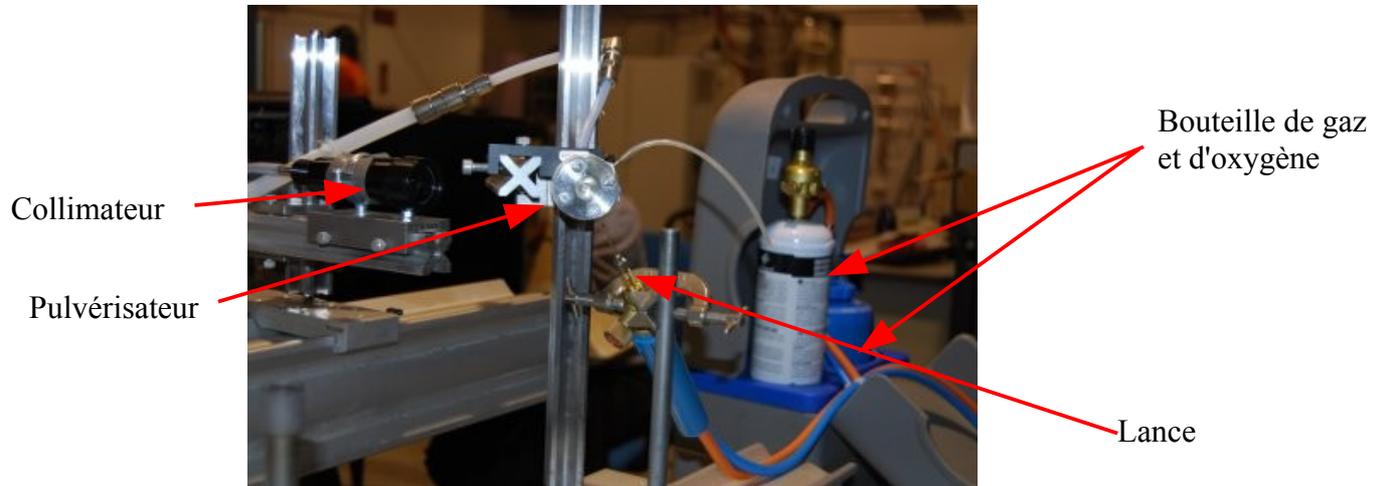


Illustration 1: Montage expérimental

Avant de commencer à faire le montage dont nous avons eu besoin pour nos expériences, nous avons appris comment utiliser chaque élément pris indépendamment (les brûleurs, la pompe à gaz/air, le capteur, etc.) et surtout, quel brûleur ou capteur choisir parmi deux types donnés, mais aussi quelles solutions nous avons à notre disposition.

- Brûleur :

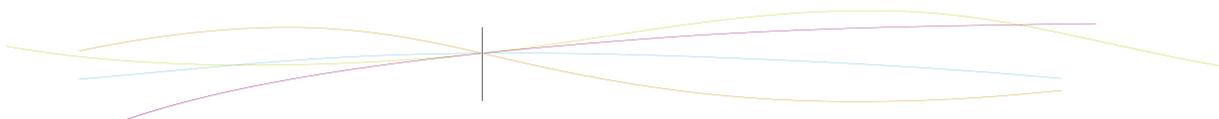
Les deux types de brûleurs mis à notre disposition ont été : le brûleur benzène (bec benzène) et l'oxy-brûleur. Nous avons préféré utiliser le deuxième puisqu'il contient un chalumeau de haute puissance due à l'utilisation de l'oxygène pur avec du butane. Le chalumeau réglable, la flamme pilote et les micro-lances permettent une bonne maîtrise de la flamme.

Par les micro-lances de différentes dimensions, nous avons pu choisir celle qui donne le débit de gaz nécessaire pour bien capter les ondes lumineuses. En choisissant l'oxy-brûleur, nous avons aussi tenu compte de la consommation de gaz. Le brûleur benzène ayant un débit plus important, nous a permis d'utiliser moins de gaz.

L'oxy-brûleur est de marque Butagaz. Sa boîte contenait une paire de lunettes de soudeur pour protection, un allume gaz à pierre (que l'on a préféré utiliser au lieu d'un briquet), deux bouteilles d'oxygène et de butane, ainsi qu'une série de pièces de rechange.

- Panneau de contrôle du débit de gaz :

Comme nous n'avons utilisé le brûleur benzène qu'à la première séance expérimentale, nous n'avons pas eu à utiliser le panneau de contrôle du débit de gaz. Par contre, nous avons utilisé la partie contrôle du débit d'air pour le pulvérisateur, que l'on a utilisé pour verser les différentes substances chimiques dans la flamme afin d'observer les variations des couleurs.



- Capteur :

Parmi plusieurs capteurs mis à notre disposition (capteur sonde, capteur grand angle, etc.), nous avons choisi celui qui est le plus optimal pour nos expériences.

- Partie mécanique :

Pour créer un montage de bonne qualité, nous avons utilisé plusieurs rails, de différentes tailles, liés entre eux par des vis ou autres éléments de connexion. Le brûleur et le capteur ont été bien fixés et ils n'ont pas été déplacés jusqu'à la fin de tous les TP. Une modification, même toute petite, pourrait perturber les acquisitions.

- Autres :

On a utilisé un écran noir, que l'on a mis juste derrière la flamme, pour mieux capter la lumière de la flamme et les fluctuations.

2.2.2. Logiciels

SpectraSuite

Ce logiciel permet de visualiser à l'écran ce qui est observé par le spectromètre et d'obtenir des spectres. Il représente les rayonnements des atomes et des molécules présents dans la flamme en fonction de leur longueur d'onde. Par contre, l'ordonnée, qui représente l'intensité des rayonnements, n'a pas d'unité. On ne peut donc que comparer les pics observés les uns avec les autres mais pas avec la théorie pour l'intensité. Ce logiciel nous a été très utile car, à partir de ces valeurs et de ces spectres, nous avons pu identifier les éléments qui rayonnaient dans les différentes flammes. Voici un exemple de spectre obtenu avec SpectraSuite :

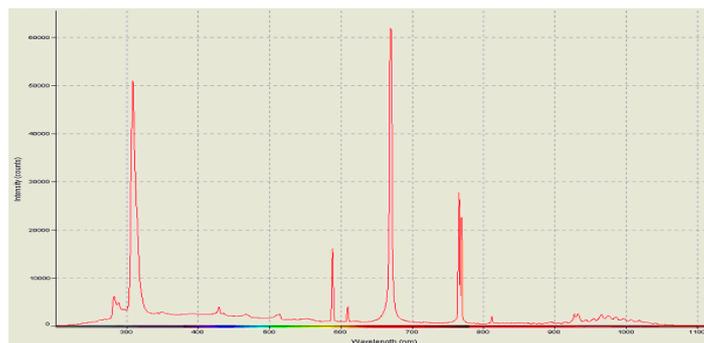
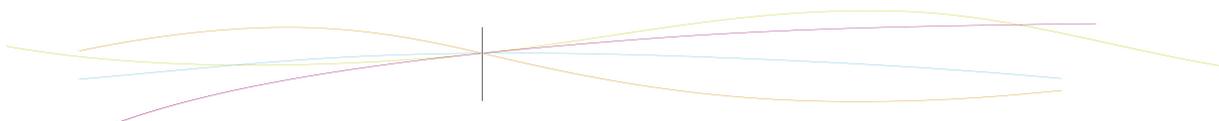


Illustration 2: Exemple de spectre

Le logiciel SpectraSuite permet de prendre un spectre allant de 200 nm à 1100 nm. Par ailleurs, il enregistre 2048 points.



Lifbase2

Ce logiciel permet de tracer les courbes théoriques de OH et CH en renseignant la température de la flamme ainsi que la résolution du capteur.

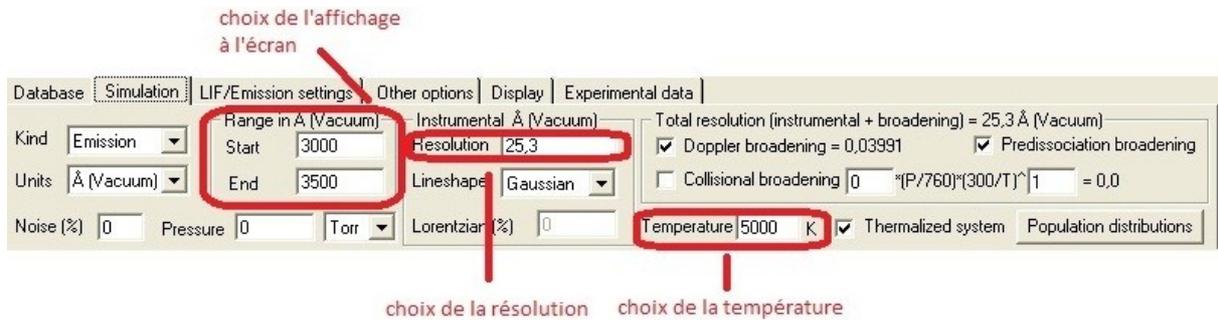


Illustration 3: Paramètres de Lifbase

Une fois la courbe théorique affichée, on peut ouvrir notre courbe expérimentale avec le logiciel qui affiche alors les deux courbes sur le même graphique. On peut alors donner un coefficient multiplicateur et déplacer l'origine afin de superposer les deux courbes au mieux et de vérifier si l'allure de la courbe expérimentale correspond à celle de la courbe théorique.

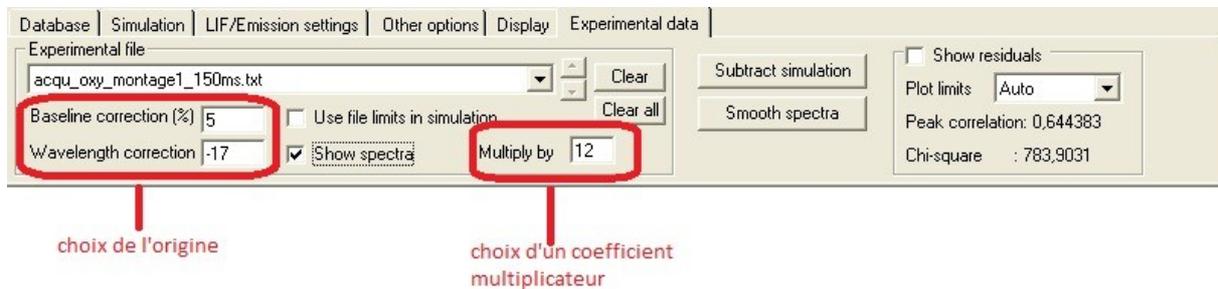
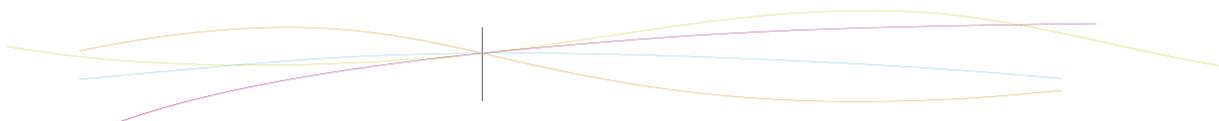


Illustration 4: Paramètres de LifBase



2.2.3. Capteurs et boîtier d'acquisition

Le système d'acquisition se compose de 2 éléments : le capteur et le boîtier d'acquisition.

Tout d'abord le boîtier d'acquisition se connecte en USB à l'ordinateur et envoie les informations au logiciel SpectraSuite. Il se connecte au système de collection par l'intermédiaire d'une fibre optique.



Illustration 5: Boîtier d'acquisition MAYA2000 Pro

Les collimateurs fournis avec le boîtier sont au nombre de 3 : un système de collection « sonde », un capteur à grand angle et un capteur à petite lentille. Chacun possède des avantages et des inconvénients détaillés dans les tableaux suivants :

Le système de collection sonde :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Peut s'approcher très près de la source lumineuse de par sa conception de sonde (résistance à des températures très hautes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne capte pas une très grande intensité lumineuse car il s'agit uniquement d'une fibre optique, il n'y a aucune lentille pour concentrer la lumière comme sur les autres capteurs - Est en première ligne lors de la pulvérisation de produits chimiques

Le système de collection « grand angle » :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Capte beaucoup de lumière grâce à la grande lentille, est efficace même quand la luminosité n'est pas très bonne 	<ul style="list-style-type: none"> - Il semble être le plus vulnérable à la chaleur, acquisition de loin obligatoire



Le système de collection normal :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Capte la lumière grâce à une lentille et pas seulement une fibre optique, ce qui augmente la lumière captée - Semble de conception robuste et résistant dans l'ensemble 	<ul style="list-style-type: none"> - N'ayant aucune information sur la température maximale que supporte la lentille, nous n'avons pas osé l'approcher trop près de la flamme

Après avoir testé sur plusieurs acquisitions les rendus de chaque capteur, nous avons choisi le capteur « grand angle ». Pour procéder à ce choix, nous avons mesuré avec le même temps d'acquisition l'intensité lumineuse de la flamme et nous avons décidé de garder le capteur donnant la plus grande valeur, quitte à baisser le temps d'acquisition après.

Nous avons aussi préféré écarter la sonde pour pouvoir avoir une vue globale de la flamme et non pas une vue en un seul point. Un dernier argument en défaveur de cette dernière résidait dans le fait que la projection de produit toxique peut ne pas être sans effet sur une fibre optique. La fibre peut être endommagée par un produit (voir fiches toxicologiques).

2.3. Protocole expérimental et choix des paramètres

2.3.1. Protocole expérimental

Du côté du montage

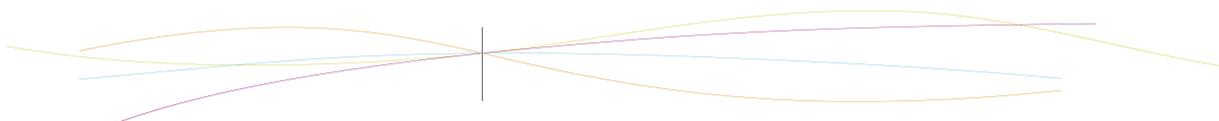
Le protocole expérimental pour les responsables du montage était simple et consistait en deux grandes parties.

Tout d'abord, une des deux personnes allumait une flamme et réglait les paramètres définis préalablement pour toutes les acquisitions. Cette partie incluait la gestion de la pression d'air de pulvérisation, la pression de gaz (ici, un mélange de butane et propane) et la pression de comburant (oxygène). L'autre personne pendant ce temps là ajustait l'appareil photo pour prendre une photo de la flamme lors de l'acquisition pour la comparer au spectre.

Du côté logiciel

Les photons émis lors d'un changement de niveau d'énergie sont comptés par le capteur en un temps donné. Le capteur envoie un signal électrique à l'ordinateur. Ce signal est analysé par le logiciel SpectraSuite, qui affiche un spectre en temps réel de la flamme observée par le capteur. Avant de lancer l'acquisition, plusieurs paramètres sont à régler.

On fait une acquisition du spectre de référence grâce au bouton :



Le spectre de référence est le spectre de la salle à un instant donné. Il est refait avant chaque acquisition. En effet, nous n'éteignons pas les lumières puisque nous partageons la salle avec un autre groupe, ceci nous obligeait donc à connaître le spectre dû à l'éclairage de la salle (plafonnier, écrans d'ordinateurs, ...) et de le soustraire à ce qu'on observait.

Puis, on le soustrait au spectre du logiciel grâce au bouton :



On vérifie que la soustraction a fonctionné : on doit avoir une ligne horizontale alignée sur l'axe des abscisses en 0.

On choisit un temps d'acquisition (en milliseconde) ainsi qu'une moyenne d'acquisitions.



On lance une capture.



On enregistre la capture sous deux formats : un tableur avec toutes les données enregistrées par l'appareil et une image avec le spectre observé à l'écran.

Afin de pouvoir comparer les spectres les uns avec les autres, on importe les tableaux de données dans un tableur. On choisit une échelle commune. On a décidé de prendre 100 ms pour tous les spectres. Ce qui signifie que les valeurs d'intensité d'un spectre de 25 ms seront multipliées par 4 pour avoir 100 ms. On trace ensuite la courbe correspondante grâce au tableur.

Du côté des produits chimiques

La première chose à faire lors d'une acquisition était de rincer le bécher à l'eau pour éviter de fausser les mesures en laissant d'autres espèces chimiques dans celui-ci.

Ensuite, nous avons à régler la pression à 2,5 bars pour le pulvérisateur.

Pour finir, nous devons maintenir une pulvérisation constante durant quelques instants, le temps de faire une acquisition informatique et de prendre une photo de la flamme.

2.3.2. Choix des paramètres

Concernant l'oxy-brûleur, nous n'avons pas eu de repères spécifiques pour le débit d'oxygène et de butane/propane. Par contre, nous avons choisi nous-même un repère par rapport aux tours de vis pour ouvrir le gaz. On a marqué, au marqueur, un quart de vis, un demi, un tiers etc sur la vis. On a pu remarqué qu'au-dessus d'un tiers de tour pour l'oxygène, la flamme est soufflée.

Pour le panneau de contrôle du débit d'air, nous avons utilisé une pression de pulvérisation d'approximativement 2,5 bars.

Les temps d'acquisition ont été choisis par rapport aux types de flammes et aux gaz utilisés :

- pour les flammes dopées : 25 ms,
- pour les flammes avec oxygène : 150 ms,
- pour les flammes sans oxygène : 50ms.



2.3.3. Problèmes rencontrés

Lors de nos manipulations, nous avons rencontré certains problèmes d'ordre très différents. De ce fait, la résolution de ces problèmes était confiée à différentes personnes.

Du côté du montage et des expériences, le premier problème auquel nous nous sommes heurtés est l'utilisation du brûleur. En effet, nous n'avions aucune idée de comment mesurer le débit d'air et de gaz que l'on utilisait pour les manipulations. C'est pourquoi nous avons dû, pour avoir un environnement expérimental équivalent d'une semaine sur l'autre, ajouter nous-mêmes des graduations.

Ensuite, du côté chimie, nous avons rencontré un principal problème. En effet, comme on aurait pu s'y attendre, les espèces chimiques utilisées en pyrotechnie ne sont pas toujours accessibles par tous. Par ailleurs, certaines « recettes » de produits sont maintenues secrètes. C'est pourquoi nous avons dû faire avec le peu d'informations que nous avons trouvées dans les archives de P6-3 et sur internet pour notre projet.

Pour finir, le principal problème était que sur toutes les acquisitions, des raies lumineuses étaient récurrentes. Nous avons tout essayé pour les en déterminer la cause : rincer le pulvérisateur, rincer la lance du brûleur... Il s'avère en fait que l'eau de rinçage était le problème. Nous avons en effet négligé le fait que l'eau du robinet est ionisée, d'où l'apparition de certaines raies lumineuses associées à des ions présents dans l'eau. Nous nous sommes rendus compte de ce problème très tard dans le semestre. Nous avons pu faire un spectre de l'oxy-flamme en rinçant tout le montage avec de l'eau distillée. Il est vrai que l'intensité des raies dues aux ions était beaucoup moins importante mais nous n'avons pas eu le temps de faire d'autres spectres, ni d'analyser plus en détail le phénomène.

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Explication du phénomène

3.1.1. Principe de la combustion en pyrotechnie¹

Le principe de base de la pyrotechnie repose sur la combustion. Le mélange pyrotechnique contient un composé oxydant (comme les nitrates), qui libère de l'oxygène, et un composé réducteur (en général des non-métaux, comme le magnésium ou le bore), qui capte l'oxygène et sert de combustible. La réaction commence par le transfert d'électrons du combustible (réducteur) vers l'oxydant. Au cours de cette réaction d'oxydoréduction, les atomes du combustible se lient aux atomes d'oxygène libérés par l'oxydant et forment des produits plus stables que les produits initiaux (ces produits formés peuvent être du CO_2 par exemple). Ce gain de stabilité des produits s'accompagne d'un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. La réaction est semblable à une combustion normale mais la source des atomes d'oxygènes n'est pas l'air. C'est le mélange pyrotechnique lui-même, de sorte que la libération de chaleur s'effectue dans un très petit volume.

Lors d'une combustion, on peut distinguer plusieurs types de flammes :

- La flamme de diffusion,
- La flamme de pré mélange.

1 Source : La chimie des feux d'artifices, CNRS



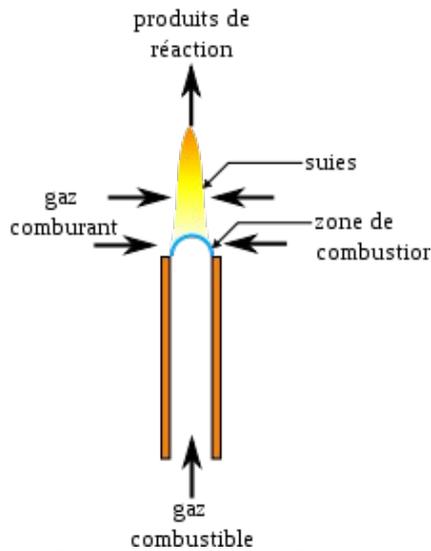


Illustration 6: Schéma de flamme de diffusion

Les flammes de diffusion

Les flammes de diffusion se caractérisent par le fait que la combustion se produit en même temps que le mélange entre le gaz combustible et le gaz comburant. Ces flammes présentent une zone de réaction séparant un milieu gazeux où le combustible est mélangé avec des gaz brûlés d'un côté et un milieu gazeux où le comburant est mélangé avec les gaz brûlés de l'autre.

La flamme de diffusion se compose de deux parties :

- **Une partie bleue** : c'est là que se déroule principalement la combustion, on a le combustible d'un côté, le comburant et les produits de réaction de l'autre ; la température est d'environ 1 200 °C.
- **Une partie allant du blanc au jaune ou à l'orange** : les produits de combustion de la zone bleue chassent l'air, la zone est donc plus pauvre en dioxygène, on atteint une température de 1 500 °C et il y a production de suies.

Les flammes de pré mélange

Dans le cas de la flamme de pré mélange, le combustible est toujours un gaz, qui est parfaitement mélangé au comburant. On parle aussi de flamme aérée. C'est ce type de flamme qui nous intéresse et que nous avons exploitée durant ce projet.

La flamme est, là aussi, une mince couche de gaz, qui est la frontière entre deux milieux :

- les « gaz frais » (mélange combustible-comburant) d'un côté,
- les gaz brûlés (produits de réaction) de l'autre.

3.1.2. Rayonnement par émission de la flamme par excitation thermique

Pour expliquer le fonctionnement du projet, il faut parler du principe d'émission de la flamme par excitation thermique.

Un atome est constitué d'un noyau environné d'électrons. Ce sont les électrons les plus périphériques, sollicités par tout apport extérieur d'énergie. Cet apport d'énergie, d'origine thermique, a pour effet de faire passer l'électron d'un niveau énergétique, disons A, vers un niveau supérieur, B. On a donc un atome dans un état excité.

L'état excité d'un électron n'est pas permanente. L'électron qu'on trouve dans le niveau B revient à ce premier niveau, A, en libérant une certaine énergie émise à l'extérieur sous la forme du rayonnement observé.



Ce saut d'énergie n'est pas quelconque dans la mesure où des sauts intermédiaires entre A et B sont interdits. A chacun de ces sauts, AB d'une énergie E_{AB} correspond, à l'émission d'un rayonnement de longueur d'onde, λ_{AB} tel que :

$$E_{AB} = \frac{h \times c}{\lambda_{AB}}$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide
et h la constante universelle de PLANCK.

Dans le domaine visible, de 380 nm à 780 nm, une longueur d'onde donnée est associée à une couleur donnée. Pour des longueurs d'onde >780nm, on se trouve dans le domaine des infrarouges. On peut percevoir cette énergie libérée grâce à la chaleur.

Ce tableau montre quelques exemples de différents éléments chimiques et la couleur qu'on peut observer quand on le pulvérise sur une flamme.

Couleur	Éléments	Composés	Formule
Violet	Potassium	Nitrate de potassium	KNO_3
		Chlorate de potassium	$KClO_3$
Bleu	Cuivre	Chlorure cuivreux	$CuCl$
	Zinc	Sulfate de cuivre	$CuSO_4$
		Poudre de zinc	Zn
Vert	Baryum	Nitrate de baryum	$Ba(NO_3)_2$
		Chlorure de baryum	$BaCl_2$
		Chlorate de baryum	$Ba(ClO_3)_2$
Jaune	Sodium	Oxalate de sodium	$Na_2C_2O_4$
		Oxyde de sodium	Na_2O
		Nitrate de sodium	$NaNO_3$
Orangé	Calcium	Nitrate de calcium	$Ca(NO_3)_2$
Rouge	Strontium	Nitrate de strontium	$Sr(NO_3)_2$
		Hydroxyde de strontium	$Sr(OH)_2$
		Chlorure de strontium	$SrCl_2$
		Oxyde de strontium	SrO
		Carbonate de strontium	$SrCO_3$
Blanc	Magnésium	Poudre de magnésium	Mg
	Aluminium	Poudre d'aluminium	Al
Argenté	Titane	Poudre de titane	Ti
	Aluminium	Poudre d'aluminium	Al
Étincelles	Aluminium	Granules d'aluminium	Al



Il faut aussi parler de la température de la flamme. Si cette température n'est pas assez élevée le seuil d'excitation ne sera pas « franchi ». Si tel est le cas, on aura une flamme où pratiquement aucune émission ne se produira.

De même, si la température de la flamme est trop élevée l'énergie thermique correspondante sera telle que l'atome perdra un électron (ou plusieurs) en devenant un ion. Si l'atome est perdu, l'émission n'aura pas lieu.

3.2. Lampe de la salle

longueur d'onde	intensité	élément	théorie (en nm)	écart relatif
410,61 nm	2 071	In	410,2	0,10%
451,16 nm	5 496	In	451,1	0,01%
535,24 nm	9 115	Ne	534,1	0,21%
589,11 nm	13 630	Na	589	0,02%
608,48 nm	1 974	Li	610,4	0,32%
670,28 nm	3 611	Li	670,8	0,08%
818.51 nm	9 083	Na	819.5	0.12%

+ traces de Hg à 546.074 nm et K à 766.491 nm

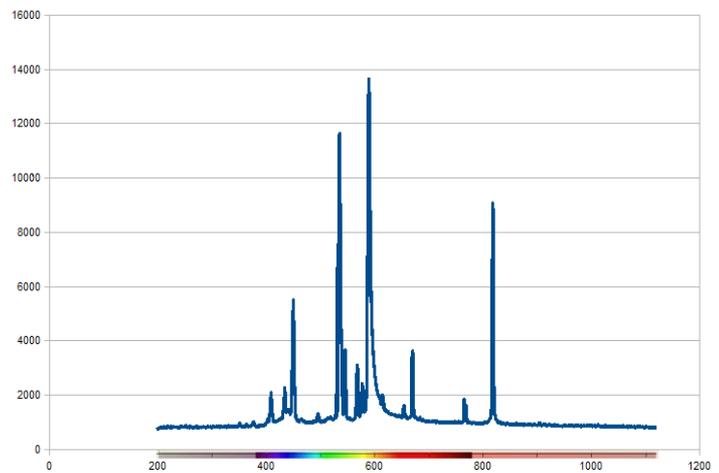


Illustration 7: Spectre du plafonnier

Nous avons tout d'abord réalisé le spectre du plafonnier afin de se familiariser avec le matériel, le logiciel et les deux livres permettant d'identifier les raies. Nous pouvons remarquer que le plafonnier de la salle contient beaucoup de Sodium et de Néon, puis du Lithium, de l'Indium et enfin des traces de Mercure et de Potassium. Nous savions quels atomes nous étions susceptibles de trouver dans la lampe et nous avons donc vérifié nos résultats expérimentaux avec la théorie grâce aux deux livres qui donnent les longueurs d'onde des passages de niveaux d'énergie pour chaque élément.



3.3. Lampe à mercure

longueur d'onde	intensité	élément	théorie (en nm)	écart relatif
364,73 nm	158 500	Hg	entre 365,0 et 366,3	entre 0,07% et 0,43%
404,60 nm	240 620	Hg	404,7	0,02%
435,52 nm	598 370	Hg	435,8	0,06%
545,68 nm	511 970	Hg	546,1	0,08%
577,37 nm	131 660	Hg	577	0,06%

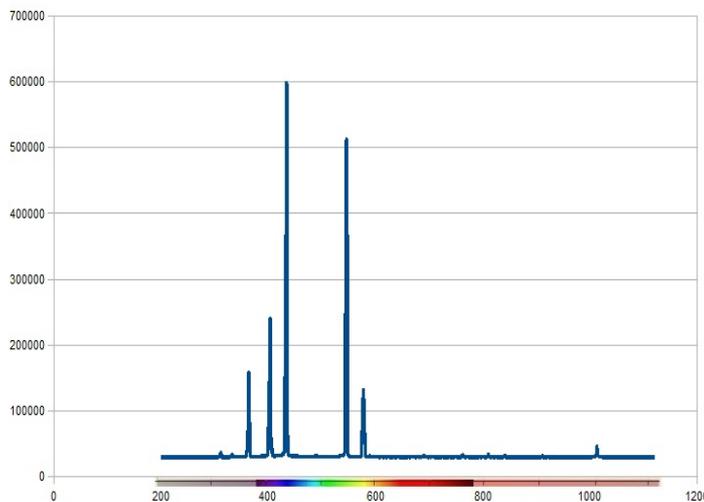


Illustration 8: Spectre de la lampe à mercure

Nous avons aussi fait une acquisition d'une lampe à mercure pour nous familiariser avec le matériel. Cette acquisition sera réutilisée pour calculer la résolution du matériel. La lampe à mercure n'est composée que de Mercure, comme nous pouvions nous y attendre.

3.4. Flamme avec de l'oxygène

longueur d'onde	intensité	élément	théorie (en nm)	écart relatif
308,74 nm	28 636	OH	308,9	0,05%
429,70 nm	3 828	CH	431,5	0,42%
466,77 nm	3 237			
514,77 nm	4 920	C2	516,5	0,33%
588,66 nm	2 871	Na	589	0,06%
670,28 nm	730	Li	670,8	0,08%
928,04 nm	3 870	suies		
933,19 nm	4 045	suies		

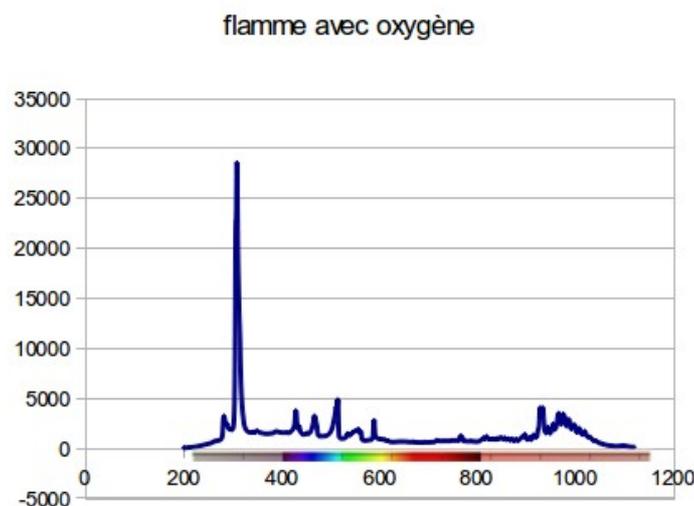


Illustration 9: Spectre de l'oxy-flamme





Illustration 10: Oxy-flamme

C'est le premier spectre de flamme que nous avons fait. Nous pouvons observer une flamme bleue. On trouve du OH, CH et C2 dans la flamme. Ce qui est normal pour une flamme ayant de l'oxygène pour comburant. En effet, un des deux livres nous donne les éléments qu'on peut trouver dans une flamme faite à partir de butane et d'oxygène, ce qui est notre cas. On retrouve également du Sodium et du Lithium. Ces deux éléments viennent du fait que nous avons rincé le montage avec de l'eau du robinet et qu'elle contient ces deux atomes. Nous observons également des suies ainsi qu'une raie que nous n'avons pas pu identifier.

3.5. Flamme sans oxygène

flamme sans oxygène

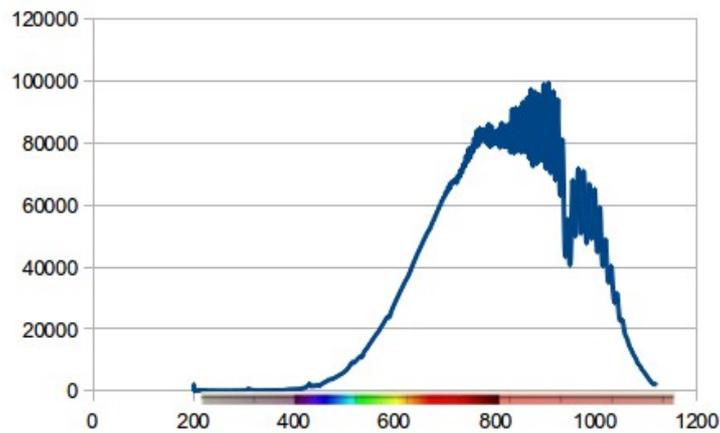
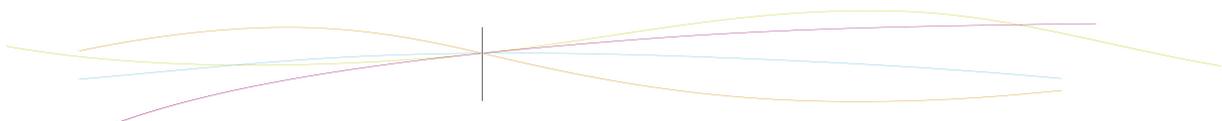


Illustration 11: Spectre de flamme sans oxygène

Nous observons une flamme orange. Nous n'avons relevé aucun pic significatif car il y a trop de suies.



3.6. Flamme avec H2O (provenant du robinet de la salle)

longueur d'onde	intensité	élément	théorie (en nm)	écart relatif
309,21 nm	9 710	OH	308,9	0,10%
429,99 nm	5 474	CH	431,5	0,35%
514,77 nm	8 375	C2	516,5	0,33%
553,85 nm	9 629			
588,66 nm	121 850	Na	589	0,06%
622,41 nm	15 195			
670,28 nm	7 429	Li	670,8	0,08%
765,94 nm	71 944	K	766,5	0,07%
769,45 nm	41 208			

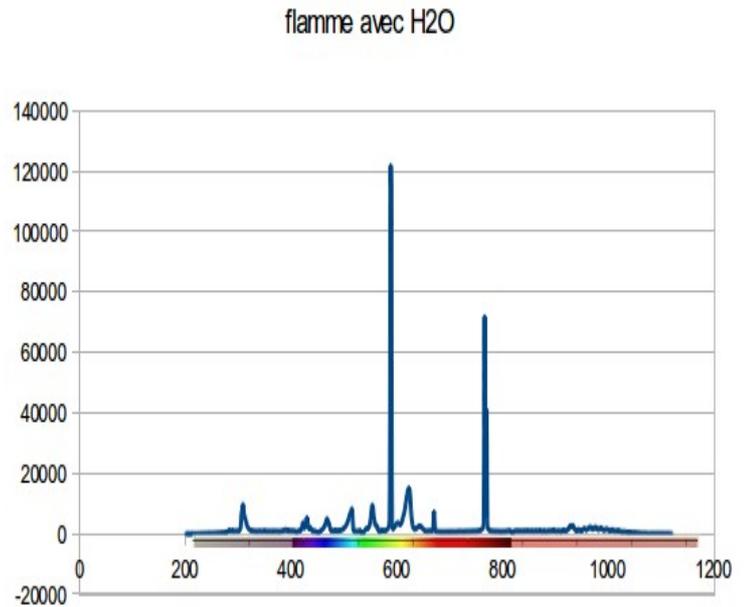
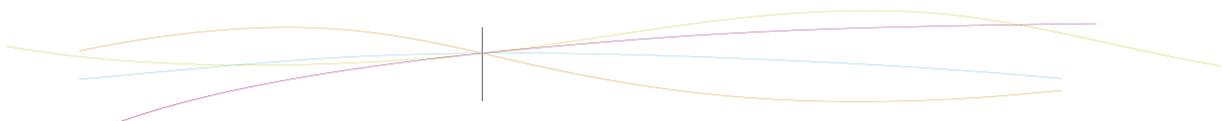


Illustration 12: Spectre de la flamme avec pulvérisation d'eau

Nous avons décidé de faire cette acquisition car nous observons certaines raies de même longueur d'onde sur plusieurs spectres. Et entre chaque acquisition le pulvérisateur était rincé à l'eau du robinet et non à l'eau distillée. Nous avons aussi essayé le pulvérisateur avant la première acquisition de la flamme avec oxygène donc des minéraux de l'eau sont aussi présent dans ce spectre. Nous avons cherché sur Internet quels étaient les éléments les plus souvent présents dans l'eau du robinet afin d'identifier les éléments du spectre mais nous n'avons pas pu tous les identifier. Nous retrouvons le OH, CH et C2 de la flamme avec oxygène. Puis nous observons du Sodium, Lithium et Potassium.



3.7. Flammes dopées

Nous avons observé les spectres de 5 flammes dopées. Les tableaux des pics seront mis en annexe.

3.7.1. LiNO_3

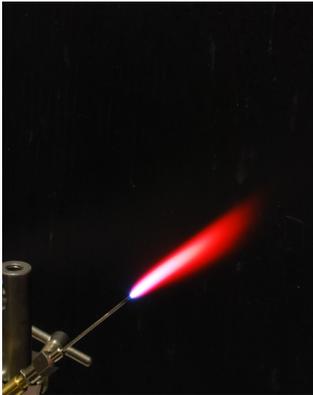


Illustration 14: Flamme dopée au LiNO_3

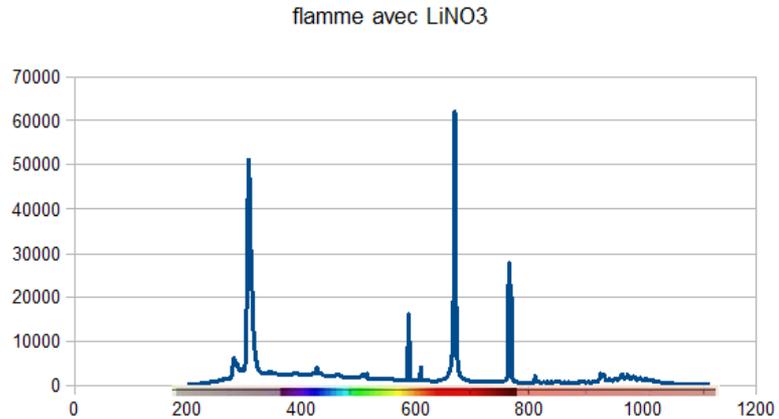


Illustration 13: Spectre de flamme dopée au LiNO_3

On observe une flamme très rouge. On trouve une forte présence de Lithium. On trouve également du OH dû à la flamme ainsi que du Sodium et du Potassium dus à l'eau. Il y a également une raie qu'on n'a pas pu identifier qui est présente dans le spectre de l'eau du robinet.

3.7.2. KNO_3



Illustration 15: Flamme dopée au KNO_3

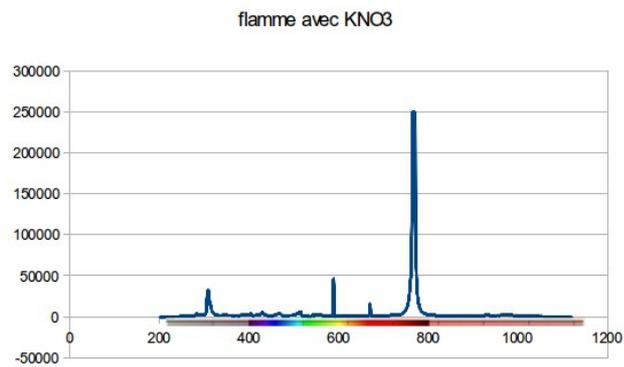
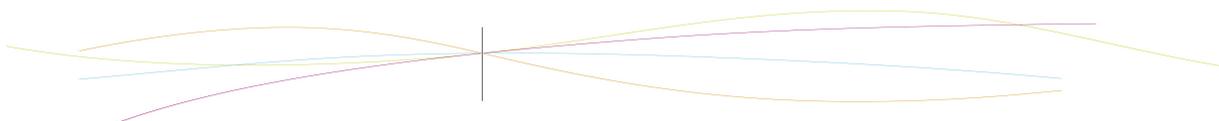


Illustration 16: Spectre de flamme dopée au KNO_3

On observe une flamme de couleur violette. On observe une forte quantité de Potassium due au dopant. Puis on observe du OH, du CH et du C_2 qui proviennent de la flamme oxygénée ainsi que du Lithium et du Sodium qui proviennent de l'eau. On observe aussi une raie également présente dans le spectre de la flamme oxygénée mais qu'on n'a pas réussi à identifier.



3.7.3. CaNO3

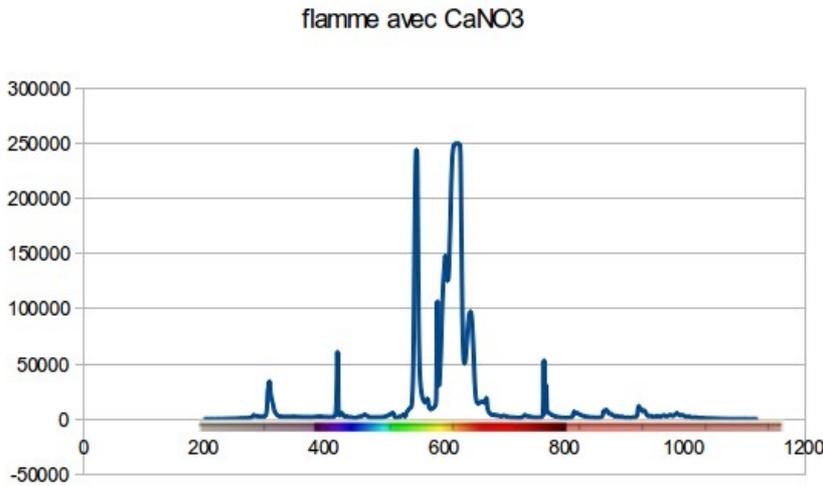


Illustration 17: Spectre de flamme dopée au CaNO3



Illustration 18: Flamme dopée au CaNO3

La flamme est orange. On observe du OH qui provient de la flamme oxygénée ainsi que du Sodium et du Lithium qui proviennent de l'eau. Nous observons également deux raies inconnues également présentes dans le spectre de l'eau ainsi que trois raies, ayant une forte intensité que nous n'avons pas pu identifier et qui ne correspondent pas à du Calcium, ce qui est très étrange.

3.7.4. NaNO3



Illustration 19: Flamme dopée au NaNO3

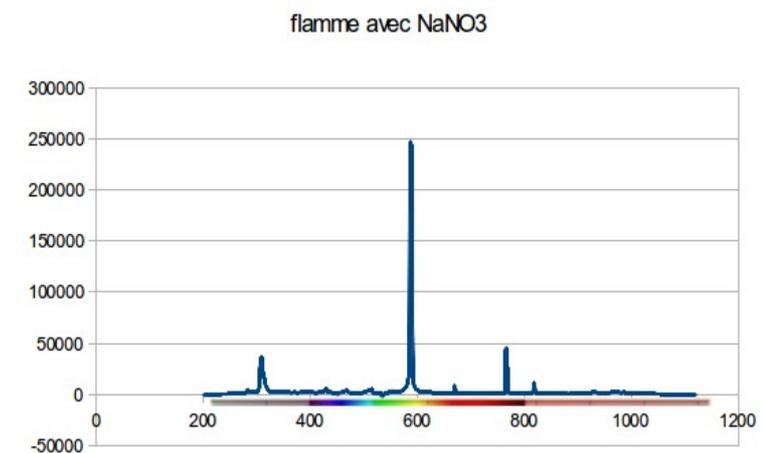


Illustration 20: Spectre de flamme dopée au NaNO3

La flamme est jaune-orangée. On observe deux pics forts de Sodium, du OH provenant de la flamme oxygénée ainsi que du Lithium provenant de l'eau du robinet. On observe aussi une autre raie provenant du spectre de l'eau qu'on n'a pas pu identifier ainsi qu'une autre raie non identifiée.



3.7.5. Alcool à 90°

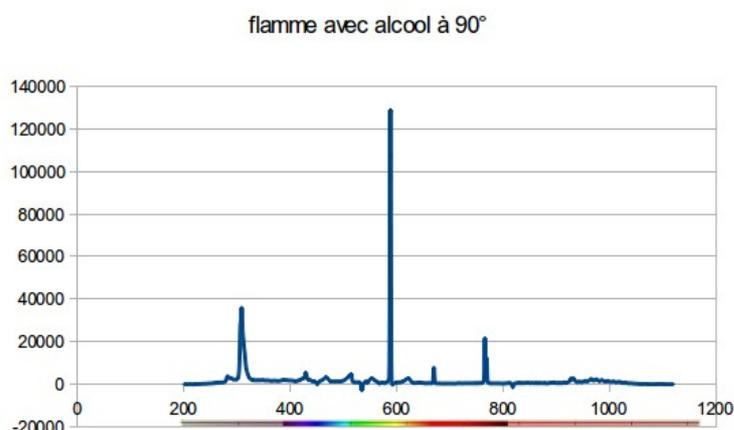


Illustration 22: Spectre de flamme dopée à l'alcool à 90°



Illustration 21: Flamme dopée à l'alcool à 90°

On observe une flamme jaune-orangé. Ce spectre comporte moins de pics que les autres. On observe du OH dû à la flamme oxygénée puis du Sodium, du Lithium et du Potassium dus à l'eau.

3.7.6. Comparaison avec les résultats de l'année précédente

En reprenant le dossier de l'année dernière, nous avons constaté qu'ils avaient également eu un problème avec le calcium : les longueurs d'ondes obtenues expérimentalement ne correspondent à aucun des passages d'énergie théorique du Calcium. Pour le LiNO_3 , le KNO_3 et le NaNO_3 ils observaient une raie unique. Cette différence est sûrement due au fait que nous utilisons de l'eau du robinet pour rincer le matériel. Le changement de brûleur a peut être aussi une influence sur ces résultats. Enfin, pour l'alcool à 90°, ils observaient également du Sodium, du Lithium et du Potassium. Mais sachant qu'on en retrouve dans tous nos spectres à cause de l'eau du robinet, on ne peut pas éclaircir ce point.

3.8. Variation de la proportion oxygène-butane

Nous avons fait varier la proportion d'oxygène par rapport au butane sur 6 acquisitions. Au niveau 0, il n'y a pas du tout d'oxygène, le niveau 4 correspond à la quantité maximum d'oxygène qu'on peut mettre sans que la flamme ne s'éteigne. Nos expériences ont été réalisées au niveau 3. On voit très bien que les suies (en haut) sont de moins en moins importantes et que les pics se distinguent de plus en plus et sont de plus en plus grands.



Avec adaptation de l'échelle:

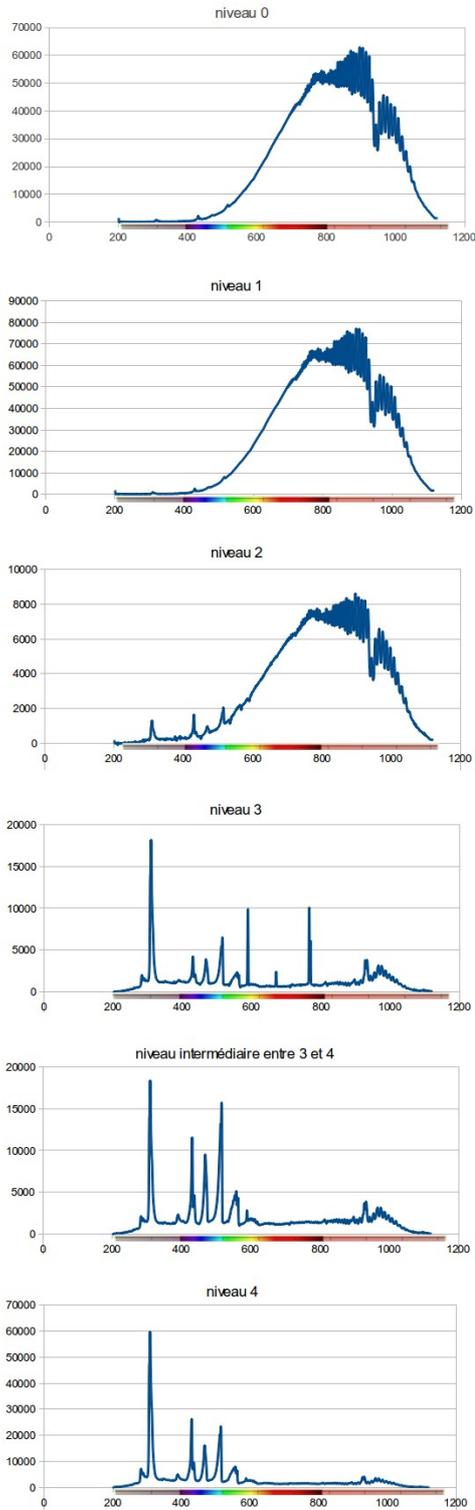


Illustration 23: Spectres avec adaptation de l'échelle de la variation oxygène-butane

Sans adaptation de l'échelle :

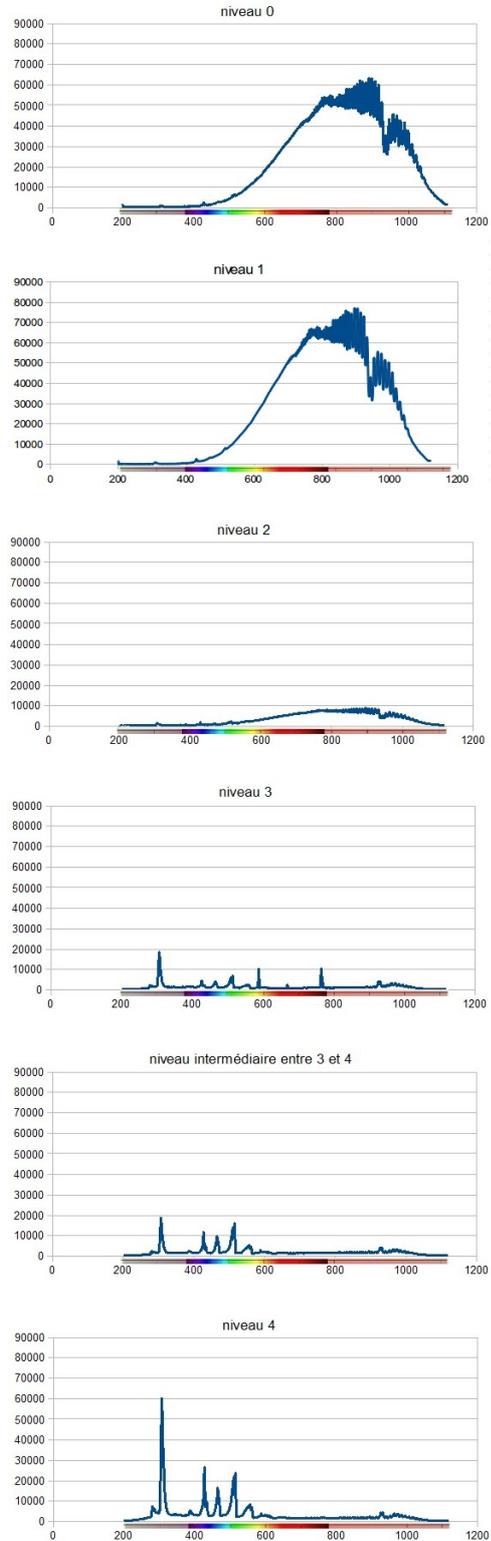


Illustration 24: Spectres sans adaptation de l'échelle de la variation oxygène-butane



3.9. Calcul de la résolution

Nous avons calculé la résolution expérimentale du spectrographe, qui correspond à la moyenne des largeurs à mi-hauteur des pics relevés sur les spectres. Nous avons réalisé ce calcul à l'aide du spectre de la lampe à mercure. On détermine ainsi, de chaque côté du pic, à quelle longueur d'onde correspond la demi-hauteur du pic. Comme nous ne disposions que de certaines valeurs permettant de créer la courbe observée, il a fallu calculer les longueurs d'onde désirées à l'aide de cette formule : $x = \frac{(y - y1)(x2 - x1)}{(y2 - y1)} + x1$

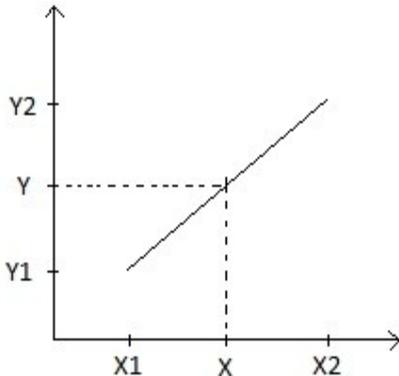


Illustration 25: Aide au calcul de la longueur d'onde de la demi-hauteur d'un pic

où y représente la valeur de la mi-haut et x, la longueur d'onde associée à y pour le côté du pic considéré.

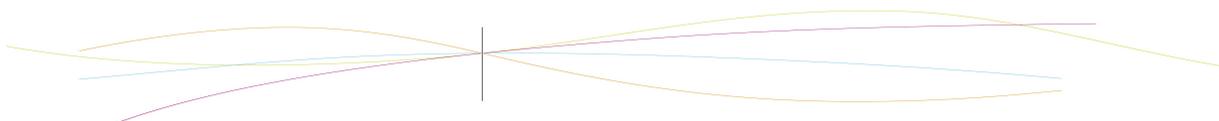
On obtient alors les valeurs suivantes relevées sur 5 raies :

Raies	Longueur d'onde de la mi-hauteur du 1er côté du pic (en nm)	Longueur d'onde de la mi-hauteur du 2ème côté du pic (en nm)	Différence (résolution) (en nm)
1	363,53	365,76	2,23
2	403,06	405,18	2,12
3	434,13	436,36	2,23
4	544,38	546,45	2,07
5	817,24	819,60	2,36
		Moyenne :	2,20
		Moyenne sans la valeur aberrante (5ème raie) :	2,16

Nous avons observé que certains pics étaient « plats », c'est-à-dire que leur sommet ne formait pas une pointe, utile à la détermination de la hauteur du pic, mais un plateau, représenté par un trait oblique. Il a donc fallu refaire ces calculs en faisant une approximation de la hauteur totale du pic lorsque celui était « plat ». Nous avons alors obtenu :

Raies	Longueur d'onde de la mi-hauteur du 1er côté du pic (en nm)	Longueur d'onde de la mi-hauteur du 2ème côté du pic (en nm)	Différence (résolution) (en nm)
1	363,53	365,87	2,34
2	403,06	405,32	2,26
3	433,80	436,57	2,77
4	543,94	546,70	2,76
5	575,39	579,20	3,81
		Moyenne :	2,79
		Moyenne sans la valeur aberrante (5ème raie) :	2,53

Il y a plusieurs explications dans la présence de valeurs aberrantes. En effet, il se peut que l'approximation de la hauteur du pic soit un peu trop éloignée de la réalité, que les raies observées soient un peu trop petites et qu'il soit difficile de trouver les valeurs des intensités de chaque côté du pic entrant dans le calcul (« valeur du zéro »), ou encore que les raies observées soient une convolution de plusieurs raies.



Calcul de la résolution théorique :

$$dispersion = \frac{\text{étendue de la capture (en nm)}}{\text{nombre de pixels}} = \frac{1100 - 200}{2048} = 0,44 \text{ nm.pixel}^{-1}$$

De plus, on a une fente de 50 µm donc la lumière se répartir sur 4,2 pixels.

On obtient donc la résolution théorique : $résolution_{TH} = dispersion \times 4,2 \text{ pixels} = 1,86 \text{ nm}$

Cette valeur théorique est optimisée pour la vente de l'appareil et elle a été calculée pour des raies monochromatiques. Mais on observe tout de même que les valeurs théorique et expérimentale de la résolution ont le même ordre de grandeur.

3.10. Comparaison avec l'autre logiciel

A l'aide du logiciel Lifbase, nous avons pu vérifier la présence soupçonnée des molécules OH et CH dans nos spectres. Ce logiciel permet de comparer des raies expérimentales avec les raies théoriquement observées de ces molécules. Ainsi, OH et CH sont effectivement présents dans nos spectres si l'allure des raies expérimentales et théoriques se superposent. Ici, on observe que l'allure des courbes théorique (en violet) et expérimentale (en bleu) correspond. Ainsi, dans les spectres analysés, OH et CH ont effectivement bien été identifiés.

Simulation OH :

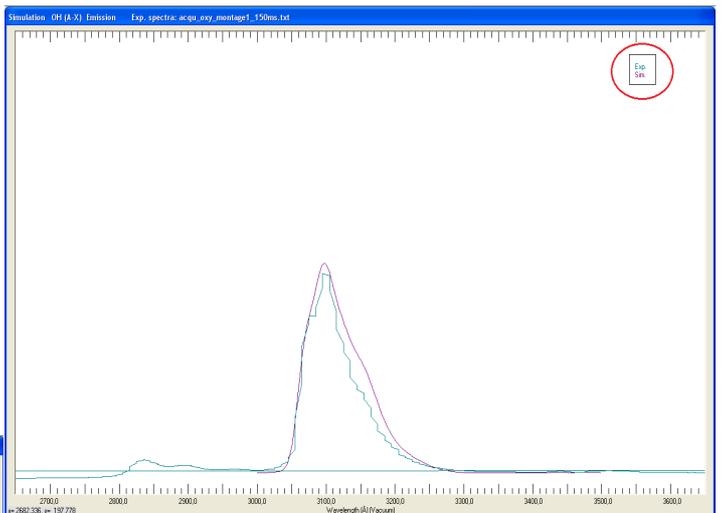


Illustration 26: Simulation sous Lifbase pour OH

: Simulation CH

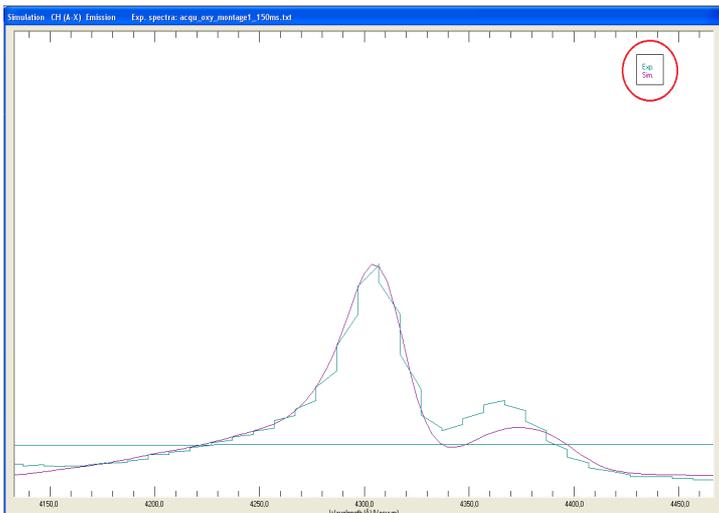
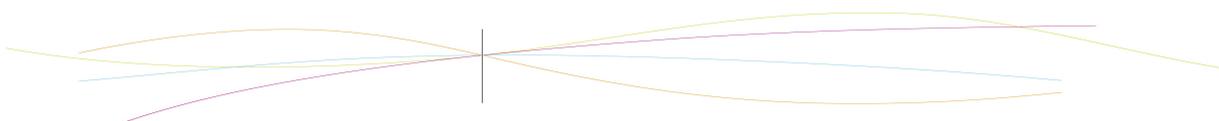


Illustration 27: Simulation sous Lifbase pour CH



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Travail réalisé

Au cours de ce projet nous avons pu découvrir une partie de la physique que nous ne connaissions par forcément : la spectroscopie d'émission de flammes pyrotechniques. Ce sujet nous a particulièrement intéressé dans la mesure où nous avons pu concilier très rapidement pratique et théorie dans ce projet, en comparant des résultats théoriques avec nos résultats expérimentaux.

Ce projet nous a permis de mettre en pratique la théorie que nous avons pu voir jusqu'à présent.

Apport personnel

Grâce à ce projet, nous avons appris à travailler, sur la durée, dans un groupe dont les membres nous étaient imposés, et à nous entendre en mettant à profit les initiatives et idées de chacun. Même si nous étions encadrés et pouvions poser des questions, nous avons dû nous organiser, nous répartir les tâches et diriger notre projet de manière autonome.

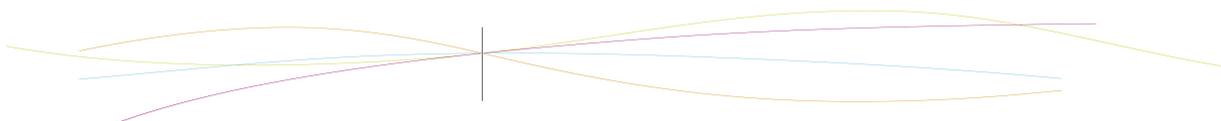
Par ailleurs, avec ce projet nous avons acquis certains réflexes comme le fait de rechercher la fiche toxicologique d'un produit avant de l'utiliser afin de prendre les précautions nécessaires.

Ce projet nous a surtout permis de nous adapter à du matériel et des logiciels qui ne nous sont pas forcément familiers ce qui est une des qualités d'ingénieur. Cette expérience ne nous a été donc que bénéfique.

Perspectives pour la poursuite de ce projet

Ce projet aurait pu être amélioré de plusieurs façons mais par exemple, un oxy-brûleur qui permettrait de contrôler efficacement et précisément la pression et le débit nous aurait donné une meilleure précision dans nos résultats. En effet, entre chaque mesure nous aurions eu des conditions de pression et de débit égales, les marques au stylo n'étant pas précises.

Finalement, il pourrait être intéressant d'exploiter de différentes façons les différents capteurs fournis en les rapprochant à chaque mesure et en les comparant.



5. BIBLIOGRAPHIE

Livres :

- « Handbook of Chemistry and Physics »,
a ready-reference book of chemical and physical data, Forty-First Edition
- A. G. Gaydon, Chapman & Hall Ltd, « The Spectroscopy of Flames », London, 1957

Sites internet :

- Manuel utilisateur du boîtier d'acquisition :
www.oceanoptics.com/technical/maya.pdf, valide au 10/06/2011
- Chimie des feux d'artifices, CNRS,
<http://www.cnrs.fr/inc/images/images-chimietous/minidossiers/feux-d-artifice.pdf>,
valide au 16/06/2011
- Fiches toxicologiques : institut de la santé publique de Belgique,
<http://www.iph.fgov.be/>, valide au 04/06/2011



Table des illustrations

Illustration 1: Montage expérimental.....	8
Illustration 2: Exemple de spectre.....	9
Illustration 3: Paramètres de Lifbase.....	10
Illustration 4: Paramètres de LifBase.....	10
Illustration 5: Boîtier d'acquisition MAYA2000 Pro.....	11
Illustration 6: Schéma de flamme de diffusion.....	15
Illustration 7: Spectre du plafonnier.....	17
Illustration 8: Spectre de la lampe à mercure.....	18
Illustration 9: Spectre de l'oxy-flamme.....	18
Illustration 10: Oxy-flamme.....	19
Illustration 11: Spectre de flamme sans oxygène.....	19
Illustration 12: Spectre de la flamme avec pulvérisation d'eau.....	20
Illustration 13: Spectre de flamme dopée au LiNO ₃	21
Illustration 14: Flamme dopée au LiNO ₃	21
Illustration 15: Flamme dopée au KNO ₃	21
Illustration 16: Spectre de flamme dopée au KNO ₃	21
Illustration 17: Spectre de flamme dopée au CaNO ₃	22
Illustration 18: Flamme dopée au CaNO ₃	22
Illustration 19: Flamme dopée au NaNO ₃	22
Illustration 20: Spectre de flamme dopée au NaNO ₃	22
Illustration 21: Flamme dopée à l'alcool à 90°.....	23
Illustration 22: Spectre de flamme dopée à l'alcool à 90°.....	23
Illustration 23: Spectres avec adaptation de l'échelle de la variation oxygène-butane.....	24
Illustration 24: Spectres sans adaptation de l'échelle de la variation oxygène-butane.....	24
Illustration 25: Aide au calcul de la longueur d'onde de la demi-hauteur d'un pic.....	25
Illustration 26: Simulation sous Lifbase pour OH.....	26
Illustration 27: Simulation sous Lifbase pour CH.....	26





6. ANNEXES

6.1. Documentation technique

6.1.1. Manuel du boîtier d'acquisition

Voir bibliographie pour URL.

6.2. Tableaux des relevés des raies lumineuses pour chaque flamme

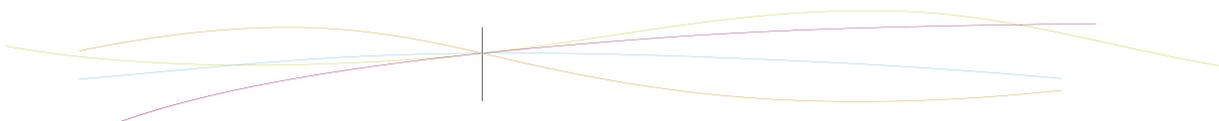
6.2.1. LiNO₃

longueur d'onde	intensité	élément	théorie	écart relatif
308,74 nm	50 942	OH	308,9 nm	0,05%
588,66 nm	16 053	Na	589,0 nm	0,06%
609,83 nm	4 023	Li	610,4 nm	0,09%
670,28 nm	61 891	Li	670,8 nm	0,08%
765,94 nm	27 725	K	766,5 nm	0,07%
769,45 nm	22 575			

longueur d'onde	intensité	élément	théorie	écart relatif
308,74 nm	32 660	OH	308,9 nm	0,05%
429,07 nm	5 980	CH	431,5 nm	0,56%
466,77 nm	4 256			
514,77 nm	6 278	C2	516,5 nm	0,34%
588,66 nm	46 590	Na	589,0 nm	0,06%
670,28 nm	16 456	Li	670,8 nm	0,08%
767,69 nm	250 076	K	766,5 nm	0,16%

6.2.3. CaNO₃

longueur d'onde	intensité	élément	théorie	écart relatif
308,74 nm	34 398	OH	308,9 nm	0,05%
553,85 nm	245 195			
588,66 nm	106 885	Na	589,0 nm	0,06%
601,73 nm	148 513			
618,81 nm	249 976			
643,03 nm	97 631			
670,28 nm	19 510	Li	670,8 nm	0,08%
765,94 nm	53 365			



6.2.4. NaNO_3

longueur d'onde	intensité	élément	théorie	écart relatif
308,74 nm	36 698	OH	308,9 nm	0,05%
586,85 nm	247 488	Na	entre 589,0 et 589,6 nm	entre 0,07% et 0,47%
590,01 nm	244 836			
670,28 nm	9 073	Li	670,8 nm	0,08%
765,94 nm	45 679			
769,01 nm	26 770			
818,51 nm	11 402	Na	819,5 nm	0,12%

6.2.5. *Alcool à 90°*

longueur d'onde	intensité	élément	théorie	écart relatif
308,74 nm	35 942	OH	308,9 nm	0,05%
588,66 nm	129 014	Na	589,0 nm	0,06%
670,28 nm	7 809	Li	670,8 nm	0,08%
765,94 nm	21 624	K	766,5 nm	0,07%
769,01 nm	12 468			



6.3. Fiches toxicologiques

6.3.1. Fiche toxicologique de CaNO3

NITRATE DE CALCIUM

ICSC: 1037



Dinitrate de calcium
Nitrate de calcium (II)
 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Masse moléculaire: 164.10

N° ICSC : 1037
N° CAS : 10124-37-5
N° RTECS : [EW2985000](#)
N° ONU : 1454
08.05.2003 Revu en réunion



TYPES DE RISQUES/ EXPOSITIONS	RISQUES/ SYMPTOMES AIGUS	PREVENTION	PREMIER SECOURS/ AGENTS D'EXTINCTION
INCENDIE	Emission de fumées (ou de gaz) irritantes ou toxiques lors d'incendie. Non combustible mais favorise la combustion d'autres substances.	PAS de contact avec les substances inflammables.	En cas d'incendie à proximité: utiliser les agents d'extinction appropriés.
EXPLOSION	Risques d'incendie et d'explosion au contact des substances combustibles.		
CONTACT PHYSIQUE		EVITER LA DISPERSION DE POUSSIERE!	
√ ¹ INHALATION	Toux. Mal de gorge.	Aspiration locale ou protection respiratoire. Gants de protection.	Air frais, repos.
√ ¹ PEAU			Rincer d'abord abondamment à l'eau, puis retirer les vêtements contaminés, et rincer de nouveau.
√ ¹ YEUX	Rougeur.	Lunettes de protection.	Rincer d'abord abondamment à l'eau pendant plusieurs minutes (retirer si possible les lentilles de contact), puis consulter un médecin.
√ ¹ INGESTION	Douleurs abdominales.	Ne pas manger, ne pas	Rincer la bouche. Faire



Bleuissement des ongles boire ni fumer pendant le boire beaucoup d'eau.
 ou des lèvres. travail. Se laver les Consulter un médecin.
 Bleuissement de la mains avant de manger.
 peau. Confusion.
 Convulsions. Vertiges.
 Maux de tête. Nausées.
 Perte de conscience.

DEVERSEMENTS & FUITES	STOCKAGE	CONDITIONNEMENT & ETIQUETAGE
-----------------------	----------	------------------------------

Balayer et récupérer la substance répandue dans des récipients en plastique. Laver les résidus abondamment à l'eau.	Séparer des substances combustibles et des réducteurs. Conserver au sec.	R: S: Classe de danger ONU: 5.1 Classe d'emballage ONU: III
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

VOIR IMPORTANTES INFORMATIONS AU DOS

ICSC: 1037 Préparé dans le cadre de la coopération entre le Programme International sur la Sécurité Chimique et la Commission Européenne (C) 1999

6.3.2. Fiche toxicologique de KNO3



NITRATE DE POTASSIUM

ICSC: 0184



Salpêtre
KNO₃
Masse moléculaire: 101.1

N° ICSC : 0184
N° CAS : 7757-79-1
N° RTECS : [TT3700000](#)
N° ONU : 1486
15.10.2001 Revu en réunion

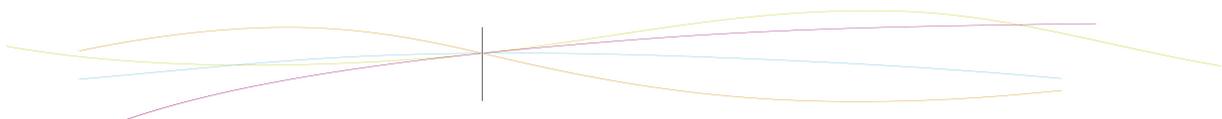


TYPES DE RISQUES/ EXPOSITIONS	RISQUES/ SYMPTOMES AIGUS	PREVENTION	PREMIER SECOURS/ AGENTS D'EXTINCTION
INCENDIE	Non combustible mais favorise la combustion d'autres substances. Emission de fumées (ou de gaz) irritantes ou toxiques lors d'incendie.	PAS de contact avec les combustibles ou les agents réducteurs.	En cas d'incendie à proximité: utiliser les agents d'extinction appropriés.
EXPLOSION	Risques d'incendie et d'explosion au contact des agents réducteurs.		
CONTACT PHYSIQUE		EVITER LA DISPERSION DE POUSSIERE!	
√ ^{FI} INHALATION	Toux. Mal de gorge. Rougeur.	Aspiration locale ou protection respiratoire. Gants de protection.	Air frais, repos. Consulter un médecin. Retirer les vêtements contaminés. Rincer et laver la peau abondamment à l'eau et au savon.
√ ^{FI} PEAU			Rincer d'abord abondamment à l'eau pendant plusieurs minutes (retirer si possible les lentilles de contact), puis consulter un médecin.
√ ^{FI} YEUX	Rougeur. Douleur.	Lunettes de protection fermées.	
√ ^{FI} INGESTION	Douleurs abdominales. Bleuissement des ongles ou des lèvres. Bleuissement de la peau. Vertiges. Respiration difficile. Confusion. Convulsions. Diarrhée. Maux de tête.	Ne pas manger, ne pas boire ni fumer pendant le travail. Se laver les mains avant de manger.	Rincer la bouche. Consulter un médecin.



Nausées. Perte de conscience.		
DEVERSEMENTS & FUITES	STOCKAGE	CONDITIONNEMENT & ETIQUETAGE
Balayer et récupérer la substance répandue dans des récipients en plastique ou en verre. Laver les résidus abondamment à l'eau.	Séparer des substances combustibles et des réducteurs.	R: S: Classe de danger ONU: 5.1 Classe d'emballage ONU: III
VOIR IMPORTANTES INFORMATIONS AU DOS		
ICSC: 0184	Préparé dans le cadre de la coopération entre le Programme International sur la Sécurité Chimique et la Commission Européenne (C) 1999	

6.3.3. Fiche toxicologique de NaNO₃



NITRATE DE SODIUM

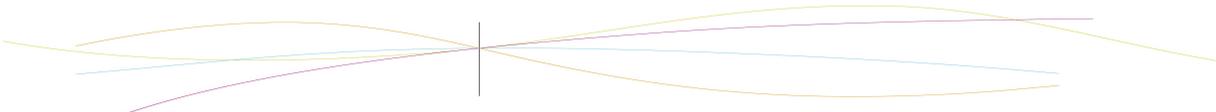
ICSC: 0185



Salpêtre du Chili
 NaNO_3
 Masse moléculaire: 85

N° ICSC : 0185
 N° CAS : 7631-99-4
 N° RTECS : [WC5600000](#)
 N° ONU : 1498
 15.10.2001 Revu en réunion

 DANGERS/EXPOSITIONS	RISQUES/ SYMPTOMES AIGUS	PREVENTION	PREMIER SECOURS/ AGENTS D'EXTINCTION
INCENDIE EXPLOSION	Non combustible mais favorise la combustion d'autres substances. Emission de fumées (ou de gaz) irritantes ou toxiques lors d'incendie. Risques d'incendie et d'explosion au contact des agents réducteurs.	PAS de contact avec les combustibles et les agents réducteurs.	En cas d'incendie à proximité: utiliser les agents d'extinction appropriés.
CONTACT PHYSIQUE √ ⁺ INHALATION √ ⁺ PEAU √ ⁺ YEUX √ ⁺ INGESTION	Toux. Mal de gorge. Rougeur. Rougeur. Douleur. Douleurs abdominales. Bleuissement des ongles ou des lèvres. Bleuissement de la peau. Convulsions. Diarrhée. Vertiges. Maux de tête. Respiration difficile. Confusion. Nausées. Perte de conscience.	EVITER LA DISPERSION DE POUSSIERE! Aspiration locale ou protection respiratoire. Gants de protection. Lunettes de protection fermées. Ne pas manger, ne pas boire ni fumer pendant le travail. Se laver les mains avant de manger.	Air frais, repos. Consulter un médecin. Rincer d'abord abondamment à l'eau, puis retirer les vêtements contaminés, et rincer de nouveau. Rincer d'abord abondamment à l'eau pendant plusieurs minutes (retirer si possible les lentilles de contact), puis consulter un médecin. Rincer la bouche. Consulter un médecin.
DEVERSEMENTS & FUITES	STOCKAGE	CONDITIONNEMENT & ETIQUETAGE	



Balayer et récupérer la substance répandue dans des récipients en plastique ou en verre. Laver les résidus abondamment à l'eau.

Séparer des substances combustibles et des réducteurs. Conserver au sec.

R:
S:
Classe de danger ONU: 5.1
Classe d'emballage ONU: III

VOIR IMPORTANTES INFORMATIONS AU DOS

ICSC: 0185

Préparé dans le cadre de la coopération entre le Programme International sur la Sécurité Chimique et la Commission Européenne (C) 1999

6.3.4. Fiche toxicologique de l'éthanol

ETHANOL (ANHYDRE)

ICSC: 0044






Ethyl alcohol
CH₃CH₂OH / C₂H₆O
Masse moléculaire: 46.1

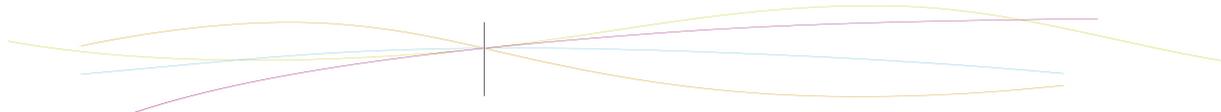


N°	ICSC	:	0044
N°	CAS	:	64-17-5
N°	RTECS	:	KQ6300000
N°	ONU	:	1170
N°	CE	:	603-002-00-5

02.10.2000 Revu en réunion



TYPES DE RISQUES/ EXPOSITIONS	RISQUES/ SYMPTOMES AIGUS	PREVENTION	PREMIER SECOURS/ AGENTS D'EXTINCTION
INCENDIE	Très inflammable.	PAS de flammes nues, PAS d'étincelles et interdiction de fumer. PAS de contact avec les agents oxydants forts.	Poudre, mousse résistant aux alcools, eau en grande quantité, dioxyde de carbone.
EXPLOSION	Les mélanges air/vapeur sont explosifs.	Système en vase clos, ventilation, équipement électrique et éclairage protégés contre les explosions. NE PAS employer d'air comprimé	En cas d'incendie: maintenir les fûts, etc., à basse température en les arrosant d'eau.



		pour remplir, vider ou manipuler.	
CONTACT PHYSIQUE			
• INHALATION	Toux. Maux de tête. Fatigue. Somnolence.	Ventilation, aspiration locale ou protection respiratoire.	Air frais, repos.
• PEAU	Peau sèche.	Gants de protection.	Retirer les vêtements contaminés. Rincer et laver la peau abondamment à l'eau et au savon.
• YEUX	Rougeur. Douleur. Brûlures.	Lunettes de protection fermées.	Rincer d'abord abondamment à l'eau pendant plusieurs minutes (retirer si possible les lentilles de contact), puis consulter un médecin.
• INGESTION	Sensation de brûlure. Maux de tête. Confusion. Vertiges. Perte de conscience.	Ne pas manger, ne pas boire ni fumer pendant le travail.	Rincer la bouche. Consulter un médecin.
DEVERSEMENTS & FUITES	STOCKAGE	CONDITIONNEMENT & ETIQUETAGE	
Ventilation. Ecarter toute source d'ignition. Recueillir le liquide répandu autant que possible dans des récipients hermétiques. Laver abondamment à l'eau les résidus.	A l'épreuve du feu. Séparer des oxydants forts.	Symbole F R: 11 S: 2-7-16 Classe de danger ONU: 3	
VOIR IMPORTANTES INFORMATIONS AU DOS			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 20%;"> <p>ICSC: 0044</p> </div> <div style="width: 60%;"> <p>Préparé dans le cadre de la coopération entre le Programme International sur la Sécurité Chimique et la Commission Européenne (C) 1999</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: right;">  </div> </div>			

