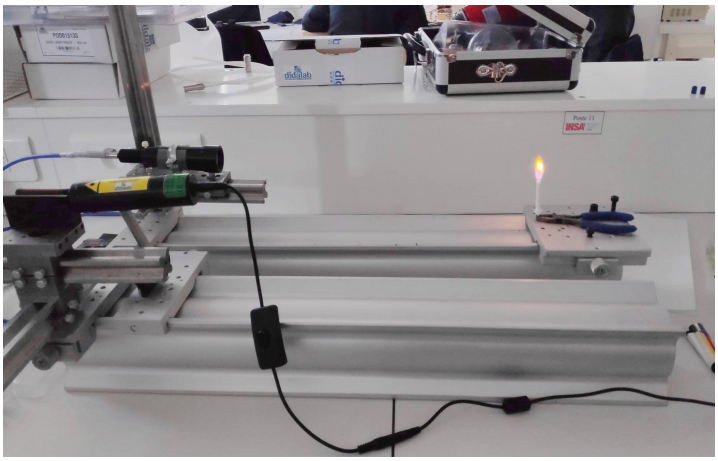
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES ROUEN NORMANDIE

Projet de Physique P6
STPI/P6/2019 - 015

Spectroscopie d'émission de flamme : effet de la composition du combustible



Étudiants :
BENTAYEB Leïla
CIPRIANO Mathieu
CHEVRIER Florine
DONG Kangjia
LEMAZURIER Valentin
RINALDI Ugo

Enseignant-responsable du projet :
HONORÉ David

Date de remise du rapport : 17/06/2019

Référence du projet : STPI/P6/2019 – 015

Intitulé du projet : Spectroscopie d'émission de flamme : effet de la composition du combustible

Type de projet : Bibliographie et Expériences

Objectifs du projet :

- Comprendre les mécanismes de la combustion ;
- Réaliser un montage optique à l'aide d'un spectrographe ;
- Analyser le spectre d'une flamme à l'aide d'un spectrographe ;
- Comprendre la différence entre flamme de prémélange et flamme de diffusion ;
- Déterminer la composition des réactifs responsables des propriétés d'une flamme :
  - La flamme d'un brûleur ;
  - Les flammes colorées.

Mots-clés du projet : Spectroscopie, Émission de flamme, Combustion

Institut National des Sciences Appliquées de Rouen
Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur
685 Avenue de l'Université BP 08 - 76801 Saint-Étienne-du-Rouvray
Tél : +33 2 32 95 66 21 - Fax : +33 2 32 95 66 31

Table des matières

Notations et Acronymes **3**

Introduction **4**

Organisation du travail **5**

A Description des réactions de combustion **6**
A.1 Qu'est-ce qu'une flamme ? . . . 6
A.2 Qu'est-ce qu'une réaction d'oxydo-réduction ? . . . 6
A.3 Quels sont les comburants et combustibles les plus utilisés ? . . . 7

B Application de la spectroscopie et montage optique **8**
B.1 Qu'est ce que la spectroscopie ? . . . 8
B.1.1 Histoire de la spectroscopie . . . 8
B.1.2 Principe de la spectroscopie . . . 8
B.1.3 Comparaison des spectroscopes . . . 9
B.2 Explication du montage optique . . . 10
B.2.1 Matériel/Protocole . . . 10
B.2.2 Intérêt d'utiliser la fibre optique (principe inverse de la lumière) . . . 11
B.2.3 Acquisition et traitement informatique des données (analogique $\Longrightarrow$ numérique) . . . 11
B.3 Caractéristiques des flammes de prémélange et de diffusion . . . 11
B.3.1 Expérience : flamme de prémélange et flamme de diffusion . . . 11
B.3.2 Brûleur, effet venturi, flamme de diffusion pré-mélange . . . 12
B.3.3 Interprétation des résultats (composition de la flamme) en fonction de la hauteur d'acquisition . . . 13

C Analyse spectrale et détermination des espèces chimiques responsables des propriétés des flammes **15**
C.1 Brûleur alcool . . . 15
C.2 Flamme de diffusion . . . 16
C.3 Flamme de prémélange . . . 16
C.3.1 Etude sur différentes positions . . . 16
C.3.2 Comparaison de spectres obtenus avec les fibres RedTide USB650 et Maya2000 Pro . . . 17
C.4 Flammes colorées . . . 17
C.4.1 Flamme bleue . . . 17
C.4.2 Flamme orange . . . 18
C.4.3 Flamme rouge . . . 18
C.4.4 Flamme verte sans suies . . . 19

Conclusion et perspectives **20**

Bibliographie **21**

Annexes **22**

Notations et Acronymes

Introduction

Cadre du projet P6

Dans le cadre de notre formation STPI à l'INSA Rouen Normandie, nous avons réalisé différents projets dans les domaines liés à l'Ingénierie. Ainsi, le projet physique proposé au cours du Semestre 4 s'inscrit dans la continuité de notre cursus ingénieur et a pour but de nous familiariser avec la conduite de projets en groupe. En effet, ce projet nous a initié aux divers points suivants :

- ◇ Organiser le temps de travail à l'aide d'un nouvel outil : le diagramme de GANTT ;
- ◇ Diviser le travail entre les 6 membres du groupe de manière efficace et équilibrée ;
- ◇ Réaliser des recherches bibliographiques autour d'un thème donné ;
- ◇ Déterminer des protocoles expérimentaux et analyser les résultats.

Notre projet a été encadré par David Honoré, enseignant-chercheur à l'INSA et au laboratoire CORIA.

Contexte du sujet

Tout d'abord, il convient de définir la spectroscopie. "La spectroscopie est la science qui traite des interactions de différents types de rayonnement avec la matière."[1]

C'est par ce procédé que nous allons étudier le spectre d'émission des différentes flammes produites au cours du projet.

Les objectifs de ce projet sont donc multiples :

- ◦ Comprendre les mécanismes de la combustion ;
- ◦ Réaliser un montage optique à l'aide d'un spectrographe ;
- ◦ Analyser le spectre d'une flamme à l'aide d'un spectrographe ;
- ◦ Comprendre la différence entre flamme de prémélange et flamme de diffusion ;
- ◦ Déterminer la composition des réactifs responsables des propriétés d'une flamme :
  - ◇ La flamme d'un brûleur ;
  - ◇ Les flammes colorées.

Organisation du travail

L'organisation de notre travail s'est effectuée selon trois composantes.

Dans un premier temps, nous avons mis en place un plan d'action afin de déterminer quels sont les objectifs de ce projet.

Nous avons ensuite réalisé un planning prévisionnel de la répartition du travail à l'aide d'un diagramme de GANTT. Ce diagramme a évolué au cours de nos recherches afin de s'adapter aux besoins et spécificités du projet.

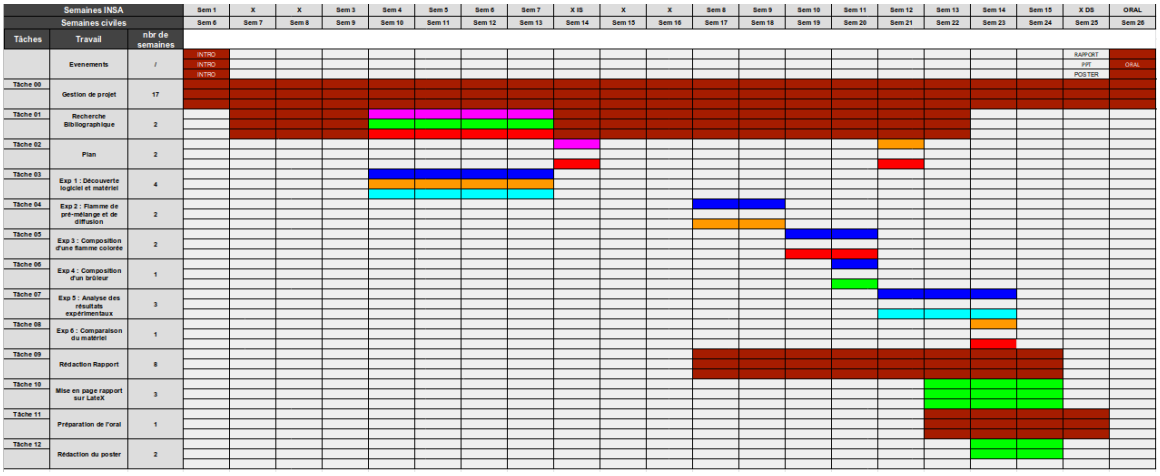


FIGURE 1 – Diagramme de GANTT (En annexe)

Pour des raisons de santé, un de nos membres n'a pas été en mesure d'achever le projet. Nous avons donc réorganisé notre planning en cours de projet afin de répartir au mieux la charge de travail.

En outre, nous avons utilisé un drive google afin de mettre en commun l'avancé de nos recherches.

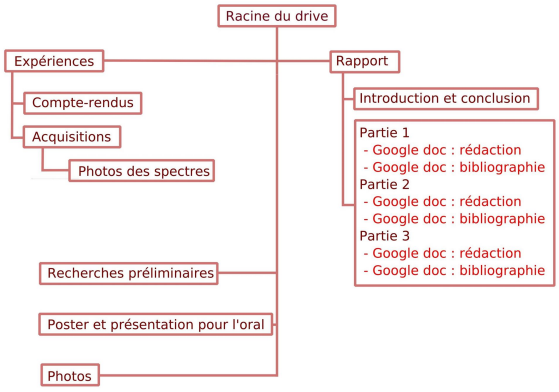


FIGURE 2 – Arborescence du Drive

A Description des réactions de combustion

A.1 Qu'est-ce qu'une flamme ?

Tout d'abord, la flamme est la résultante d'une réaction de combustion. Elle représente une zone du "milieu gazeux où se produit la transformation chimique de gaz combustible et de gaz comburant en gaz brûlés."[2]

Nous nous intéresserons donc ici aux réactions de combustions "vives" se produisant dans une flamme, par opposition aux combustions lentes qui sont des oxydation lentes d'un corps sans dégagement appréciable de chaleur.[3]

La combustion "vive" est donc en réalité une réaction d'oxydo-réduction se produisant dans une flamme rapide et dégageant de la chaleur. Généralement, elle émet aussi de la lumière.

A.2 Qu'est-ce qu'une réaction d'oxydo-réduction ?

Une réaction d'oxydo-réduction est une réaction dans laquelle se produit un échange d'électrons entre les réactifs. Elle fait toujours intervenir l'oxydant d'un couple oxydo-réducteur ainsi que le réducteur d'un autre couple.[4][5]

Une espèce chimique est un oxydant si elle capte les électrons et un réducteur si elle cède les électrons.

Ainsi, nous pouvons résumer les réactions de combustion par :

$$comburant + combustible \implies produits + chaleur$$

où le comburant est l'oxydant et le combustible, le réducteur.

En outre, nous en venons à la notion de tétraèdre du feu.[6] En effet, ce diagramme représente les quatre éléments nécessaires à la réaction de combustion, à savoir :

- un comburant ;
- un combustible ;
- un dégagement de chaleur ou énergie d'activation ;
- la création de radicaux hautement instables.

C'est la désexcitation de ces radicaux qui produit, lorsqu'ils retournent à des niveaux d'énergie plus faibles, un photon caractéristique des espèces chimiques en présence. Si la longueur d'onde de ce photon correspond au domaine du visible, il nous est alors possible de voir la flamme à l'oeil nu.[7]

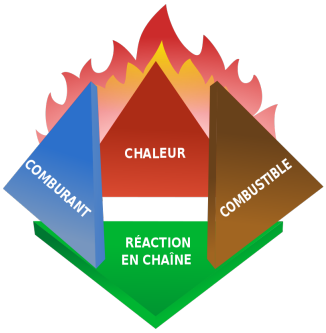


FIGURE A.1 – Tétraèdre du feu

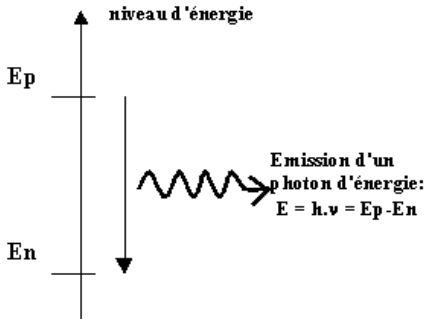


FIGURE A.2 – Diagramme d'énergie d'un électron[8]

A.3 Quels sont les comburants et combustibles les plus utilisés ?

Comburants Le comburant est la plupart du temps l'air qui contient de l'oxygène jouant le rôle de l'oxydant. Il existe d'autres comburants tels que l'ozone, l'acide nitrique ou encore les nitrates comme le nitrate de potassium ou le nitrite de sodium.

Combustibles Les combustibles peuvent être de diverses formes : solide, liquide ou gazeux. On peut par exemple citer : le charbon, les hydrocarbures liquides ou gazeux ainsi que les alcools.

B Application de la spectroscopie et montage optique

B.1 Qu'est ce que la spectroscopie ?

B.1.1 Histoire de la spectroscopie

La spectroscopie a été fondée par Isaac Newton en 1666. En éclairant un prisme avec de la lumière blanche, il se rend compte qu'après déviation, la lumière blanche se décompose en différentes couleurs. C'est le phénomène de réfraction. Il en déduit donc que la lumière blanche est composée des couleurs de l'arc-en-ciel et que le prisme permet de les séparer. Afin d'affiner l'expérience, il crée un trou d'entrée pour le prisme et met en place un dispositif de focalisation. Il invente ainsi le premier spectroscope.

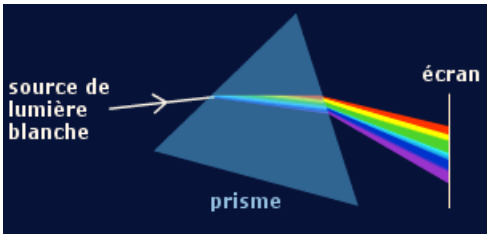


FIGURE B.1 – Réfraction de la lumière blanche à travers un prisme

Par la suite, les différents dispositifs de réfraction de lumière ont été améliorés, permettant ainsi d'obtenir un étalement plus significatif et plus précis du spectre lumineux sur un écran d'observation. Récemment, avec l'invention des systèmes numériques et informatiques, la lumière captée est traitée automatiquement par des logiciels, permettant ainsi une analyse très précise des spectres d'émission.

B.1.2 Principe de la spectroscopie

Lors d'une réaction de combustion rapide, les espèces chimiques du carburant réagissent avec celles du comburant. Durant cette réaction chimique, les espèces sont excitées et passent par un état intermédiaire instable, que l'on appelle "radical". En effet, à cause de l'énergie thermique de combustion, les électrons présents sur les espèces impliquées dans la réaction sont excités et se situent alors temporairement sur des couches d'énergie élevée. C'est durant cet instant très court que les espèces chimiques sont des radicaux. Cet état étant très instable, les radicaux libèrent une énergie photoélectrique afin de revenir à un état énergétique plus stable.

L'onde électromagnétique du photon émis est ainsi captée par le spectroscope.

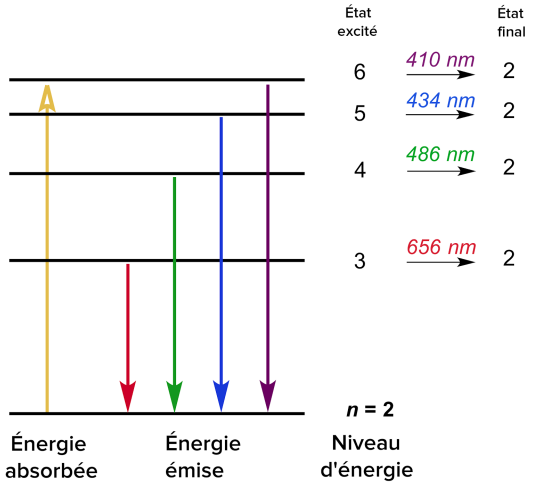


FIGURE B.2 – Énergie photoélectrique libérée par le changement d'état d'un électron

Lorsque la lumière entre dans le spectroscope, celle-ci va alors être réfléchie successivement sur un réseau de miroirs concaves. Grâce à la courbure de ces-derniers, la réflexion de la lumière s'effectue différemment selon les longueurs d'ondes qui composent la lumière entrante, offrant ainsi un étalement du spectre lumineux plus important.

Suite à ce système optique, la lumière est alors distinctement séparée selon ses longueurs d'ondes caractéristiques et peut ainsi être captée par des capteurs. Ceux-ci perçoivent l'énergie électrique de l'onde (grâce à l'effet photoélectrique) et peuvent ainsi, grâce à un logiciel de traitement informatique, interpréter les différentes longueurs d'ondes émises par la flamme.

B.1.3 Comparaison des spectroscopes

Pour pouvoir réaliser nos premières manipulations nous avions à disposition deux spectroscopes :

FIGURE B.3 – Spectroscope Maya2000 Pro

FIGURE B.4 – Spectroscope Red Tide USB650

Nous avons alors choisi de réaliser deux premières acquisitions avec les deux spectroscopes (nous expliquerons le montage optique par la suite). Pour pouvoir les comparer de la manière la plus objective, nous avons gardé les mêmes conditions expérimentales. Nous obtenons alors les spectres d'émission superposés suivants :

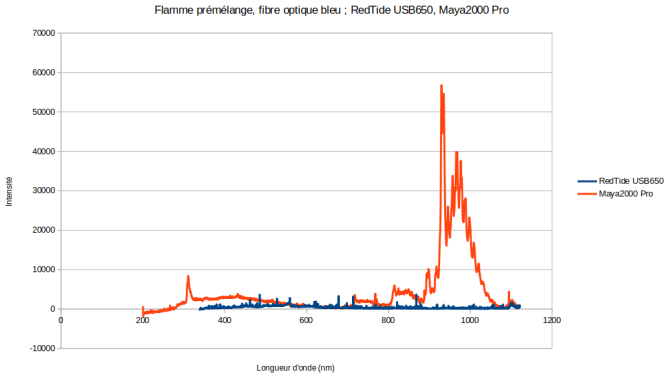


FIGURE B.5 – Énergie photoélectrique libérée par le changement d'état d'un électron

On observe alors que, malgré un temps d'acquisition très long pour le spectrographe "Red Tide" par rapport à celui du "Maya2000 Pro", la précision et la netteté du second spectroscope est bien meilleure que celle du premier. En effet cette différence s'explique par les caractérististiques techniques des deux différents modèles que nous avons ainsi listé dans le tableau suivant :

[9][10]	RedTide USB650	Maya2000 Pro
Résolution	12 bits	16 bits
Durée d'acquisition	15 secondes	1300-2000 ms
Pixels actifs	650	131 072
Plage de longueur d'onde	350-1000nm	200-1100 nm
Domaine de longueur d'onde	Visible et IR	UV, visible, IR

En procédant d'abord à une étude bibliographique, nous nous sommes ainsi aperçu de la nette supériorité du Maya2000 pro, ce que nous avons pu confirmer expérimentalement, le Maya2000 pro étant plus précis et offrant une plage de longueur d'onde plus large. La durée d'acquisition est aussi beaucoup plus courte.

Nous avons donc décidé d'utiliser le spectroscope "Maya2000 Pro" pour effectuer nos manipulations afin de conserver les mesures les plus précises.

B.2 Explication du montage optique

B.2.1 Matériel/Protocole

Afin d'étudier la composition d'une flamme à l'aide d'un spectrophotomètre, nous avons élaboré le dispositif suivant :

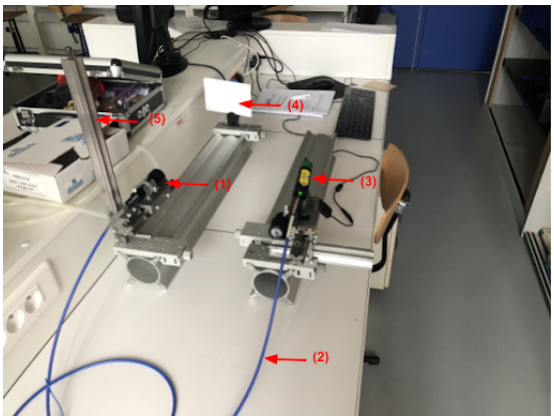


FIGURE B.6 – Dispositif

Descriptif : Ce dispositif expérimental est composé d'une lentille convergente (1), d'une fibre optique (2), d'un laser (3), d'un écran gradué avec du papier millimétré (4) et d'un mécanisme de rails (5).

Il a pour but de déterminer la distance optimale entre la flamme et la lentille convergente. Pour ce faire, nous utilisons le principe du chemin inverse de la lumière. En effet, à l'aide d'un laser nous projetons un faisceau lumineux vers une fibre optique qui est elle-même reliée à une seconde lentille convergente. Le faisceau lumineux est donc visible sous forme de tâche sur l'écran placé à une distance variable de la seconde lentille.

Ainsi, on a pu, dans un premier temps, observer que lorsque l'on éloignait l'écran de la lentille, la tâche grossissait très légèrement (de l'ordre de quelques millimètres).

Or, pour que le dispositif soit idéal, la lentille doit capter le maximum de lumière émise par la flamme. Autrement dit, nous avons du régler le plan focal image de la lentille reliée à la fibre optique afin d'obtenir une tâche rétrécissante lorsque l'on augmente la distance écran-lentille.

En ajustant cette configuration, nous avons donc pu trouver la distance optimale, correspondant au diamètre le plus faible de la tâche.

Nous avons donc conservé les paramètres de ce dispositif expérimental, c'est-à-dire une distance lentille-flamme égale à environ 54 cm. Pour la distance focale de la lentille, nous avons créé une marque avec un feutre sur la roulette d'ajustement afin de préserver cette configuration.

C'est à l'aide de ce dispositif que nous avons ainsi effectué nos prochaines manipulations afin d'étudier les spectres des flammes.

B.2.2 Intérêt d'utiliser la fibre optique (principe inverse de la lumière)

La fibre optique représente l'intermédiaire entre la table d'acquisition et la lentille. Elle capte le signal optique pour le transférer à la table d'acquisition. Elle agit comme un transmetteur quasi-parfait de la lumière avec une déperdition très faible de signal lumineux (néanmoins, ce-dernier point dépend de la qualité de la fibre).

B.2.3 Acquisition et traitement informatique des données (analogique $\Longrightarrow$ numérique)

Dans cette section, nous allons chercher à décrire le protocole d'acquisition et de traitement des données informatiques.

On lance l'acquisition. Une fois le signal optique capté par la fibre optique, celui-ci est traité analogiquement puis numériquement grâce au logiciel OceanView. On obtient ainsi le spectre d'émission de la flamme à étudier.

Nous avons donc dû nous familiariser avec le logiciel.

Ce-dernier est capable de transformer un signal optique (analogique) en un signal numérique, qui se traduit par le spectre d'émission de la flamme. Ce spectre est modélisé par un graphique où l'intensité lumineuse est représentée en fonction de la longueur d'onde.

Les motifs du spectre sont enregistrés entre 200 et 1000 nm, ce qui nous permet aussi bien d'étudier les émissions de flammes dans la plage du visible (environ 400 à 800 nm) que dans l'infrarouge ou l'ultraviolet.

Nous pouvons ajouter que OceanView détecte des signaux venant de toutes sources (lumière naturelle, bruit sur le signal. . .) sur lesquelles nous auront l'occasion de nous attarder par la suite.

Il est donc préférable de "faire le vide" afin que ces effets extérieurs n'influent pas sur le résultat qui nous intéresse. Ceci est permis par la Fonction "Minus Background", qui permet de distinguer la pollution lumineuse de l'émission lumineuse de la flamme.

B.3 Caractéristiques des flammes de prémélange et de diffusion

B.3.1 Expérience : flamme de prémélange et flamme de diffusion

Après avoir réalisé le montage optique et en s'assurant de son bon fonctionnement, nous avons procédé à deux premières expériences.

Tout d'abord, nous nous sommes intéressés à l'analyse spectrale d'une flamme de prémélange issue d'un brûleur (le brûleur est un dispositif technologique permettant la combustion). Ce type de flamme est caractérisé par un mélange entre le comburant et le combustible avant la combustion. Dans notre cas, l'air fait office de comburant et en ayant une entrée à la base même du brûleur, le mélange s'effectue en amont de la combustion qui elle se fait dans la flamme. Le type de flamme obtenu est représenté ci dessous :

FIGURE B.7 – Photo d'une flamme de prémélange

On observe alors que la flamme est de couleur très bleutée et que la partie jaune/orangée est très faible.

Nous avons ensuite procédé à une analyse spectrale à l'aide du logiciel OceanView. Puisque la flamme n'est pas parfaitement homogène (la couleur diffère selon la hauteur de la flamme) nous nous sommes intéressés aux différents niveaux de flammes. Autrement dit, nous avons réalisé plusieurs acquisitions à différentes hauteurs de flamme. Concernant la base de la flamme nous avons réalisé une première analyse à la base du brûleur.

Puis nous avons continué en remontant par paliers de quelques millimètres jusqu'à l'analyse de la pointe de la flamme.

Une fois ces manipulations réalisées, nous avons réitéré le procédé en s'intéressant cette fois-ci à un autre type de flamme, celle de diffusion.

La différence ici réside dans le mélange entre le combustible et le comburant puisqu'ici le mélange n'est pas effectué en amont de la combustion mais pendant la combustion, les mécanismes de combustion et de mélange sont alors simultanés. La différence visuelle est alors assez importante, la flamme de diffusion tend à être plus longue (à flux de combustible identique) que la flamme de prémélange. De même, la couleur diffère d'une flamme à l'autre puisqu'ici, la flamme est davantage orangée et présente une base bleutée beaucoup plus faible par rapport à la flamme de prémélange.

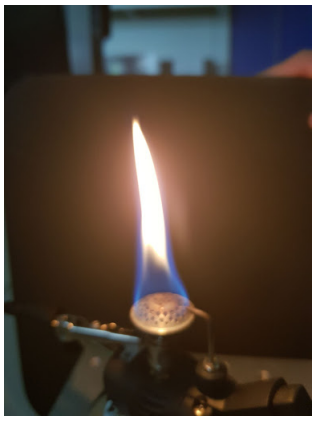


FIGURE B.8 – Photo d'une flamme de diffusion

B.3.2 Brûleur, effet venturi, flamme de diffusion pré-mélange

FIGURE B.9 – Brûleur

Pour pouvoir réaliser ce type d'expérience, nous avons eu besoin d'un brûleur avec une ouverture pour permettre l'entrée du comburant (ici l'air) et ainsi réaliser le prémélange.

Grâce à la pince, nous pouvons régler l'entrée d'air dans la chambre de prémélange tout en maintenant constante l'entrée du combustible. Ainsi, la différence de flamme s'explique en grande partie grâce à l'effet Venturi.

En effet, lorsque le brûleur est disposé de manière à pouvoir laisser entrer le comburant (configuration d'une flamme de prémélange), le fluide représenté par le combustible est alors accéléré en dehors de son réservoir et c'est cette accélération qui est responsable d'une dépression locale. L'air environnant (qui joue le rôle de comburant) est alors introduit dans la chambre de combustion grâce à la différence de pression entre le combustible sortant et l'atmosphère.

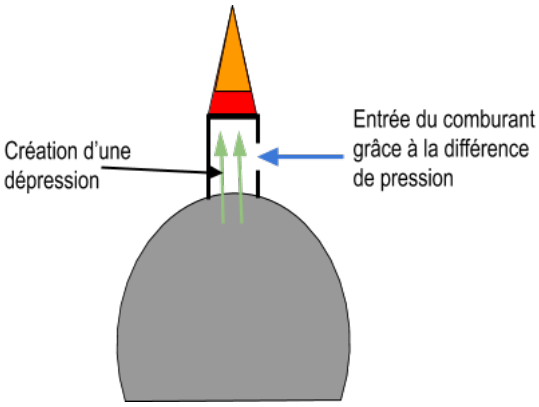


FIGURE B.10 – Schéma représentatif de l'effet Venturi dans un brûleur

C'est ce principe physique qui explique, de même, la différence de forme entre ces deux types de flammes. Dans le cas d'une flamme de diffusion, l'air n'est pas préalablement mélangé au combustible, le débit de combustible sortant est alors relativement faible, d'où l'instabilité de la flamme et sa hauteur. Dans le cas d'une flamme de prémélange, le mélange entre l'air et le combustible s'effectue en amont de la combustion, le débit du mélange sortant est alors plus important (car accéléré par le comburant) donnant ainsi une flamme plus basse et plus stable.

B.3.3 Interprétation des résultats (composition de la flamme) en fonction de la hauteur d'acquisition

Pour une flamme, peu importe le type de cette-dernière, l'analyse du spectre d'émission dépend de la hauteur d'acquisition. Par exemple, lorsque l'on vise la base de la flamme (à 0 mm), les spectres obtenus pour les deux types de flammes sont ceux-ci :

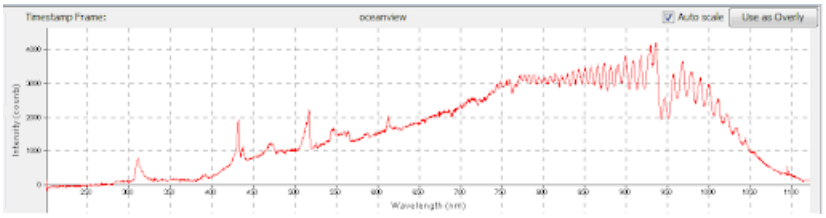


FIGURE B.11 – Spectre d'émission à 0 mm d'une flamme de diffusion, acquisition de 10000 microsecondes

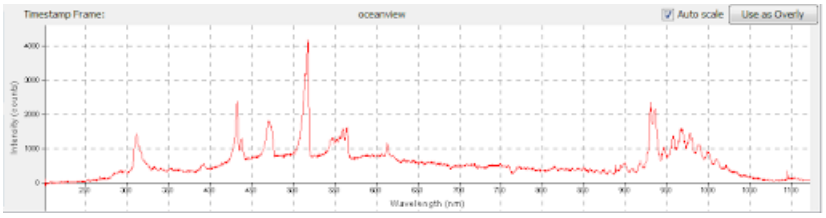


FIGURE B.12 – Spectre d'émission à 0 mm d'une flamme de prémélange, acquisition de 10000 mecrosecondes

Dans le cas d'une flamme de diffusion, on observe des raies caractéristiques de la composition du combustible [1] (pour des longueurs d'ondes relativement faibles, de 250 à 700 nm), pour les longueurs d'ondes plus élevées (de 750 à 1100 nm), on observe une multitude de raies, qui sont caractéristiques des suies.

Dans l'autre cas, les pics d'émissions sont situés aux mêmes longueurs d'ondes mais sont plus marqués pour une flamme de prémélange que pour une flamme de diffusion. Enfin, toujours d'après le spectre d'émission, les suies sont moins prononcées chez une flamme de prémélange que pour l'autre type de flamme.

1. Les espèces chimiques en présence seront détaillées dans la partie III.

Un autre paramètre influence grandement l'analyse spectrale, il s'agit de la hauteur d'acquisition. En effet, on observe une variation de couleur en remontant la flamme, on s'attend donc à observer une évolution du spectre d'émission.

Nous nous sommes donc intéressé à l'analyse de la pointe des différentes flammes. Les spectres obtenues sont les suivants :

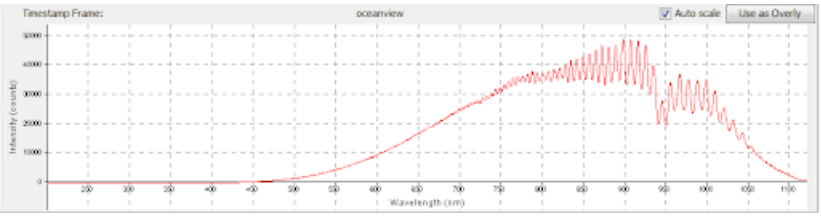


FIGURE B.13 – Photo Spectre d'émission à 80 mm d'une flamme de diffusion, acquisition de 9000 microsecondes

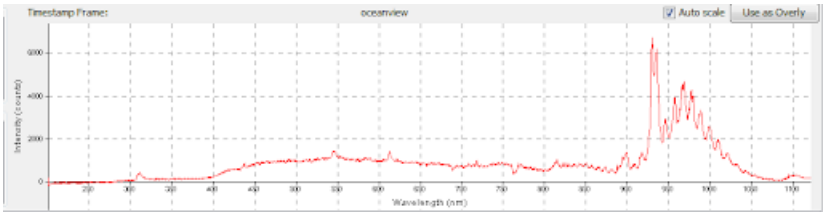


FIGURE B.14 – Spectre d'émission à 40 mm d'une flamme de prémélange, acquisition de 10000 microsecondes

Ici, on remarque que pour une flamme de diffusion, la pointe de cette dernière est composée uniquement de suies (caractérisées par une courbe d'émission périodique pour des longueurs d'ondes élevées), les pics visibles sur la base de la flamme (pour des longueurs d'ondes faibles) ont alors disparus. Pour la flamme de prémélange, les suies se sont intensifiées (mais demeurent plus faibles par rapport à une flamme de prémélange) et les pics d'émissions caractéristiques de la flamme sont atténués.

C Analyse spectrale et détermination des espèces chimiques responsables des propriétés des flammes

Dans cette partie, nous allons approfondir l'analyse de différents spectres de flammes :

◦ spectres d'émission du brûleur dans différentes positions ;

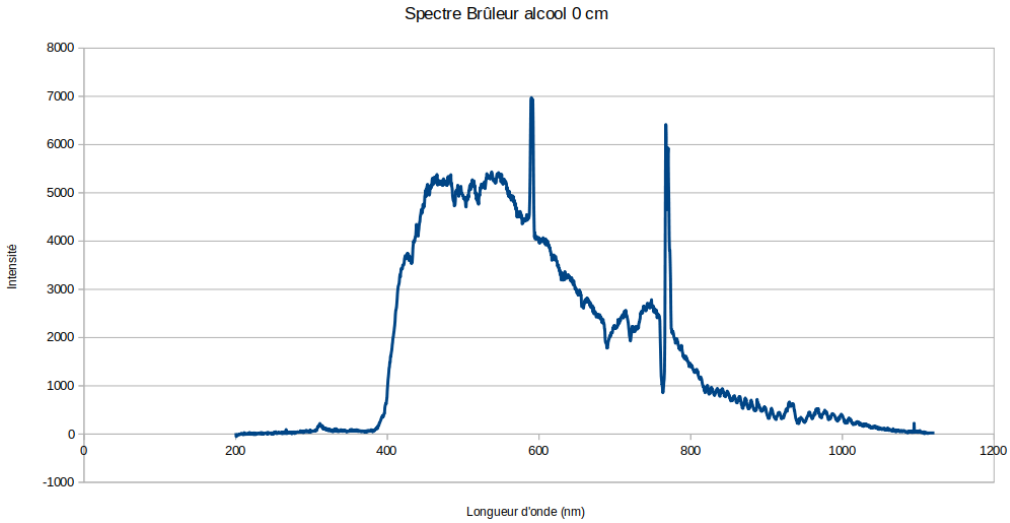
◦ spectres de flammes de prémélange et de diffusion ;

◦ spectres de flamme colorées de bougies pour déterminer le(s) produit(s) ajouté(s) à la flamme pour lui donner sa couleur.

Le but est d'identifier des éléments, groupements et liaisons chimiques contenus dans la flamme grâce aux longueurs d'onde caractéristiques des pics du spectre. Grâce à un tableur Excel, nous avons pu regrouper l'ensemble des données recueillies par le logiciel pour pouvoir ensuite les représenter graphiquement et les analyser.

C.1 Brûleur alcool

Nous avons voulu connaître la composition chimique d'un brûleur alcool inconnu et avons réalisé le spectre suivant (2 autres spectres sont joints en annexe) :

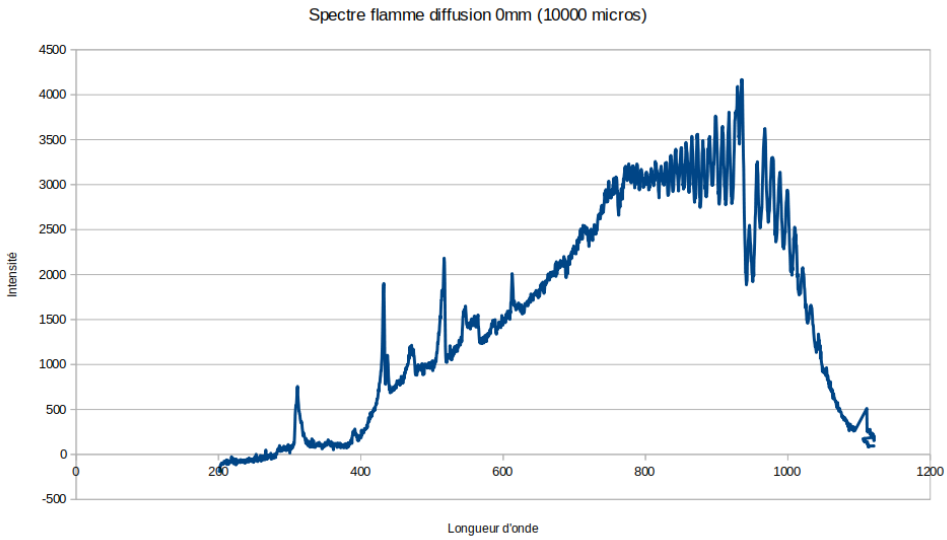


Sur les 3 positions du brûleur on observe deux pics récurrents aux longueurs d'onde 590 nm et 765 nm, d'intensité beaucoup moins forte pour le brûleur à 0 cm que pour les deux autres. On peut donc en déduire la présence de Sodium (Na) et de Potassium (K) dans le brûleur conformément à ces pics. On remarque que les deux espèces ont des propriétés similaires car elles se suivent dans la même colonne du tableau périodique.

Il s'agit sûrement d'un mélange contenant par exemple du nitrate de potassium qui est un très bon comburant. On observe également une vague d'intensité moyenne de 400 nm à 600 nm, correspondant au monoxyde de carbone CO.

C.2 Flamme de diffusion

Nous étudions ici une flamme de diffusion sur 3 positions différentes et 2 durées d'acquisition différentes : [0mm, 10 ms] ; [35mm, 10 ms] (annexe) et [70mm, 9 ms] (annexe).



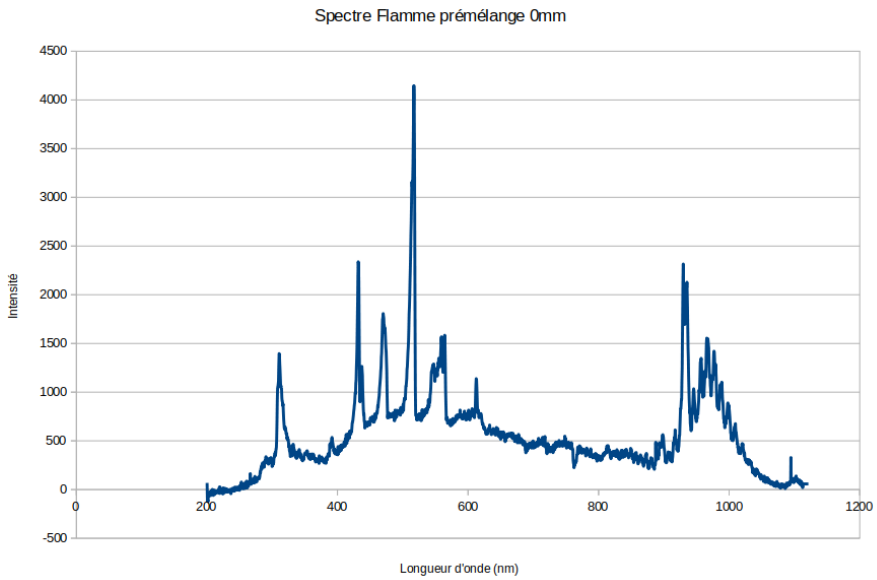
On observe, sur le diagramme de la flamme de diffusion à 0mm, des pics situés aux longueurs d'onde 310 nm, 430 nm et 515 nm. Ils correspondent respectivement aux éléments, OH, CH et C2.

La vague d'intensité observée sur les 3 spectres au-delà de 800 nm, donc dans le domaine des infrarouges, correspond aux suies.

C.3 Flamme de prémélange

C.3.1 Etude sur différentes positions

Nous étudions ici une flamme de diffusion sur 3 positions différentes et 2 temps d'acquisition différents : [0mm, 10 ms] ; [20mm, 10 ms] (annexe) ; [40mm, 9 ms] (annexe).



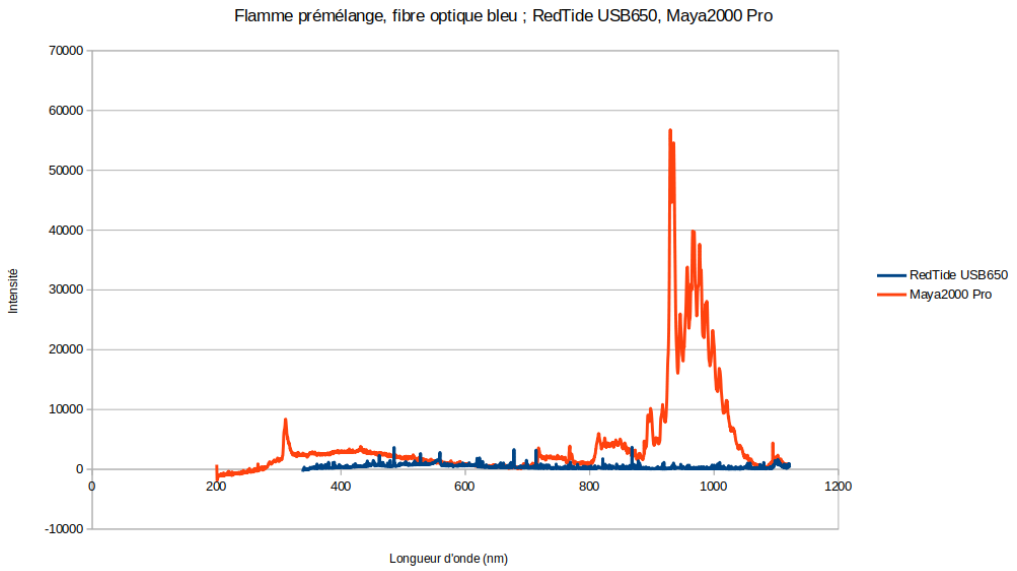
On peut voir sur cette flamme de prémélange à 0mm des pics aux longueurs d'ondes : 310 nm, 430 nm, 515 nm et 555nm. Ainsi grâce aux tables et aux rapports des années précédentes[11][12], nous avons identifié

quelques éléments chimiques qui sont les mêmes que pour la flamme de diffusion : les pics sont à 310 nm, 430 nm et 515 nm et correspondant respectivement aux éléments chimiques OH, CH et C2.

On peut aussi voir la présence de suies dans la flamme, observables à partir de 800 nm.

C.3.2 Comparaison de spectres obtenus avec les fibres RedTide USB650 et Maya2000 Pro

Après avoir précédemment déterminé les caractéristiques de ces deux spectromètres, nous avons analysé une flamme de prémélange avec ces-derniers :



Le spectre de couleur bleue est trop faible pour que l'on détermine à quels éléments correspondent les pics caractéristiques.

On observe cependant un pic d'intensité faible vers 310 nm, un pic de forte intensité vers 930 nm et une vague d'intensité moyenne jusqu'à 1000 nm.

Ces pics correspondent respectivement à la liaison OH et aux suies.

Dans le cadre de cette étude, nous avons également réalisé un spectre avec une fibre défaillante qui se trouve en annexe. Son spectre ne nous révèle que le bruit du signal.

C.4 Flammes colorées

C.4.1 Flamme bleue

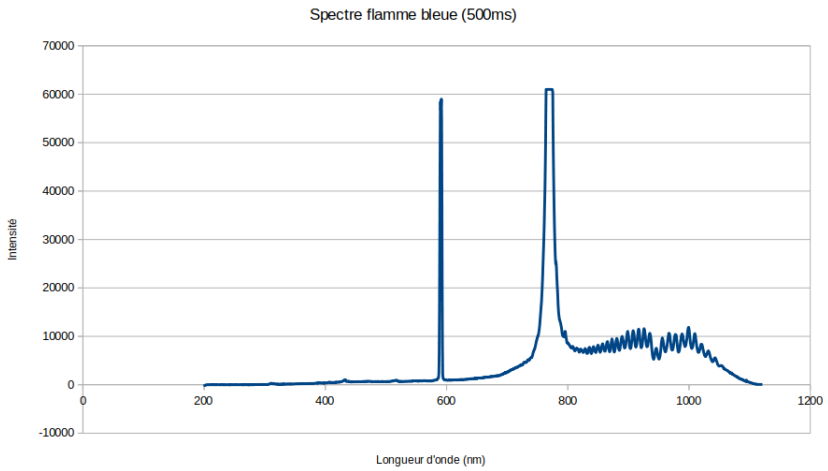


FIGURE C.1 – Spectre flamme bleue 500 mm

On peut voir deux pics aux longueurs d'onde 590 nm et 765 nm qui correspondent respectivement aux espèces Sodium et Potassium. Ainsi on peut dire que l'obtention de la couleur bleue d'une flamme est due au mélange des éléments chimiques Sodium et Potassium.

Or on a vu plus tard que ce mélange donnait aussi la couleur orange, ainsi un autre élément chimique s'ajoute au mélange pour donner la flamme bleue. Malheureusement nous n'avons pas réussi à déterminer lequel.

C.4.2 Flamme orange

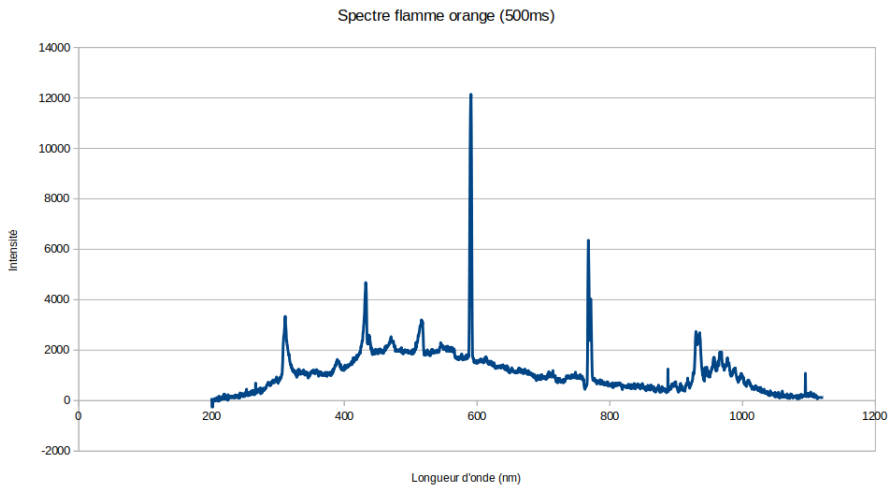


FIGURE C.2 – Spectre flamme orange 500 mm

On peut voir deux pics aux longueurs d'ondes de 590 nm et 765 nm qui correspondent respectivement aux éléments Sodium et Potassium. Cette fois-ci on peut voir que l'intensité du Potassium est pratiquement deux fois plus faible que celle du Sodium. Ainsi la couleur orange est sûrement donnée par le mélange entre le Sodium et le Potassium dans des quantités spécifiques.

On peut noter la présence des éléments OH, CH et C2 (longueurs d'onde 310, 430 et 515 nm) mais qui n'influent pas sur le couleur de la flamme.

C.4.3 Flamme rouge

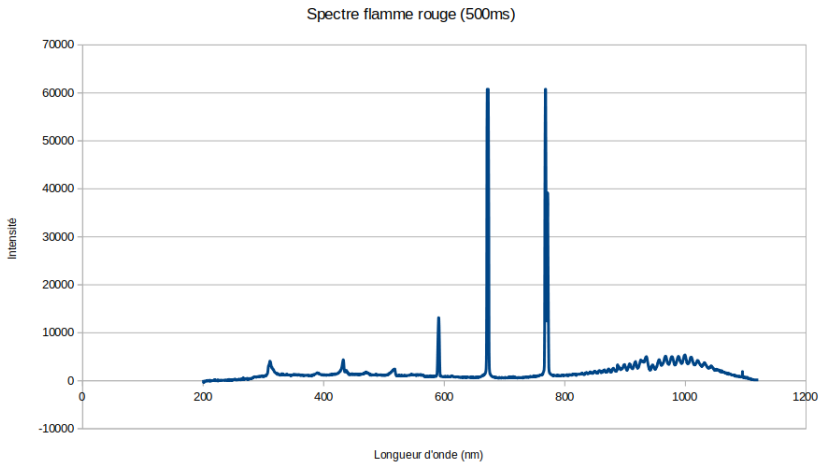


FIGURE C.3 – Spectre flamme rouge 500 mm

Ici on peut voir trois pics à 590 nm, 670 nm et enfin 765 nm qui correspondent respectivement aux éléments Sodium, Lithium et Potassium.

Or le Lithium ayant comme longueur d'onde 670 nm dégage une couleur caractéristique rouge, ce qui correspond à la couleur de la flamme. Ainsi on peut se dire que l'élément qui colore la flamme rouge est donc le Lithium.

C.4.4 Flamme verte sans suies

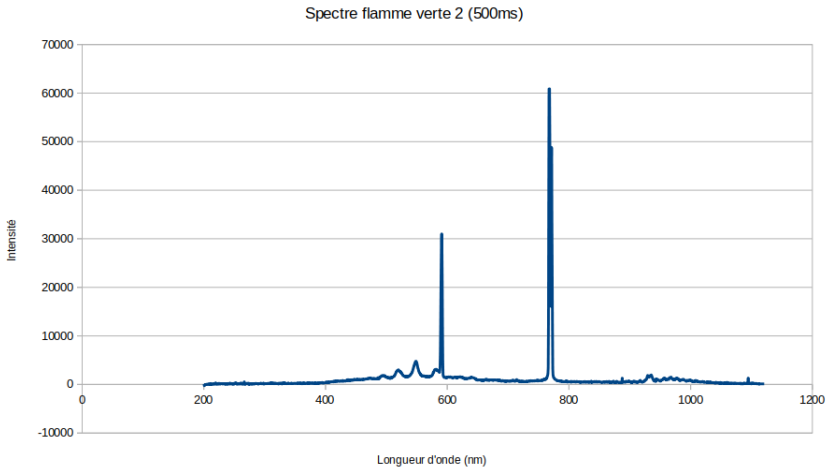


FIGURE C.4 – Spectre flamme verte 500 mm

Nous avons obtenu deux spectres pour la flamme verte, l'un avec suies et l'autre sans suies. Nous nous intéresserons à ce dernier.

Nous avons deux pics à 590 nm et 765 nm qui correspondent aux espèces Sodium et Potassium. Nous avons aussi un très faible pic aux alentours de 540 nm. Ainsi la couleur verte est donnée par le mélange des éléments Sodium et Potassium puis un autre élément chimique que nous avons pas réussi à déterminer.

Conclusion et perspectives

Tout d'abord, ce projet a été l'occasion de comprendre les mécanismes et les acteurs en jeu dans la combustion.

En outre, les résultats obtenus lors de ces expériences nous ont permi d'en apprendre beaucoup plus sur les flammes étudiées. Nous avons directement appliqué les principes de la spectrométrie pour analyser les spectres des flammes et ainsi, déterminer les composés responsables des propriétés de flammes.

Ce projet a été l'occasion de mettre en application des protocoles expérimentaux. Si l'on devait donner quelques chiffres, ce projet représente plus de 30 spectres analysés contenant chacun plus de 2000 valeurs différentes.

Finalement, il a été difficile de trouver une table d'identification des pics caractéristiques fiable. C'est pourquoi, nous avons comparé nos résultats expérimentaux à ceux décrits dans les rapports des projets des années précédentes et portant sur des sujets similaires. L'analyse des spectres fut donc un processus assez long et fastidieux.

Bibliographie

[1] Damià BARCELÓ Marinella FARRÉ, Elena MARTÍNEZ. Spectroscopie et spectrométrie, techniques de détermination de composés organiques dans l'environnement, techniques de l'ingénieur. https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/analyses-dans-l-environnement-methodologies-42382210/techniques-de-determination-de-composes-organiques-dans-l-environnement-p3820/spectroscopie-et-spectrometrie-p3820niv10002.html.

[2] flamme, larousse. https://larousse.fr/encyclopedie/divers/flamme/52374.

[3] O. Bonnefoy. Combustion, ecole nationale supérieure des mines. https://www.emse.fr/~bonnefoy/Public/Combustion-EMSE.pdf.

[4] Yann. Les réactions d'oxydo-réduction. https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/premiere-s/reactions-chimiques/oxydo-reduction.html.

[5] Combustion, larousse. https://larousse.fr/encyclopedie/divers/combustion/35402.

[6] Tpe le feu. http://le-feu-tpe.e-monsite.com/pages/1-le-fonctionnement-du-feu.html.

[7] Communauté Wikipédia. Spectrophotométrie d'émission de flamme. https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrophotom%C3%A9trie_d%27%C3%A9mission_de_flamme.

[8] Emission d'un photon au cours de la désexcitation. http://thierry.col2.free.fr/restreint/exovideo_lycee/index_physique/emission_photon.html.

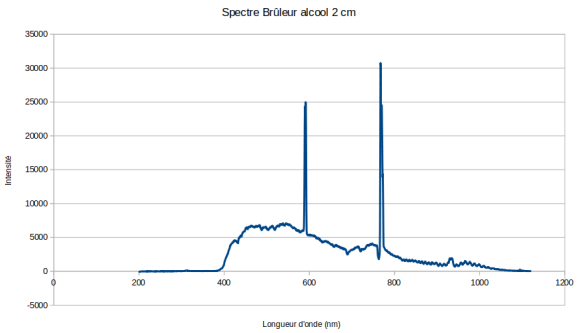
[9] Maya2000prodata sheetfor versions 3.00.1 and above. https://oceanoptics.com/wp-content/uploads/OEM-Data-Sheet-Maya2000Prov3.pdf.

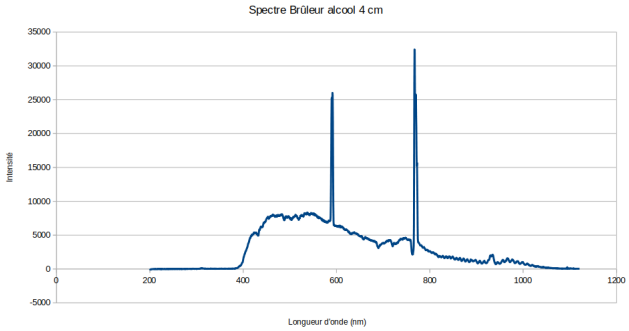
[10] Usb-650 red tide spectrometers. https://oceanoptics.com/product/usb-650-red-tide-spectrometers/.

[11] Angélique HOAREAU ; Audrey MONEGER ; Aurélien NICOLAS ; Ghita FARZOUZ ; Jeanne TRAVERT. Rapport 2012 projet p6 «spectroscopie et imagerie de flamme », stpi/p6-3/2012 – 32.

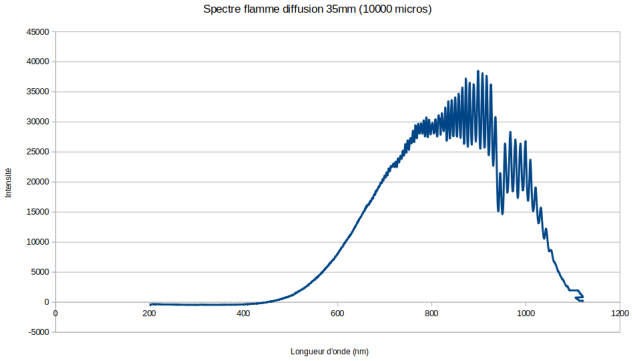
[12] Floris ANDRIESSEN ; Camille LECLERE ; Olga HERRERO ; Yannis MERLET ; Kathleen HUVETTE ; Mirel ZAPCIROIU. Rapport 2011 projet p6 « spectroscopie à émission de flamme pyrotechnique », stpi/p6-3/2011 – 11.

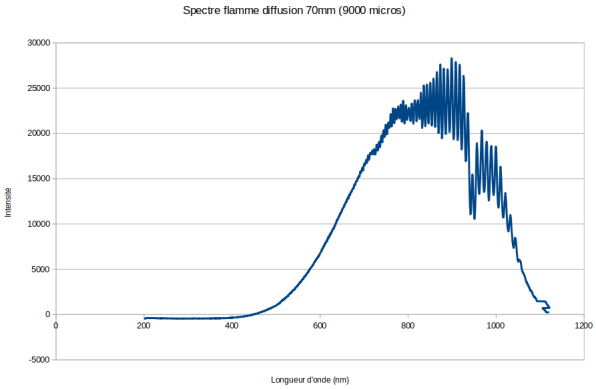
Annexes



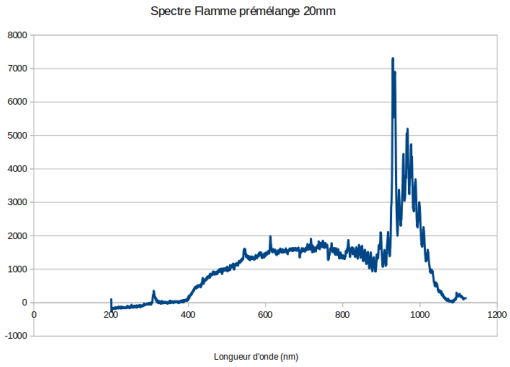


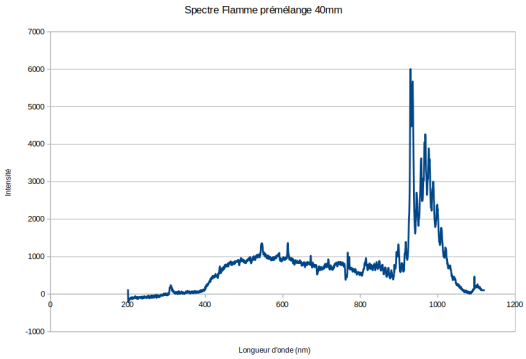
Brûleur alcool 2 et 4 cm





Flamme diffusion 35 mm et 70 mm





Flamme prémélange 20 mm et 40 mm

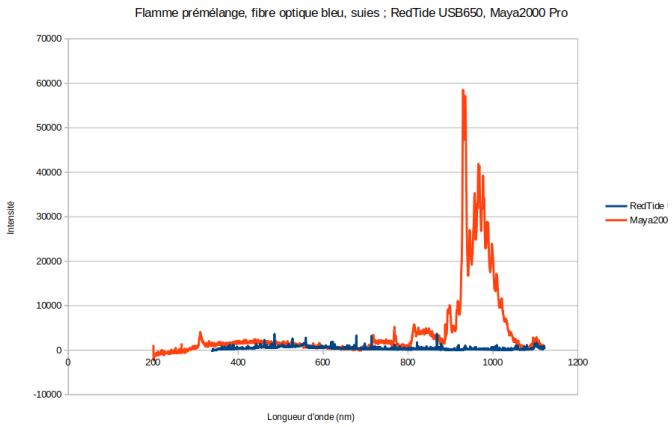


FIGURE C.5 – Flamme prémélange étude de la superposition des spectres(suies)

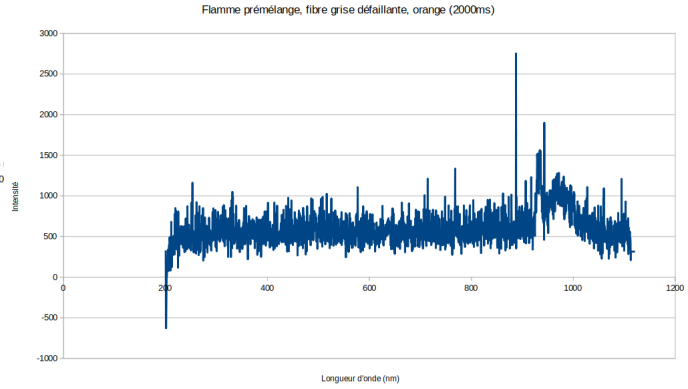


FIGURE C.6 – Spectre fibre défaillante

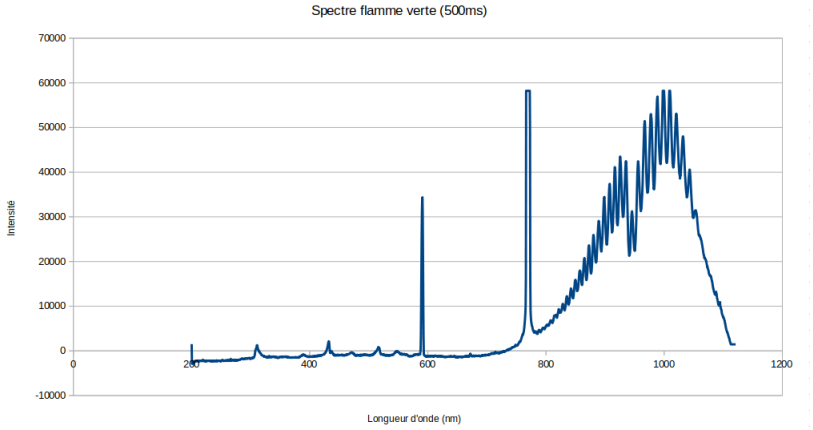
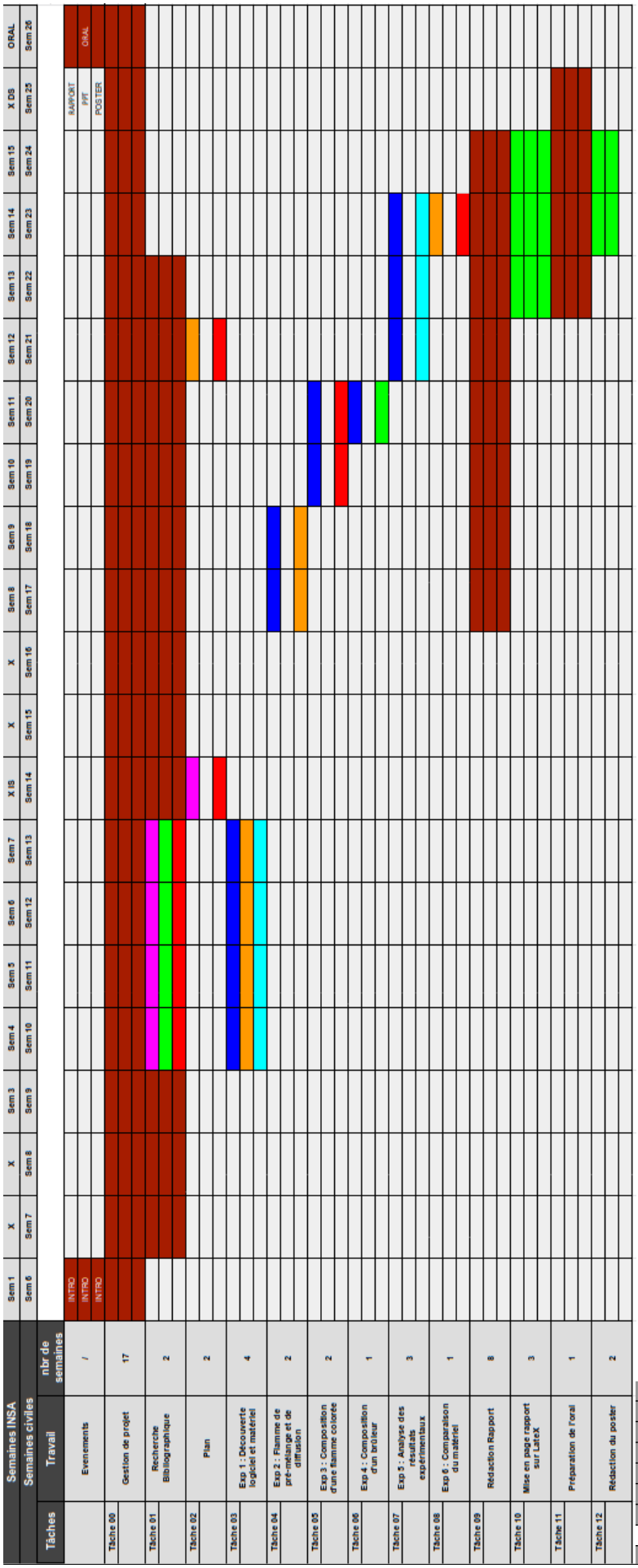


FIGURE C.7 – Flamme verte avec suies



Membres	Couleur associée
CIPRIANO Mathieu	
CHEVRIER Florine	
RINALDI Ugo	
DONG Kangjia	
LEMAZURIER Valentin	
BENTAYEB Leïla	
Tous	