

*Projet de Physique P6*  
*STPI/P6/2013 – 43*

**SPECTROSCOPIE DE SOURCES LUMINEUSE  
ET D'EMISSION DE FLAMMES**



**Etudiants :**

**Clémentine DEMAILLY    Cong XU**

**Victor PETRY**

**Kévin VOGNIN**

**Enseignant-responsable du projet :**

**David HONORE**



Date de remise du rapport : **17/06/2013**

Référence du projet : **STPI/P6/2013 – 43**

Intitulé du projet : **Spectroscopie d'émission de flammes**

Type de projet : **expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

- **Étudier différentes sources lumineuse**
- **Analyser les spectres d'émissions**
- **Relier les éléments chimiques correspondant aux spectres**

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

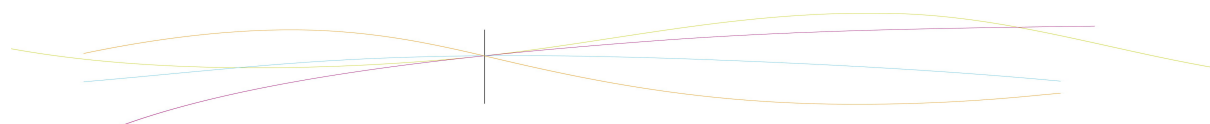
**Spectroscopie, raie d'émission, lampe spectrale, flamme.**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **A30227**

## TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. spectroscopie.....	6
4. Montage expérimental.....	8
4.1. Le rail et le capteur.....	8
4.2. La sonde MAYA.....	9
4.3. Le logiciel Spectra Suite.....	10
5. Spectroscopie d'émission.....	11
5.1. Lumières « blanches ».....	11
5.2. LED.....	13
5.3. Les filtres de couleur.....	14
5.3.1. Couleurs primaires.....	14
5.3.2. Couleurs secondaires.....	16
5.4. Lampe spectrale.....	17
5.4.1. Présentation.....	17
5.4.2. Lampe de mercure à basse pression.....	18
5.4.3. Lampe spectrale contenant Zn.....	19
5.4.4. Lampe spectrale contenant ZnHgCd.....	20
6. Spectroscopie d'Émission de flamme.....	22
6.1. Le phénomène de flamme.....	22
6.2. Flammes de bougies.....	22
6.2.1. Flamme du briquet.....	23
6.2.2. Bougie Rouge.....	23
6.2.3. Bougie verte.....	24
6.2.4. Bougie jaune.....	24
6.2.5. Bougie violette.....	25
6.2.6. Bougie après extinction.....	25
7. Conclusions et perspectives.....	27
8. Bibliographie.....	28
9. Annexes.....	30
9.1. Spectres d'émission « références ».....	30
9.2. Spectres d'émissions expérimentaux.....	31

<a href="#">9.2.1. Spectres d'émissions des LED.....</a>	<a href="#">31</a>
<a href="#">9.3. Filtre de couleur.....</a>	<a href="#">32</a>
<a href="#">9.3.1. Spectre d'émission de la lampe à lumière blanche Phtwe.....</a>	<a href="#">33</a>
<a href="#">9.3.2. Spectre d'émissions des lampes spectrales.....</a>	<a href="#">34</a>



## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre projet de P6, nous avons effectué une étude dans le domaine de la spectroscopie de lampes diverses et de flammes. Notre projet consistait en une série d'expérimentations de spectroscopie de lampes notamment, mais aussi de flammes, pour ensuite faire une étude analytique de spectres.

Nous voulions donc connaître les caractéristiques de certaines lampes et flammes, les espèces rayonnants, ainsi que leurs fonctionnements.

Pour réaliser dans les meilleurs conditions ce projet nous avons utilisé du matériel adéquate tel qu'un montage optique simple mais précis à l'aide notamment d'un spectroscope (MAYA) et de son logiciel Spectra Suite.

Avant de commencer ce projet dans sa partie expérimentale, nous avons fait des recherches pour comprendre globalement le sujet ainsi que le matériel scientifique que nous allons utiliser.

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

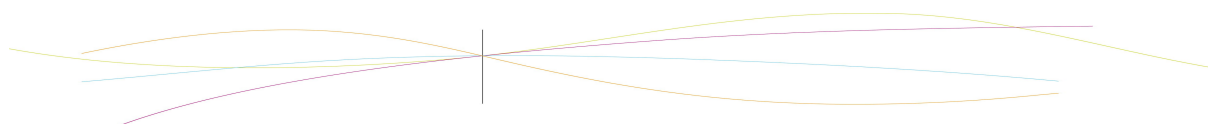
Après la présentation du projet par M.Honoré, nous nous sommes réparti le travail :

- Installation du montage, manipulation des sources, réglages des paramètres d'acquisitions : Clémentine et Cong
- Responsables des acquisitions sur logiciel, de la simulation numérique et de l'exploitation numérique des spectres : Victor et Kévin
- L'analyse et le traitement des acquisitions ainsi que la mise en forme des spectres ont été fait par l'ensemble du groupe

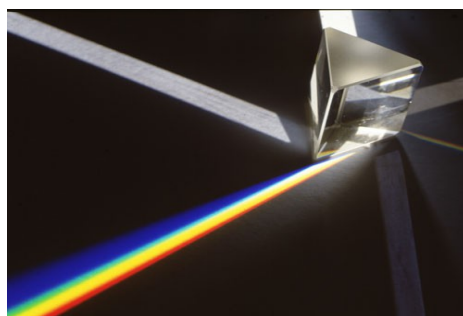
Finalement, la répartition des rôles n'était pas rigoureusement respectée car certaines situations demandaient l'aide d'un autre membre du groupe. Par exemple, Kevin a aussi joué un rôle lors du montage de l'expérience.

## 3. SPECTROSCOPIE

La spectroscopie, ou spectrométrie, est l'étude expérimentale du spectre d'un phénomène physique, c'est-à-dire de sa décomposition sur une échelle d'intensité lumineuse. Historiquement, Isaac Newton fut le premier à montrer que la lumière blanche du Soleil est en fait un mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Il réalisa l'expérience suivante : dans une pièce noire, il fit une fente dans un écran opaque, y fit passer la lumière du Soleil, puis à travers un prisme en verre et une lentille convergente. Il obtint ainsi des images colorées de la fente sur un écran blanc. L'ensemble de ces images constituent un spectre pur de la lumière blanche du Soleil. Le prisme dévia la lumière, grâce au phénomène



de réfraction, mais plus les rayons bleus que les rayons rouges. Les couleurs apparaissent sur l'écran blanc dans l'ordre suivant : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, et rouge. Newton tira la conclusion que les couleurs sont toutes présentes dans la lumière blanche du Soleil et que le prisme a pour effet de les séparer en un « spectre ».



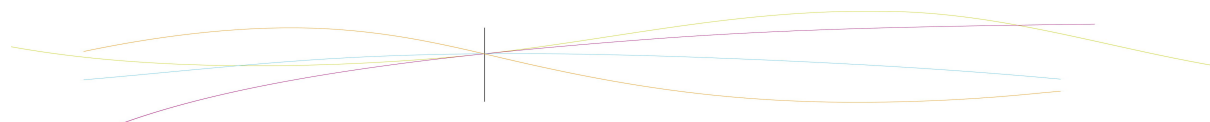
*Illustration 1: Réfraction de la lumière par un prisme*

Newton interpréta ces résultats de la façon suivante : la lumière blanche est constituée de rayons associés à des couleurs différentes, et correspondant aussi à des indices de réfraction différents. Les couleurs sont donc, selon ce point de vue, une propriété physique de la lumière. Toutefois, Newton ne parvient pas vraiment à déterminer la propriété physique de la lumière qui fait qu'un rayon correspond à une couleur plutôt qu'une autre.

La découverte du phénomène de dispersion permet à Newton de fournir la première explication scientifique au phénomène d'arc-en-ciel. Il s'agit du même phénomène que dans l'expérience précédente, hormis le fait que le prisme soit remplacé par des gouttes d'eau. Cependant, n'oublions pas que Newton usa de toute sa notoriété pour discréditer la théorie d'Huygens, qui avançait une nature ondulatoire de la lumière.

Aujourd'hui, la spectroscopie est très utilisée en physique et en chimie analytique car chaque atome et molécule possède un spectre d'émission unique. Les spectres d'atomes et de molécules consistent, souvent, par une série de lignes spectrales, chacune représentant une résonance entre deux différents états quantiques de l'élément chimique étudié. Il est ainsi possible d'identifier et de détecter des éléments chimiques grâce à cette empreinte. Cette caractéristique est particulièrement mise à profit en astronomie, où les scientifiques peuvent ainsi déterminer la composition atmosphérique d'une planète éloignée.

C'est cette « empreinte » que nous avons étudié au cours de notre projet.



## 4. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

### 4.1. Le rail et le capteur



Illustration 2: Montage expérimental sur un banc gradué

Afin d'avoir une bonne précision sur la distance entre la sonde et la source lumineuse, nous avons opté pour un banc gradué de 200cm. Ce banc, également utilisé durant les travaux pratiques d'optique, est très pratique car il nous est possible de disposer les éléments nécessaire à nos mesures de façon précise et sûre.

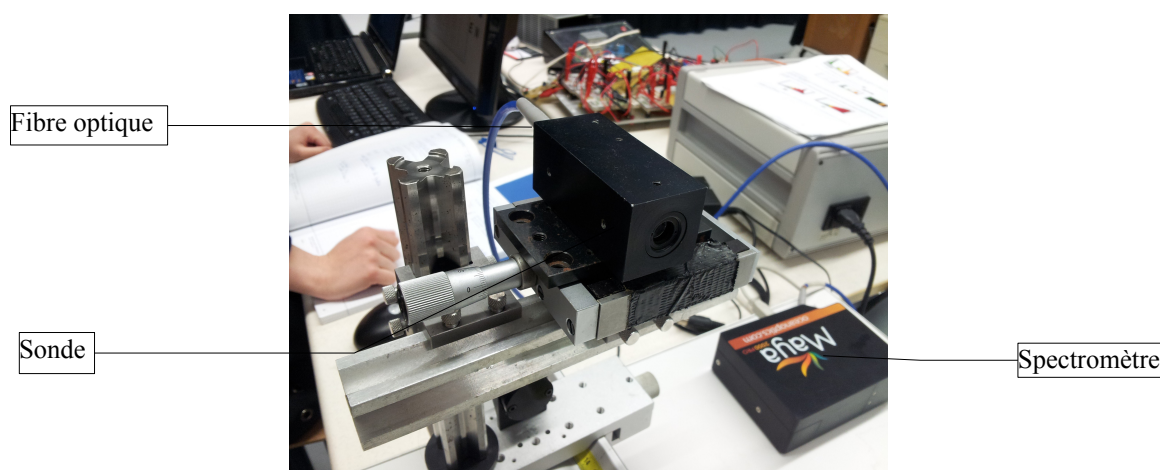
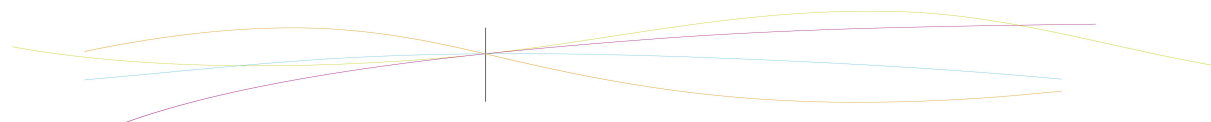


Illustration 3: La sonde disposée sur un cadre avec une vis de précision





Le capteur est constitué d'une lentille qui converge les rayons des sources lumineuses. Les ondes sont ensuite envoyées vers la sonde Maya par le biais d'une fibre optique. Le capteur est disposé solidement à un cadre métallique. Ce cadre peut être réglé en hauteur et peut se translater grâce à une vis de précision.

#### 4.2. La sonde MAYA



Illustration 4: Le capteur MAYA

Durant toute la durée du projet nous avons travaillé avec un spectromètre nommé maya 2000 pro de Ocean Optics avec le logiciel Spectra Suite. Cette sonde a pour but de relever toutes les émissions des différents corps émetteurs présents en face du capteur.

L'énergie entrée par la fibre optique est ensuite dirigée dans le spectromètre au niveau de l'entrée 1. La pièce 2 permet de ne sélectionner qu'un petit faisceau de lumière. La pièce 4 permet de collimater la lumière en une seule direction de propagation. Puis la lumière est diffractée par la pièce 5. Ensuite la lumière diffractée est renvoyée en 7 sur des pixels qui captent l'intensité lumineuse. Cette énergie est transformée en signal électrique pour permettre au logiciel de nous donner le graphique de l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde.

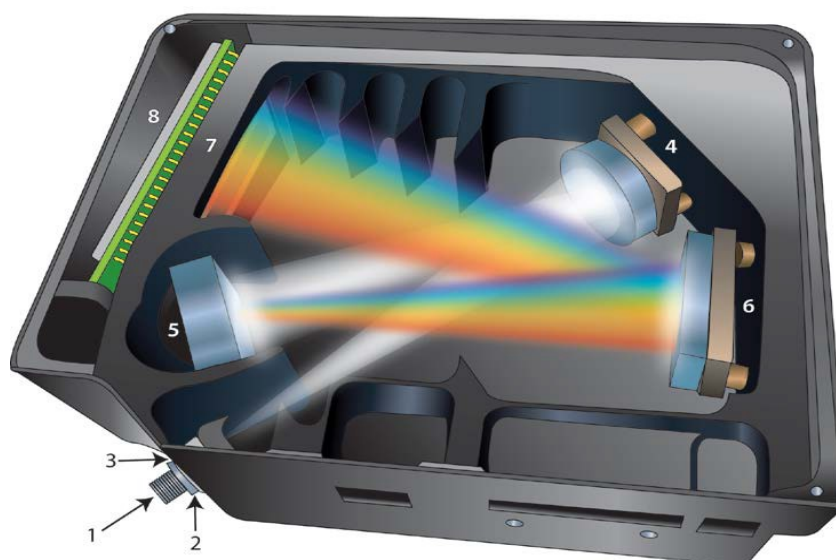
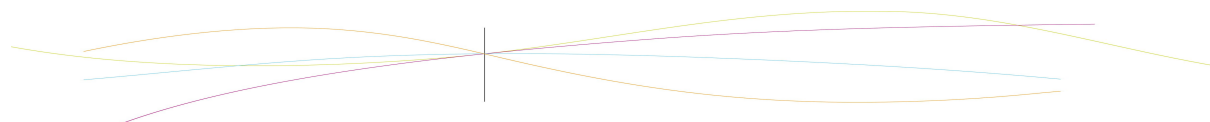


Illustration 5: Détail de l'intérieur du capteur MAYA



### 4.3. Le logiciel Spectra Suite

Ce logiciel est directement rattaché au spectroscope MAYA pro 2000. Il permet de tracer l'intensité reçue par ce dernier en fonction de la longueur d'onde appropriée.

Pour éviter d'endommager le capteur avec une trop forte exposition il faut faire des réglages. On peut régler le temps d'acquisition ainsi que le nombre de scans nécessaire pour avoir un graphique moyen de plusieurs acquisition consécutives.

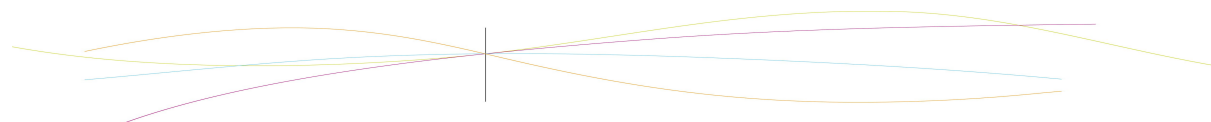
On est donc prêt à faire l'acquisition avec le bouton « play ».



Ensuite on peut simplement copier toutes les valeurs numériques de ce graphique grâce à ce bouton :



Nous pouvons donc à présent copier-coller ces valeurs dans excel pour tracer un graphique d'étude.

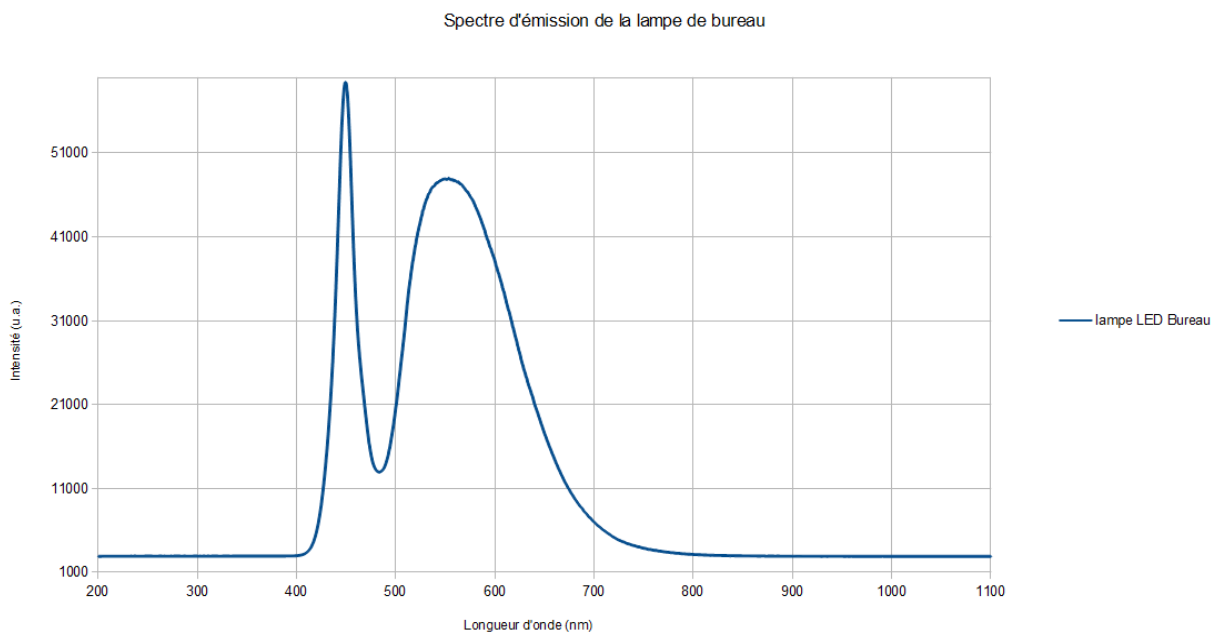


## 5. SPECTROSCOPIE D'ÉMISSION

Cette partie est focalisée sur des sources lumineuses. Nous avons étudié la plupart des lampes présentes dans le laboratoire qui avaient un intérêt scientifique. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés, respectivement, aux lampes blanches Led ou halogènes, aux filtres de couleurs primaires et secondaires et enfin aux lampes spectrales.

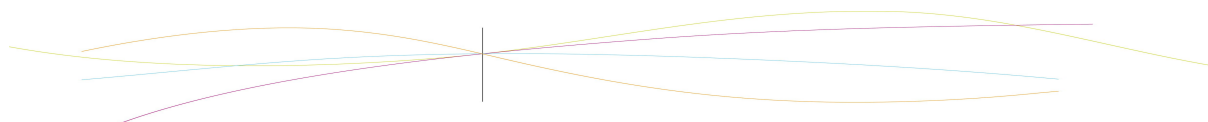
### 5.1. Lumières « blanches »

Après avoir testé le spectromètre sur une lampe à mercure dont on connaissait le spectre afin de savoir si ce dernier était calibré, nous avons décidé de commencer par étudier le spectre de la lampe de bureau. Cette lampe est composée de led de couleurs blanches. Voici son spectre.



*Illustration 6: Spectre de la lampe de bureau*

On remarque un spectre continu formé de deux pics maximum à environ 450 nm et l'autre à 550 nm. Cela est dû au type de Leds utilisées. Ces dernières sont légèrement bleu, d'où le pic situé à gauche du graphique, et elles vont éclairer fortement un fond blanc qui se reflète et donne une apparence de lampe blanche. On peut remarquer aussi deux spectres semblables avec deux lampes blanches de marque différentes mais à halogènes cette fois-ci:



Spectre lampe Pierron

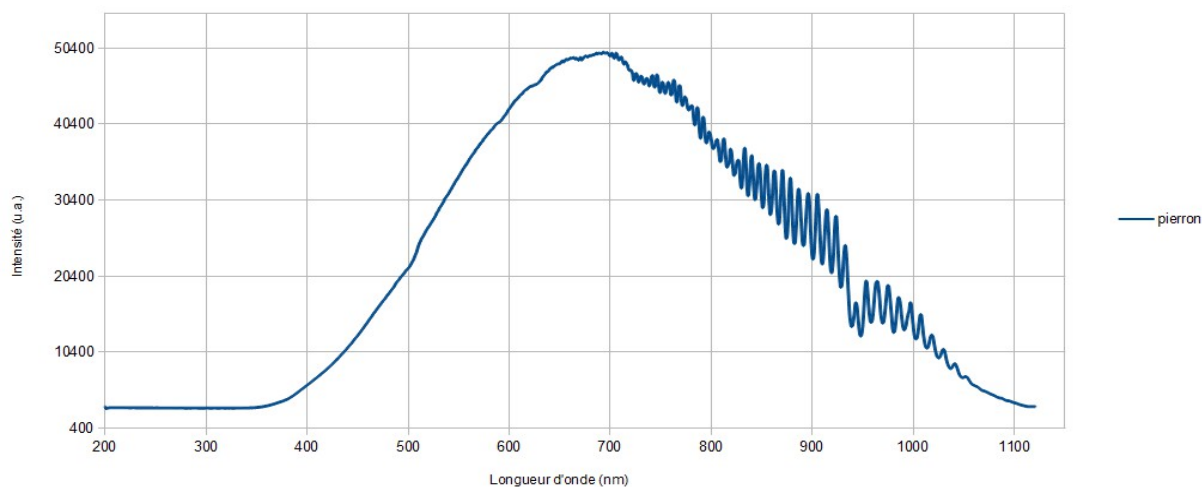


Illustration 7: Spectre d'émission de la lampe Pierron

On remarque un seul pic sur ce spectre continu à cause de l'émission thermique d'un corps chaud.

Spectre Lampe Richtleuchte

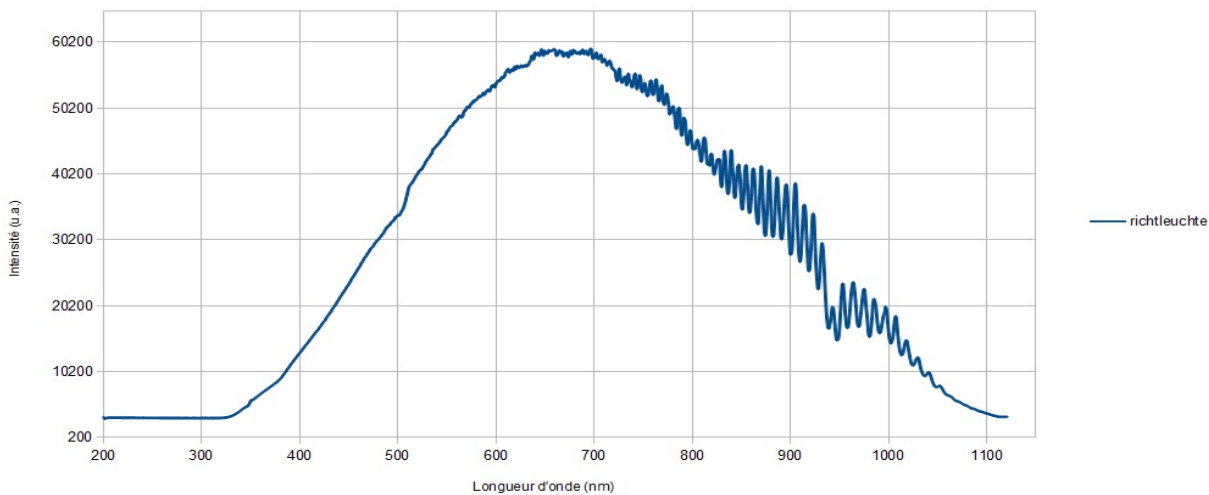
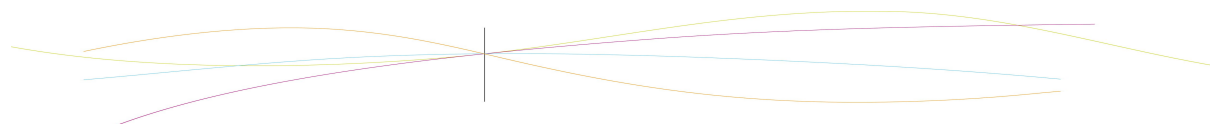


Illustration 8: Spectre d'émission de la lampe Richtleuchte

La lumière blanche, qu'elle soit émise par led, par halogènes ou autres, est caractérisée par un spectre continu d'émission.



## 5.2. LED

Les lampes leds sont très utilisées aujourd’hui et c’est pour cela que nous avons décidé de les étudier. Nous avons capturé les trois spectres de led bleu, rouge et verte mais nous ne développerons que la led verte dans cette partie, les deux autres graphiques des deux autres lampes seront placés en annexe.

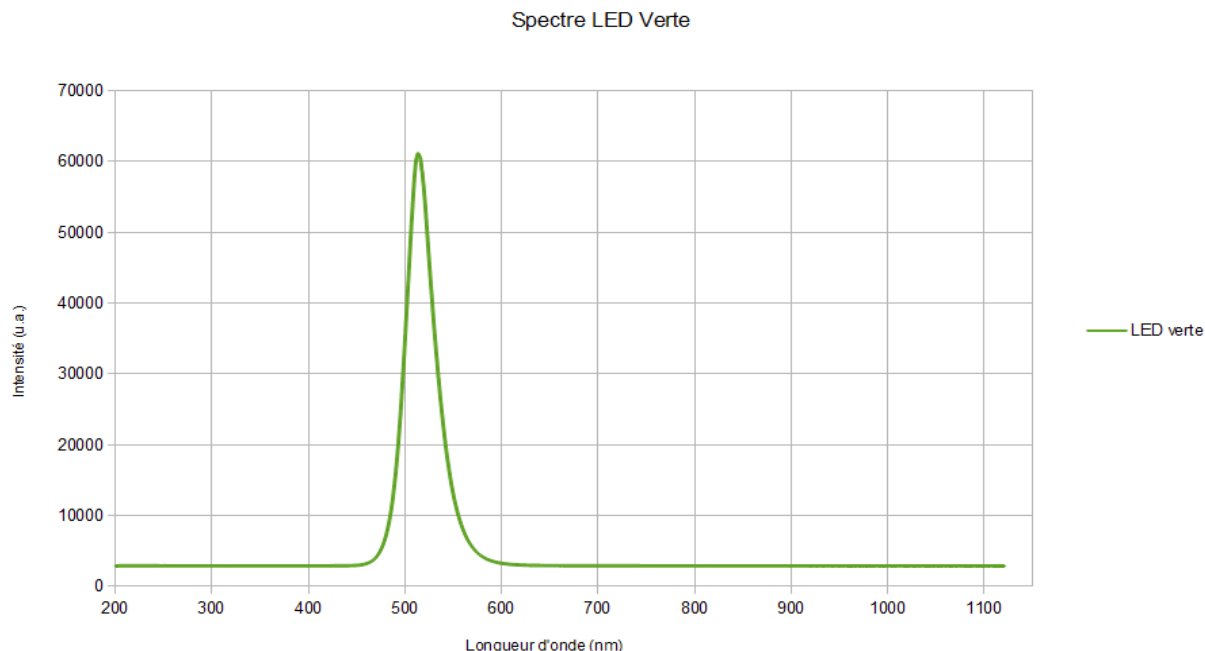


Illustration 9: Spectre de la LED verte

La led envoie donc un rayonnement mono-modal discret avec un pic à 514,31 nm.

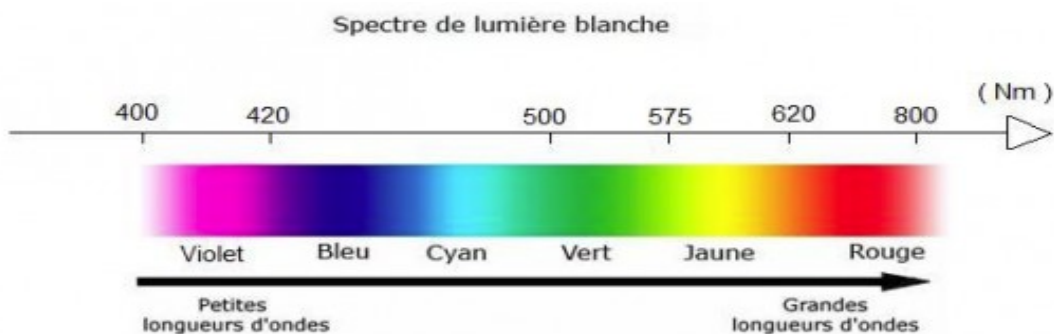
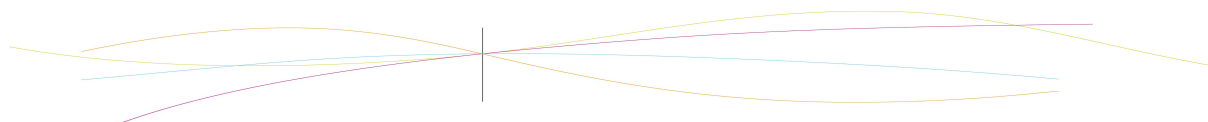


Illustration 10: Spectre de la lumière blanche en corrélation avec les lumières visibles

On voit facilement que le pic correspond à un rayonnement de couleur verte. Ce raisonnement est le même pour les deux autres leds. Pour aller plus loin on peut se demander si les leds de différentes couleurs émettent toutes à la même intensité. En effet nous ne pouvons conclure car à chaque acquisition nous avons dû ajuster l'intensité de chaque led, afin de ne pas saturer le capteur.



### 5.3. Les filtres de couleur

#### 5.3.1. Couleurs primaires

Nous avons réalisé l'acquisition de la lumière blanche PIERRON. Ensuite nous avons placé devant celle-ci successivement les trois filtres de couleur primaire. Ainsi nous avons pu observer ce qui est réellement transmis après la traversée du filtre.

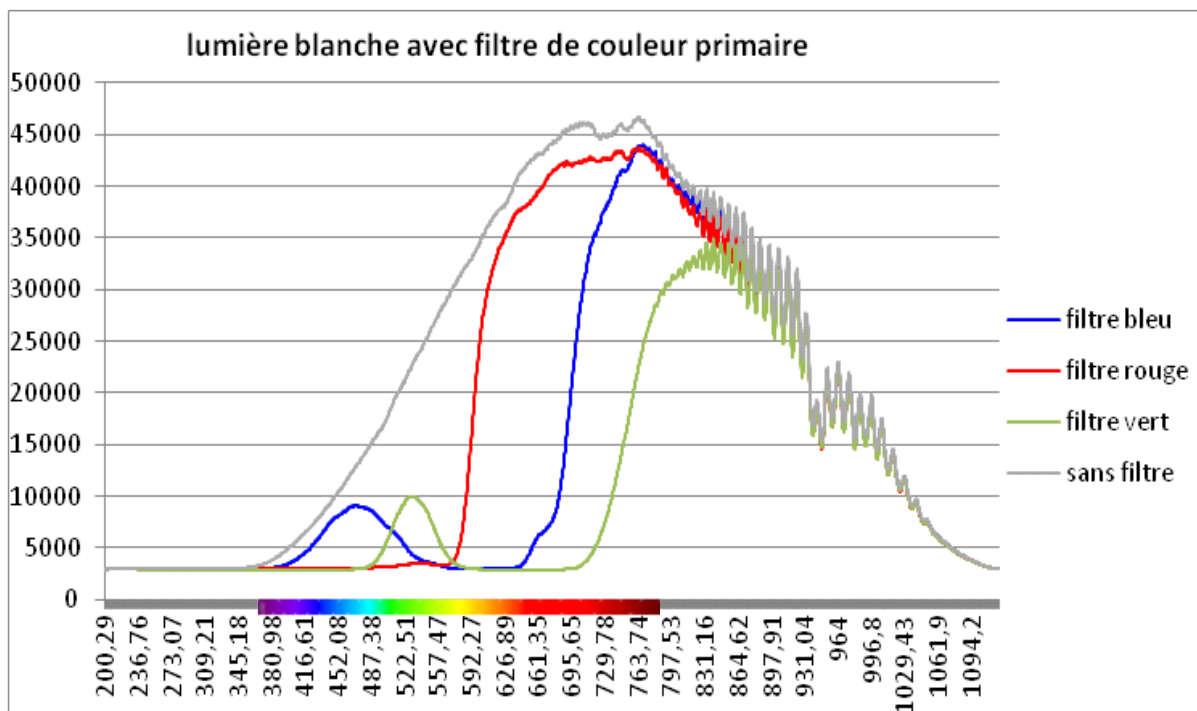


Illustration 11: Spectre de la lampe Pierron acquis avec et sans filtres de couleur

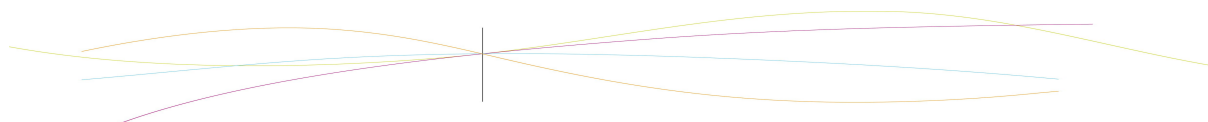
Pour chaque cas le spectre absorbé est un spectre continu car il n'y a pas d'interruption comme c'est le cas pour les spectres de raies.

Nous avons ajouté sur le graphique le spectre de la lumière blanche dans le domaine visible afin de mieux analyser les résultats. Pour chaque filtre, le rayonnement transmis correspond à sa couleur. Nous pouvons facilement nous apercevoir que le spectre de la lumière blanche peut être entièrement défini grâce à ceux des trois couleurs primaires. Nous avons une partie du rayonnement qui se trouve dans l'infrarouge, et nous pensons qu'il s'agit en fait de l'incandescence du filament de la lampe utilisée comme pour les lumières blanches précédentes.

Nous avons de plus calculé un taux de transmission pour chaque filtre, pour bien s'apercevoir de ce qui est réellement transmis, ce qui nous donne :

$$\tau = \frac{I_{\text{filtre}} - I_0}{I_{\text{référence}} - I_0}$$

Taux de transmission



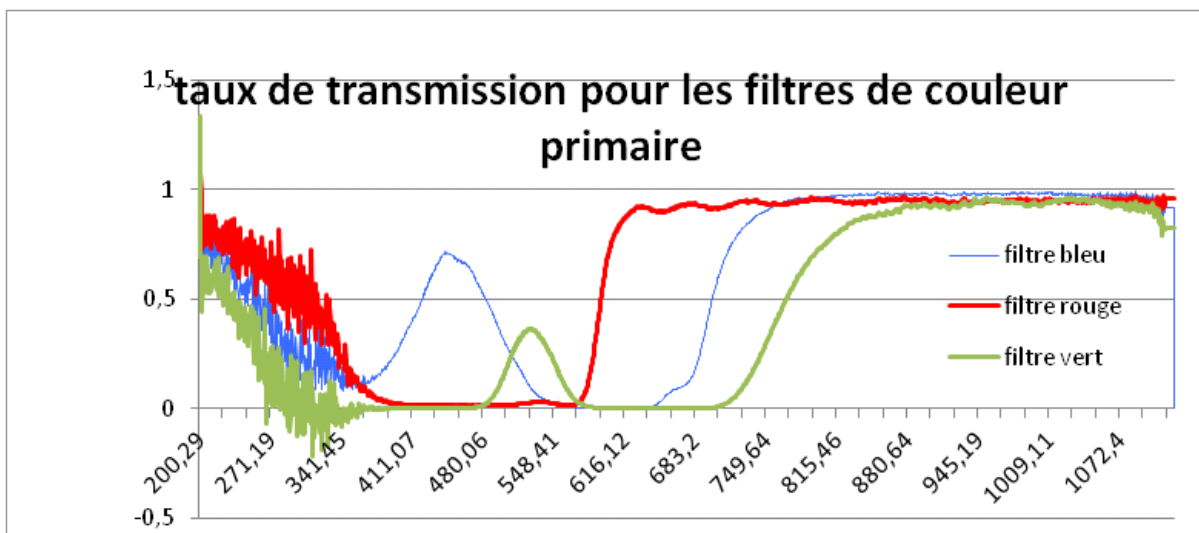


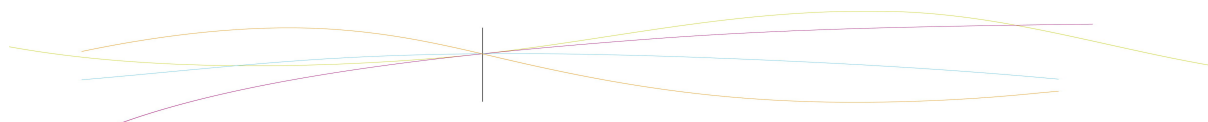
Illustration 12: Taux de transmission pour les filtres de couleurs primaires

On voit bien pour le bleu et le vert que la transmission se fait sous la forme d'un pic qui est centré sur la longueur d'onde perçue à l'œil, c'est à dire 436 nm pour le bleu et 694 pour le vert. Le filtre rouge quand à lui est un filtre passe haut, il transmet toutes les longueurs d'ondes supérieures à 800 nm, qui nous paraît donc rouge.

On remarque aussi que pour les trois filtres les infra-rouges sont presque intégralement transmis, mais cela importe peu car visuellement nous ne sommes pas capable de les percevoir.

Les taux de transmission dans l'ultra violet sont très bruités. Cela s'explique par le fait que le spectre de référence est très faible dans ces longueurs d'ondes et comme on calcule un rapport de deux valeurs faibles, nous avons beaucoup d'incertitudes.

On peut toutefois observé que les taux de transmission aux pics vert et bleu ne sont pas égaux à 1. En effet en passant à travers le filtre, la lumière perd de son intensité.



### 5.3.2. Couleurs secondaires

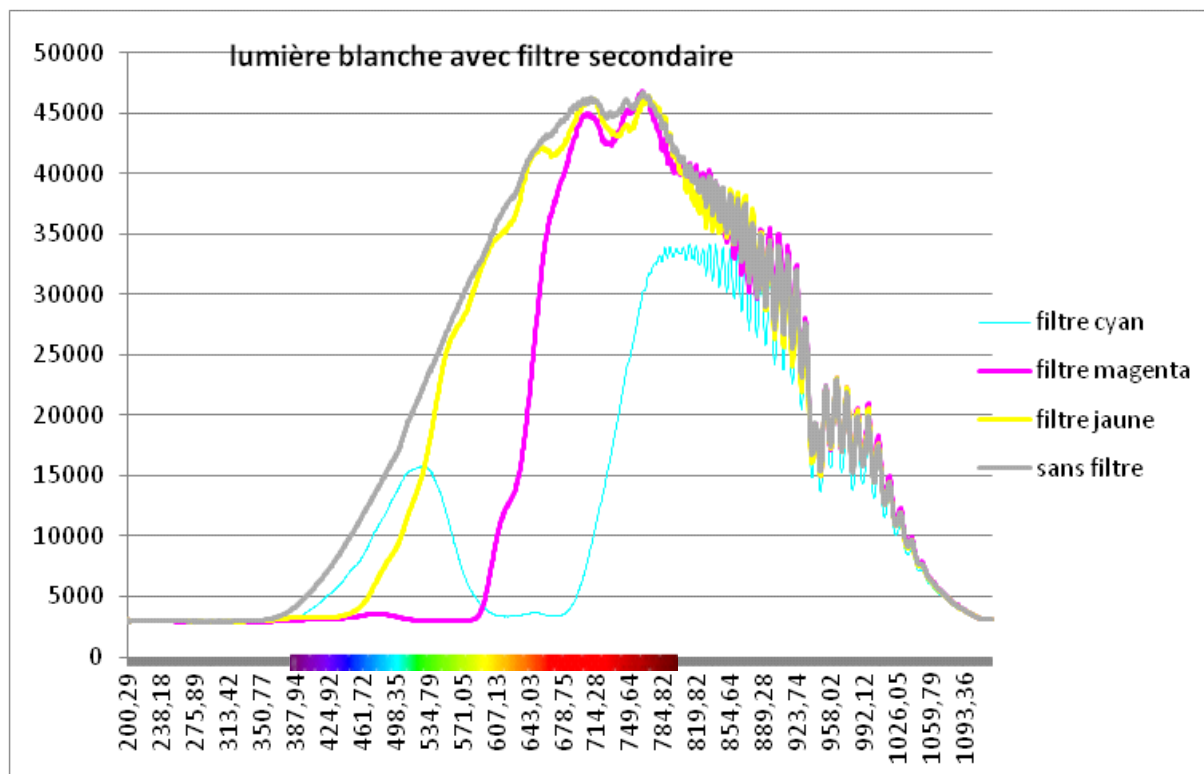
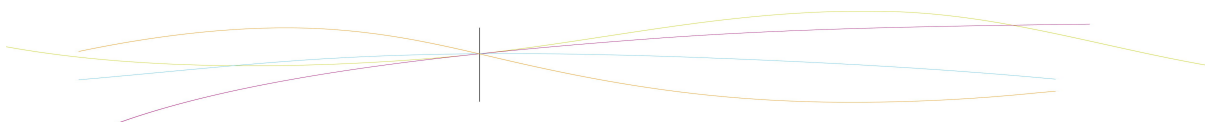


Illustration 13: Spectre de la lampe Pierron acquis avec des filtres de couleurs secondaires

Nous avons ensuite remplacé les filtres de couleur primaire par des filtres de couleur secondaire. Ici, nous observons, comme nous le pensions, que visuellement le filtre cyan se compose en réalité du filtre vert et du filtre bleu. Le spectre englobe les spectre du filtre rouge et vert, c'est à dire de 380 nm à 600 nm environ. Il s'agit d'une synthèse additive des couleurs. De même pour le jaune qui est le mélange du vert et du rouge, et pour le magenta, mélange du rouge et du bleu, toutefois seulement une très faible intensité de bleu est transmise, cela s'explique par le fait que l'intensité de la lumière sans filtre est elle-même déjà très faible.



Illustration 14: Synthèse additive : des rayons de lumières se superposent





## 5.4. Lampe spectrale

### 5.4.1. Présentation

Une lampe spectrale est une lampe qui contient seulement les vapeurs d'une espèce chimique. Les atomes du gaz métallique utilisé ont la faculté de pouvoir s'ioniser lorsqu'elles sont soumises à la différence de potentiel créée entre les électrodes situées de chaque côté de la lampe. Les électrons libérés sont attirés par l'électrode positive – nommée anode – et les ions positifs par l'autre, nommée cathode. Un flux d'électrons traverse l'ampoule.

Lors du passage de ce flux, se produisent de nombreuses collisions entre les électrons circulant et ceux présents dans le gaz de la lampe. Lors de ces collisions, les électrons sont chassés de leur orbite, changent de couche et y reviennent en émettant un photon, dont la longueur d'onde (sa couleur) dépend de l'énergie qu'il contient. C'est ce phénomène qui produit de la lumière.

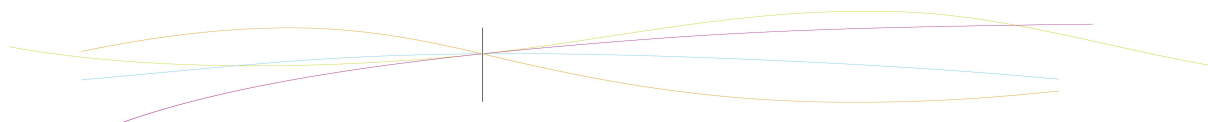
$$E = h\nu = \frac{h.c}{\lambda}$$

*Énergie d'un photon, avec  $h$  la constante de Planck,  $\nu$  la fréquence du rayon électromagnétique,  $c$  vitesse de la lumière dans le vide et  $\lambda$  la longueur d'onde.*

Nos avons étudié plusieurs sources spectrales, principalement du constructeur Philips, contenant du sodium (Na), du zinc (Zn), du cadmium (Cd), du mercure (Hg), et une dernière lampe contenant ZnHgCd. Ces dernières ont toutes un point commun, de l'argon est présent aux côtés de ces éléments métalliques.



Illustration 15: Les lampes spectrales contenant Hg, Zn, Cd, HgZnCd et Na



Toutes nos mesures ont été effectuées avec une distance de 82cm entre la source lumineuse et la sonde. En fonction de l'intensité lumineuse de chaque lampe, nous avons ensuite adapté le temps d'exposition de la sonde à la source, afin d'obtenir à chaque fois un spectre d'intensité maximale et ce, sans saturer notre capteur.

Dans la partie qui suit, nous allons présenter nos résultats sur une lampe au mercure à basse pression, la lampe contenant du zinc, et la lampe contenant ZnHgCd.

#### 5.4.2. Lampe de mercure à basse pression

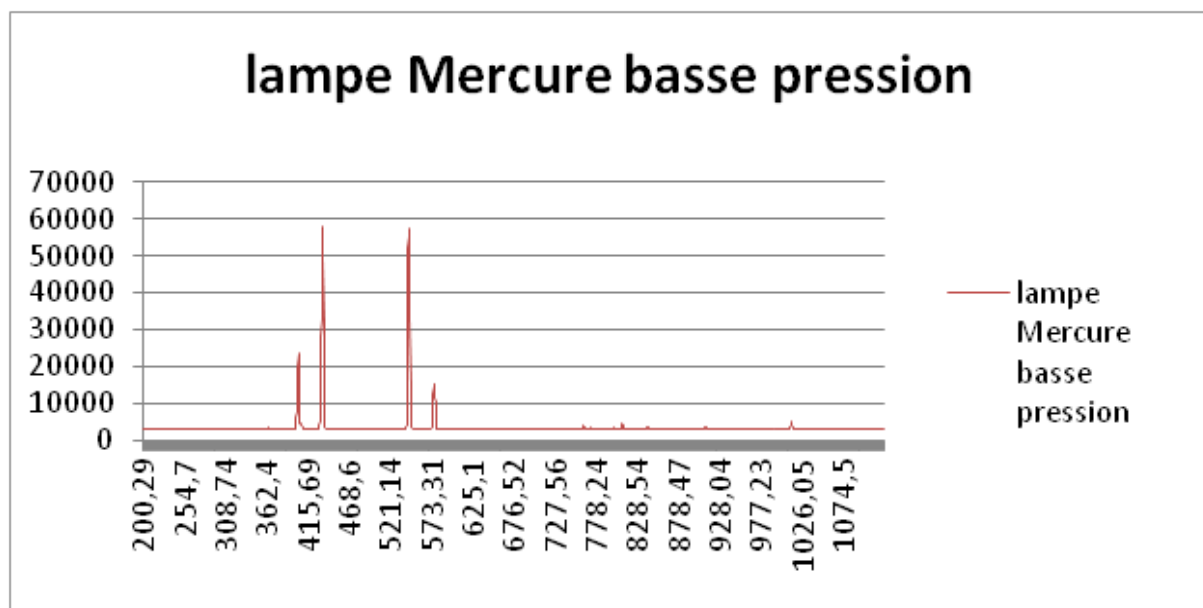
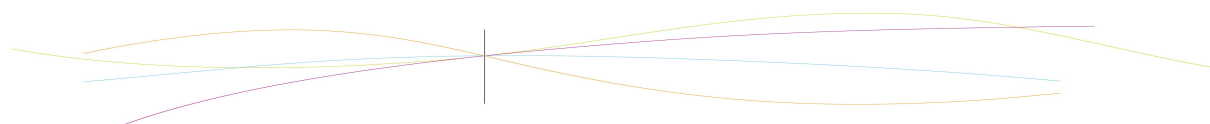


Illustration 16: Spectre d'émission de la lampe au mercure basse pression

En premier lieu nous avons analysé le spectre de la lampe de mercure à basse pression. Nous observons quatre raies importantes et nous les avons comparé dans un tableaux, suivant les résultats théoriques référencés par les étudiants qui ont travaillé l'année précédente sur ce projet. Nous observons que comme prévu, la lampe de mercure n'est composée que de mercure.

Longueurs d'ondes des principales raies observées (nm)	Elément chimique	Longueurs d'ondes théoriques (nm)	Écart relatif
404,1	Hg	404,7	0,15%
435,6	Hg	435,8	0,05%
544,7	Hg	546,8	0,38%
576,7	Hg	577	0,052%



Nous obtenons un des résultats proches de la réalité avec en moyenne 0,16% d'écart relatif. Ces écarts sont certainement du à la précision de la sonde.

### 5.4.3. Lampe spectrale contenant Zn

Pour acquérir le spectre d'émission du zinc, nous avons réglé Spectra suite avec 60 scans et une durée d'exposition de 400ms, afin d'avoir la plus grande intensité possible à l'écran car la lampe au zinc n'était pas très brillante. Nous avons ensuite acquis le spectre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de variation notable du spectre, c'est à dire jusqu'à 3min10 (190s), avec un pas d'acquisition de 10s, la première acquisition étant l'arc électrique. Nous avons ensuite produit un graphique en 3D, contenant nos acquisitions en fonction du temps.

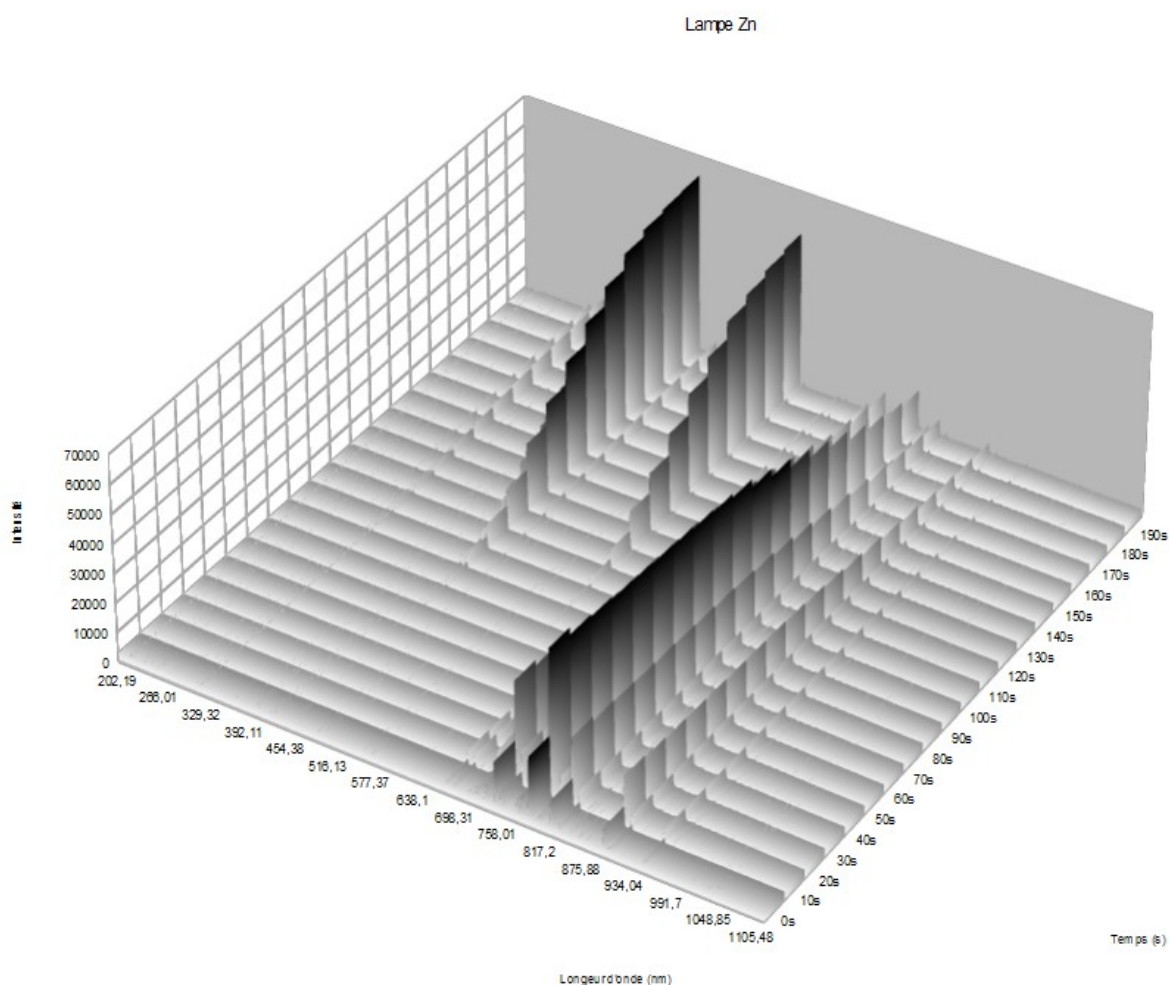
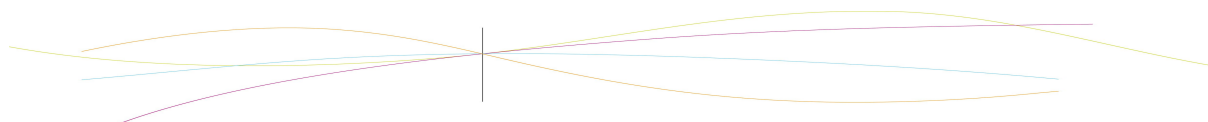


Illustration 17: Spectre d'émission de la lampe Zn au cours du temps. Plus les raies sont sombres, plus l'intensité est grande.

La première chose frappante que l'on remarque est l'évolution du spectre au cours du temps. Visuellement, cela se traduit par une variation de couleur de la lampe au cours du temps, de mauve, elle finit par être bleu cyan.



## Lampe Zn

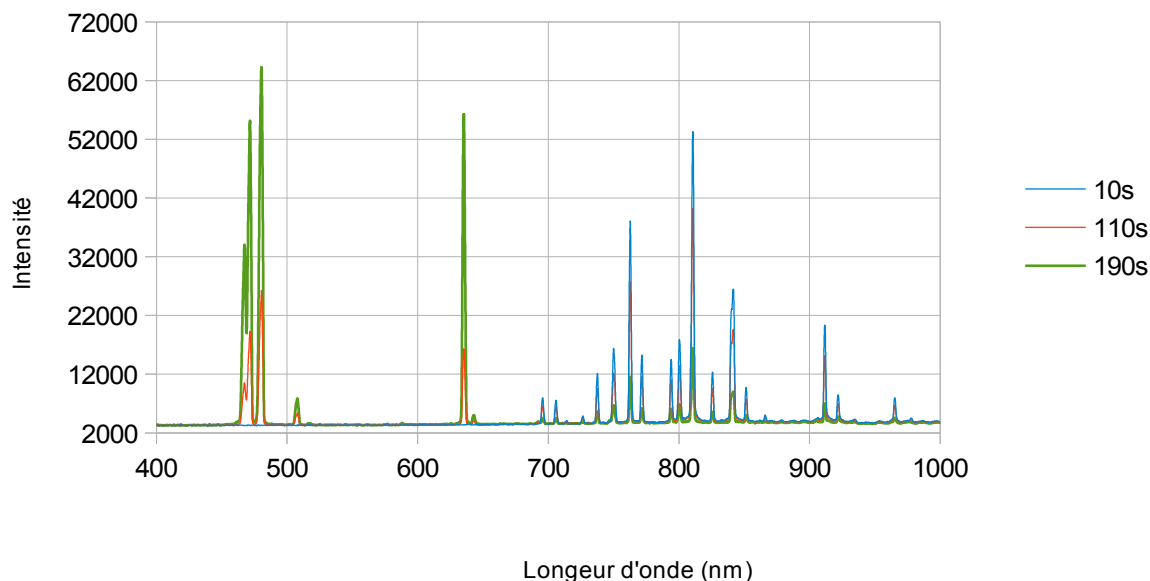


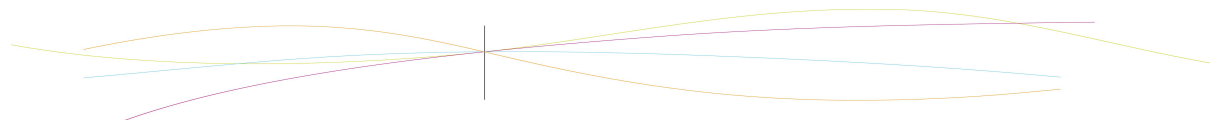
Illustration 18: Spectre d'émission de la lampe Zn à différent temps à partir de l'allumage de la lampe

En réalité, on retrouve bien les raies d'émission typique du zinc, la première à 467nm, ensuite à 471nm et celle à 480nm : l'intensité de ces dernières ne cessent d'augmenter au cours du temps, tandis que les nombreuses raies d'émission de l'argon ( de 690 à 850nm), qui est également contenu dans la lampe, ne cessent de diminuer.

Le zinc est en fait sous forme solide au début des acquisitions. C'est l'argon, en s'ionisant (produisant une lumière mauve), qui vaporise petit à petit le zinc, de telle sorte que ce dernier devienne majoritaire dans la phase gazeuse de la lampe, produisant ainsi une lumière bleu.

### 5.4.4. Lampe spectrale contenant ZnHgCd

Nous disposons d'une lampe contenant ZnHgCd, et de lampes contenant Zn, Hg et Cd séparément. Il était tentant de comparer les graphes de ces quatre lampes, afin de voir si elles se superposaient notamment. Ces lampes ayant une intensité lumineuse différente les unes des autres, nous avons adapté les paramètres d'acquisition de la sonde en fonction de la lampe la plus lumineuse du lot : 6 scan et 6ms d'exposition pour ZnHgCd et pour Hg, 6 scan et 600ms pour Cd, 6 scan 240ms pour Zn. Toutes les acquisitions ont été effectuées après que les lampes aient chauffé pendant dix minutes.



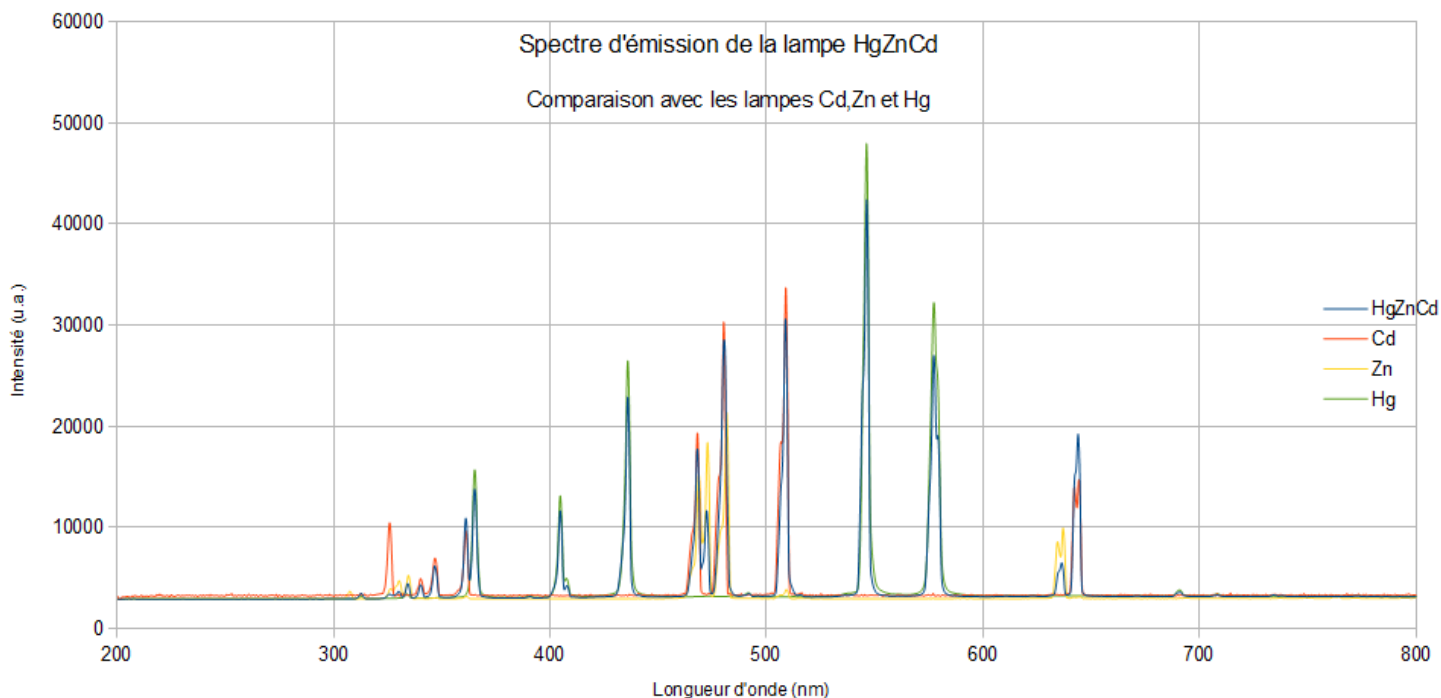
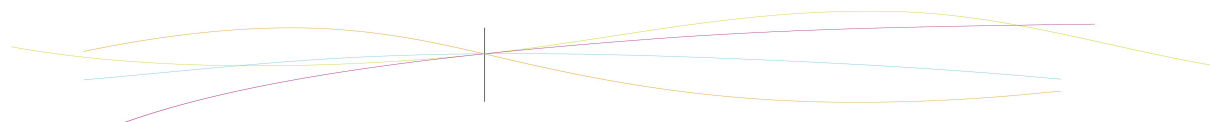


Illustration 19: Comparaison du spectre de HgZnCd avec ceux de Zn, Hg et Cd

Après avoir fait les acquisitions, nous avons ensuite appliqué un petit coefficient correcteur, afin que les courbes des trois lampes séparées épousent au mieux la forme de la lampe HgZnCd. De cette façon, on arrive presque à recréer l'enveloppe de la lampe HgZnCd.

Nous avons aussi tenté de déterminer la proportion de chaque élément dans la lampe HgZnCd. Malheureusement, plusieurs conditions étaient nécessaires. Tout d'abord, il fallait que les verres des quatre lampes aient les mêmes propriétés physiques, afin qu'elles puissent laisser passer les spectres de la même façon. Ensuite, il fallait que les lampes soient portées à la même température mais aussi que les taux d'excitation de chaque élément dans les lampes séparées soient les mêmes que dans la lampe spectrale regroupant. Pour vérifier cette dernière hypothèse M. Honoré nous a expliqué qu'il fallait, en affectant un coefficient déterminé par la différence entre deux intensités d'un pic caractéristique d'un élément, que les deux courbes se superposent. Or cela n'a pas été le cas pour l'élément Zinc. Nous n'avons donc pas pu déterminer la proportion de chaque élément dans la lampe principale.

*Dans cette partie nous avons eu l'occasion d'observer deux types de spectres. Dans un premier temps nous avons étudié les spectres continus, avec les lumières blanches, les filtres et les LED, où nous avons aussi vérifié que chaque couleur émise ou transmise correspondait bien à une longueur d'onde précise. Dans un second temps, avec les lampes spectrales, nous avons analysé les spectres de raies. Où nous avons confirmé que chaque élément chimique correspond lui aussi à une longueur d'onde précise. Nous avons, de plus, compris le principe de fonctionnement de ces lampes que nous ne connaissions que très peu auparavant.*



## 6. SPECTROSCOPIE D'ÉMISSION DE FLAMME

### 6.1. Le phénomène de flamme

Une flamme est une réaction de combustion vive se produisant dans une zone d'épaisseur faible : elle produit de la chaleur et émet en général de la lumière.

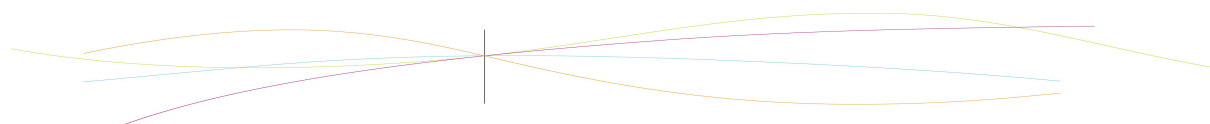
La lumière émise résulte d'une réaction de combustion. C'est une réaction d'oxydoréduction qui fait intervenir deux éléments : le combustible et le comburant. Le combustible est une substance susceptible de générer de la chaleur en présence d'oxygène. Le comburant est quant-à-lui une substance permettant la combustion du combustible. Autrement dit, il va fournir l'oxygène nécessaire à la combustion.

La réaction commence par le transfert d'électrons du combustible (le réducteur) vers le comburant (l'oxydant). La réaction avec l'oxygène libéré par le comburant entraîne une libération d'énergie sous forme de chaleur, de lumière et forme des produits plus stables que les réactifs.

Il existe deux types de flammes : les flammes de diffusion, où les réactifs étant séparés, doivent venir au contact de l'autre, la flamme est à l'interface des 2 réactifs et les flammes de pré-mélange, où le combustible est toujours un gaz, mais qui est parfaitement mélangé au comburant, la flamme est entre le pré-mélange et le gaz brûlé.

### 6.2. Flammes de bougies

Dans cette partie, nous allons étudier différentes bougies colorées avec pour objectif de déceler l'origine des couleurs et d'analyser les éléments chimiques rentrant dans leur fabrication. Nous avons également étudié l'incandescence de la mèche, après l'extinction de la flamme. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur le rapport « Spectroscopie et imagerie de flamme », qui a été rédigé par nos camarades de l'année précédente. Nous avons d'abord étudié la flamme du briquet bic, que nous avons qualifié de neutre car ne contenant que du méthane, puis ensuite nous avons étudié les bougies colorées.



### 6.2.1. Flamme du briquet

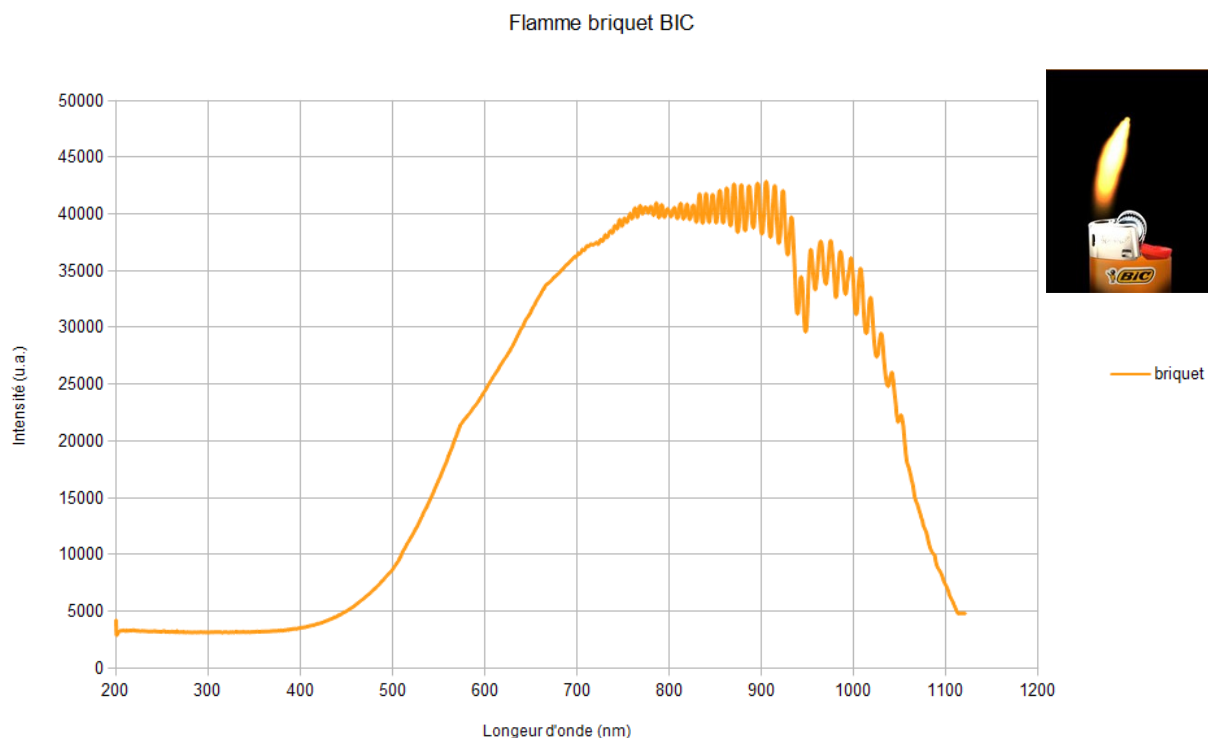


Illustration 20: Spectre de la flamme de briquet

Ce spectre montre qu'il n'y a aucun pic significatif. Les seuls signaux obtenus par le capteur sont les suies qui sont obtenus par combustion de l'air ambiant.

### 6.2.2. Bougie Rouge

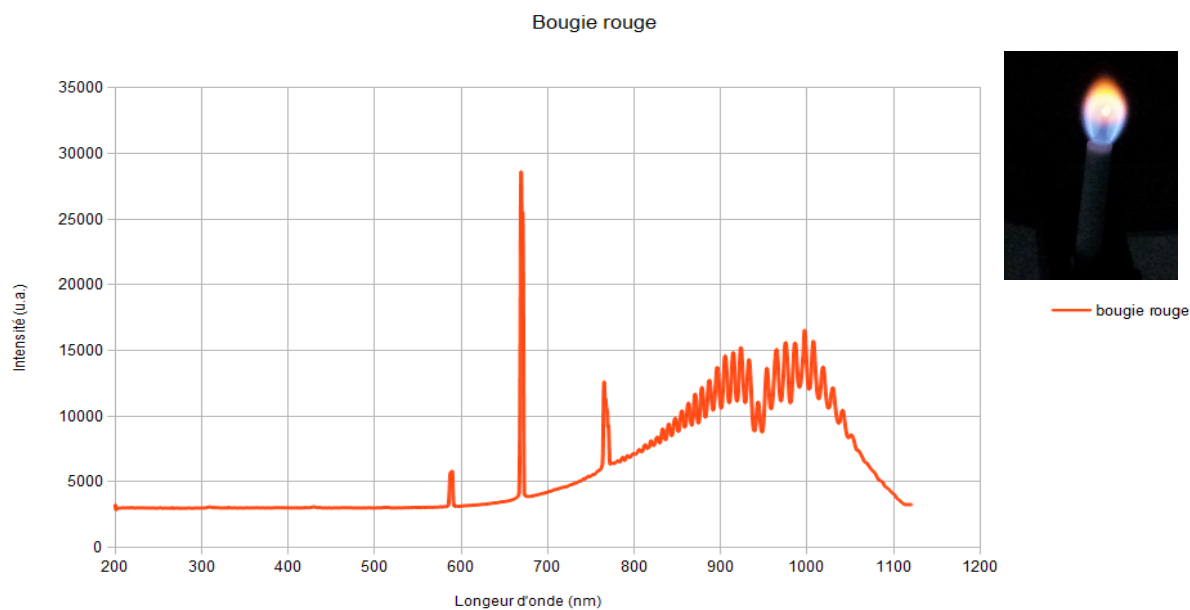
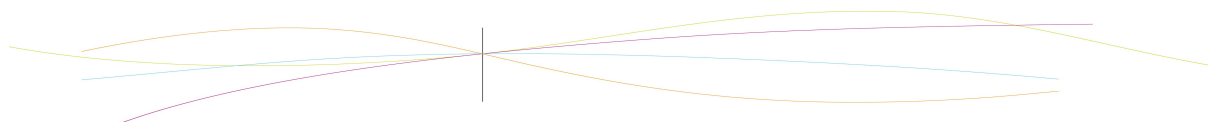
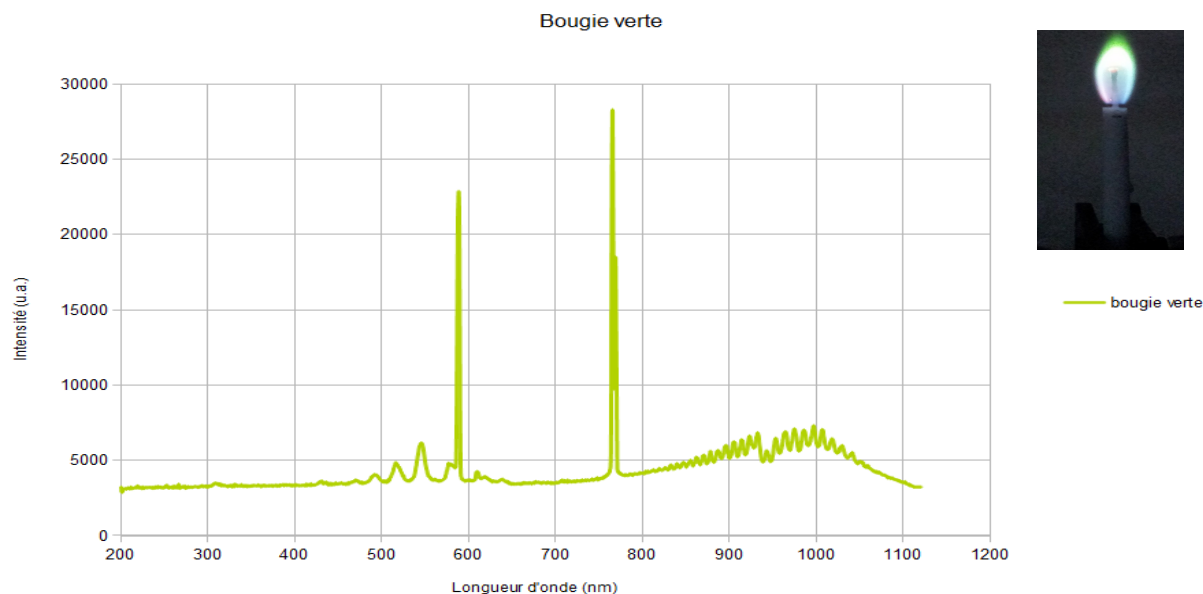


Illustration 21: Spectre de la bougie rouge



L'analyse de la bougie rouge révèle une série de pics d'intensité semblable à celle rencontrée par nos camarades de l'an dernier . On observe le même pic à 589nm, signifiant l'existence de sodium. La longueur d'onde à 670nm correspondrait à du lithium, tandis que la longueur d'onde à 765nm révélerait du potassium.

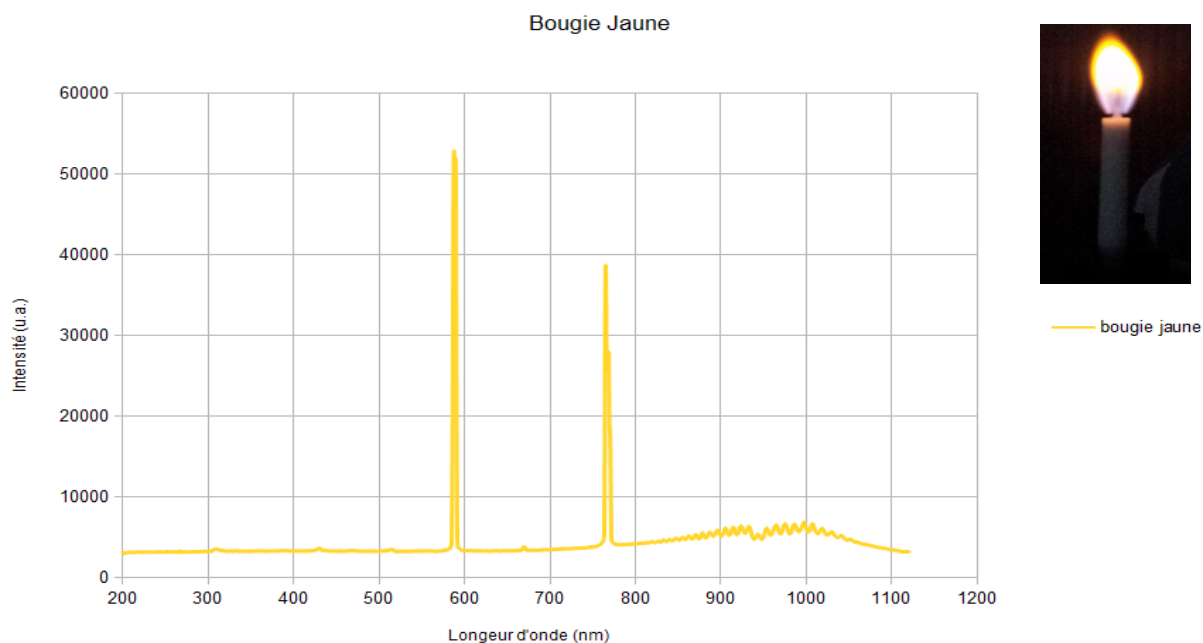
### 6.2.3. Bougie verte



*Illustration 22: Spectre de la bougie verte*

Cette bougie présente un pic important à 588nm et un autre pic à 765nm. La couleur verte semble donc être créée en mélangeant du sodium et du potassium.

### 6.2.4. Bougie jaune



*Illustration 23: Spectre de la bougie jaune*



### 6.2.5. Bougie violette

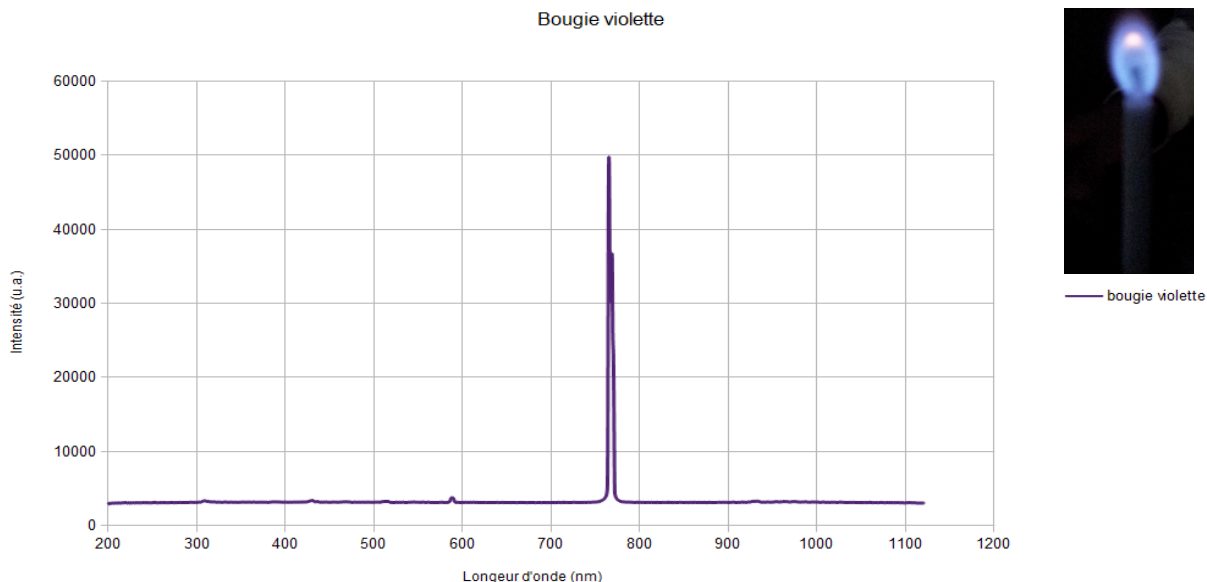


Illustration 24: Spectre de la bougie violette

On remarque l'existence de deux pics très rapprochés. Le premier étant à 765nm et le second se situant à 768nm, on pourrait penser qu'il y a une très forte concentration en potassium. Il semblerait donc que la couleur violette soit uniquement induite par le potassium. On remarque qu'il n'y a aucun autre pic résiduel.

### 6.2.6. Bougie après extinction

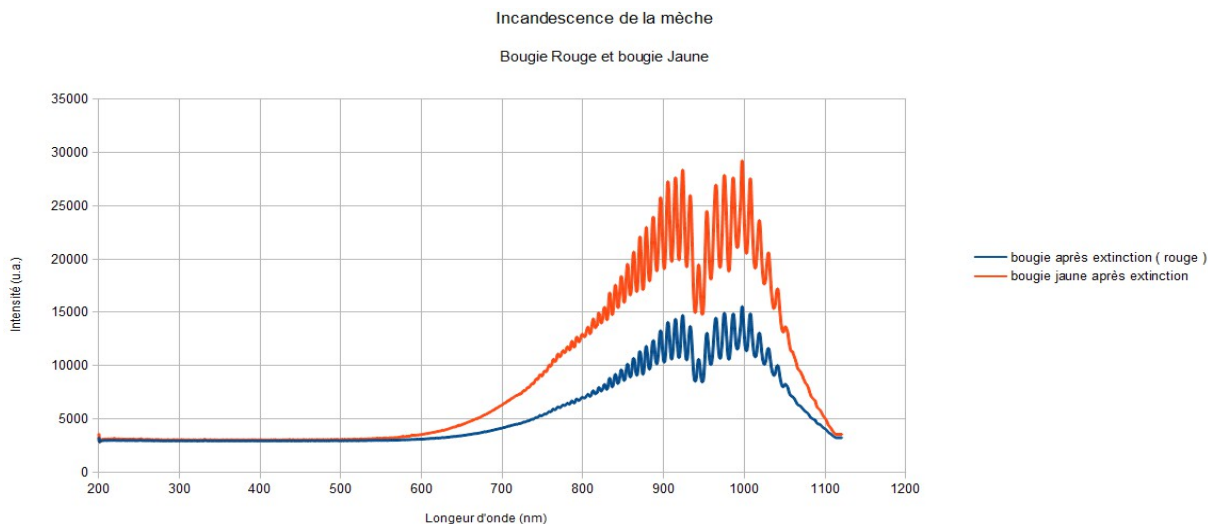
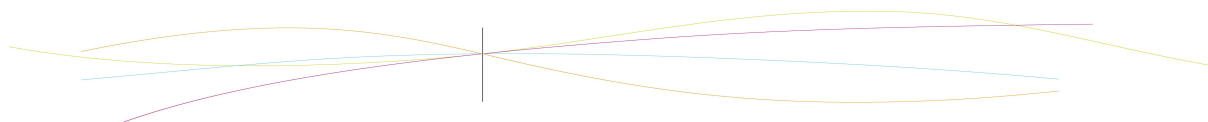


Illustration 25: Spectre de l'incandescence de la mèche

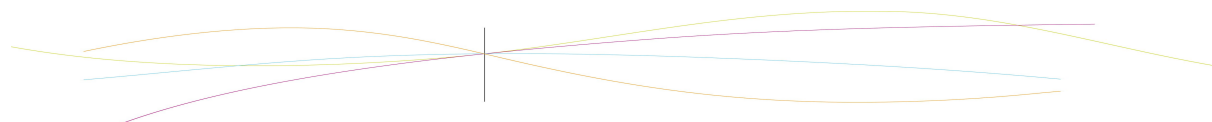
Au moment de l'extinction de la flamme de nos bougies, la sonde continuait de capter un signal. Nous avons donc décidé de garder ces données pour les étudier plus tard. En fait,



il semblerait que ces ondes dans l'infrarouge soient dues à l'incandescence de la mèche des bougies et de la combustion des suies. Cette hypothèse est corrélée avec les graphiques obtenus plus haut, exception faite de la bougie violette.

*Conclusion :*

*On obtient des couleurs en « dopant » la bougie d'espèces atomiques qui, une fois chauffées vont émettre des rayonnements monochromatiques aux longueurs d'onde correspondantes aux couleurs recherchées*



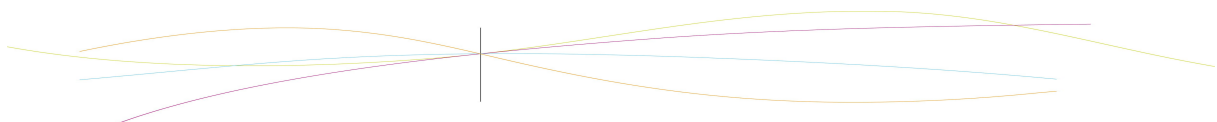
## 7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Tout au long de ce projet, nous avons appris à travailler sur un projet expérimental en groupe, ce qui n'est pas toujours très facile à organiser. Nous avons aussi dû apprendre à nous adapter aux différents aléas du montage et de l'informatique. Parfois nous avons du mal à trouver la bonne orientation de la lampe afin que le capteur ne reçoive pas trop d'intensité.

Durant ces séances, nous avons fait de belles découvertes, notamment les lampes spectrales dont nous ne connaissions que très peu le fonctionnement. Mais nous avons surtout enrichi nos connaissances concernant la spectroscopie d'émission en générale.

Si nous avions eu plus de temps, nous aurions pu développer la partie concernant la lampe spectrale afin de tout de même chercher un moyen pour déterminer le pourcentage de chaque élément présent dans la lampe principale.

Pour un futur projet, il serait intéressant d'étudier d'autres sources spectrales, tel que les tubes dit « horticole », ou bien d'étudier par exemple le spectre émis par des stérilisateurs aux UV. Il pourrait aussi être judicieux de développer un dispositif portable et compact d'acquisitions de spectres.



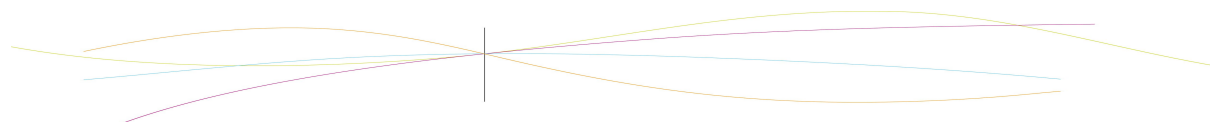
## 8. BIBLIOGRAPHIE

Livres et ouvrages scientifiques :

- « Handbook of Chemistry and Physics », a ready-reference book of chemical and physical data, Forty-First Edition
- G. Gaydon, Chapman & Hall Ltd, « The Spectroscopy of Flames », London, 1957
- Techniques de l'ingénieur, « Spectrométrie optique », par Patrick Bouchareine, publié le 10/10/1994
- Rapport de projet de physique P6, « Spectroscopie et imagerie de flamme », Angélique Hoareau, Audrey Moneger, Aurélien Nicolas, Ghita Farzouz, Jeanne Travert
- Rapport de projet de physique P6, « Spectroscopie à émission de flamme pyrotechnique », Floris Andriessen, Camille Leclere, Olga Herrero, Yannis Merlet, Kathleen Huvette, Mirel Zapciroi

Sites web :

- Notice d'utilisation du spectroscope Maya 2000 et du logiciel SpectraSuite : <http://www.oceanoptics.com/> (valide le 09/06/13)
- Recueil de sources spectrales de différent constructeur : <http://www.lamptech.co.uk/Spectral.htm> (valide le 09/06/13)
- Définition d'un spectre d'émission : [http://en.wikipedia.org/wiki/Emission\\_spectrum](http://en.wikipedia.org/wiki/Emission_spectrum) (valide le 09/06/13)
- Température de couleur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature\\_de\\_couleur](http://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature_de_couleur) (valide le 09/06/13)
- Définition d'une flamme : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Flamme\\_\(combustion\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Flamme_(combustion)) (valide le 09/06/13)
- Synthèse additive : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Synth%C3%A8se\\_additive](http://fr.wikipedia.org/wiki/Synth%C3%A8se_additive) (valide le 09/06/13)
- Formation des images : <http://www.bac-es.net/document/sciences/la-formation-des-images-1943.html> (valide le 09/06/13)



## Index des illustrations

Illustration 1: Réfraction de la lumière par un prisme.....	7
Illustration 2: Montage expérimental sur un banc gradué.....	8
Illustration 3: La sonde disposée sur un cadre avec une vis de précision.....	8
Illustration 4: Le capteur MAYA.....	9
Illustration 5: Détail de l'intérieur du capteur MAYA.....	9
Illustration 6: Spectre de la lampe de bureau.....	11
Illustration 7: Spectre d'émission de la lampe Pierron.....	12
Illustration 8: Spectre d'émission de la lampe Richtleuchte.....	12
Illustration 9: Spectre de la LED verte.....	13
Illustration 10: Spectre de la lumière blanche en corrélation avec les lumières visibles.....	13
Illustration 11: Spectre de la lampe Pierron acquis avec et sans filtres de couleur.....	14
Illustration 12: Taux de transmission pour les filtres de couleurs primaires.....	15
Illustration 13: Spectre de la lampe Pierron acquis avec des filtres de couleurs secondaires.....	16
Illustration 14: Synthèse additive : des rayons de lumières se superposent.....	16
Illustration 15: Les lampes spectrales contenant Hg, Zn, Cd, HgZnCd et Na.....	17
Illustration 16: Spectre d'émission de la lampe au mercure basse pression.....	18
Illustration 17: Spectre d'émission de la lampe Zn au cours du temps. Plus les raies sont sombres, plus l'intensité est grande.....	19
Illustration 18: Spectre d'émission de la lampe Zn à différent temps à partir de l'allumage de la lampe.....	20
Illustration 19: Comparaison du spectre de HgZnCd avec ceux de Zn,Hg et Cd.....	21
Illustration 20: Spectre de la flamme de briquet.....	23
Illustration 21: Spectre de la bougie rouge.....	23
Illustration 22: Spectre de la bougie verte.....	24
Illustration 23: Spectre de la bougie jaune.....	24
Illustration 24: Spectre de la bougie violette.....	25
Illustration 25: Spectre de l'incandescence de la mèche.....	25
Illustration 26: Spectre d'émission de l'argon.....	30
Illustration 27: Spectre d'émission de la lampe HgCdZn.....	30
Illustration 28: Spectre d'émission du cadmium.....	30
Illustration 29: Spectre d'émission du zinc.....	31
Illustration 30: Spectre d'émission de la LED bleu.....	31
Illustration 31: Spectre d'émission de la LED Rouge.....	32
Illustration 32: Spectre d'émission de la lampe Phtwe.....	33
Illustration 33: Spectre d'émission de la lampe au sodium en fonction du temps.....	34
Illustration 34: Spectre d'émission de la lampe au cadmium en fonction du temps.....	34
Illustration 35: Spectre d'émission de la lampe au mercure en fonction du temps.....	35
Illustration 36: Photo de la lampe au mercure en fonctionnement.....	35
Illustration 37: Photo de la lampe au sodium en fonctionnement.....	35
Illustration 38: Photo de la lampe au cadmium en fonctionnement.....	35

## 9. ANNEXES

### 9.1. Spectres d'émission « références »

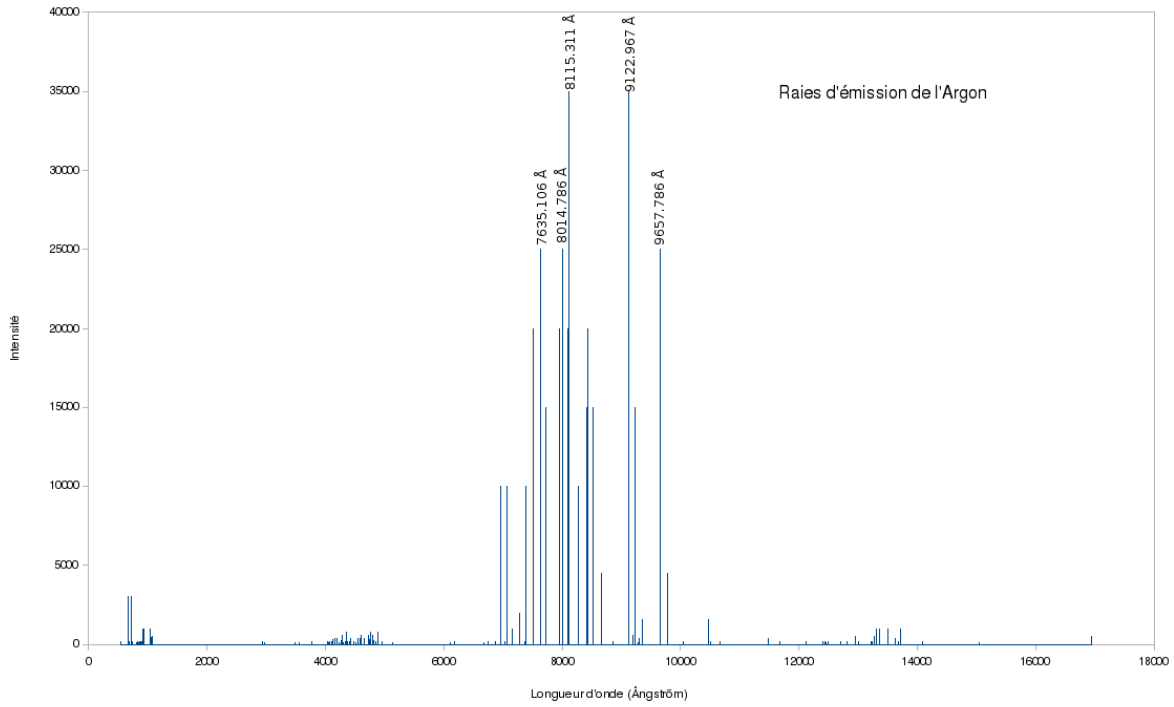


Illustration 26: Spectre d'émission de l'argon

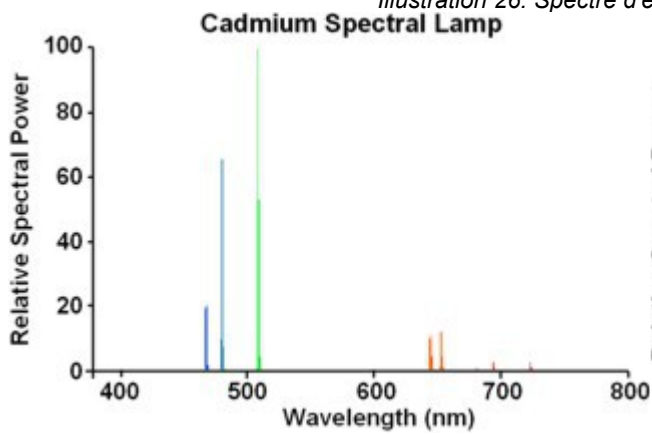


Illustration 28: Spectre d'émission du cadmium

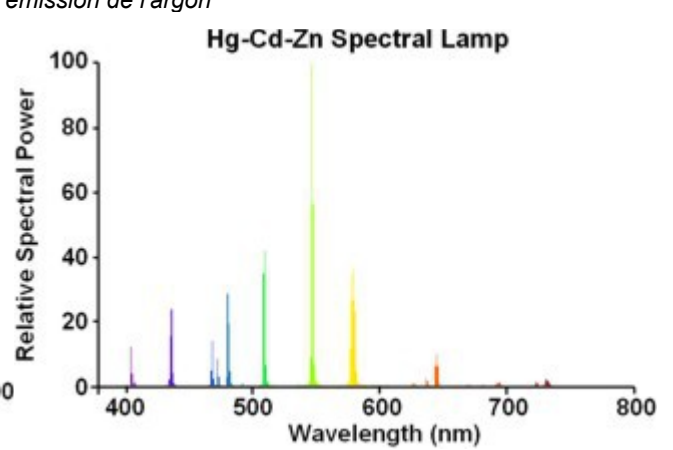
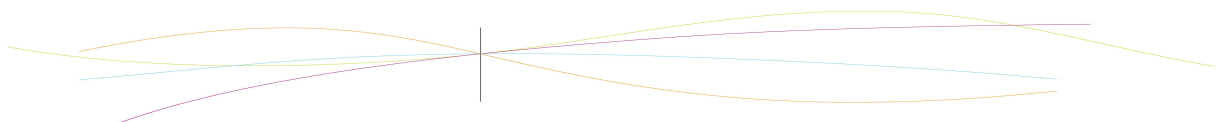


Illustration 27: Spectre d'émission de la lampe HgCdZn



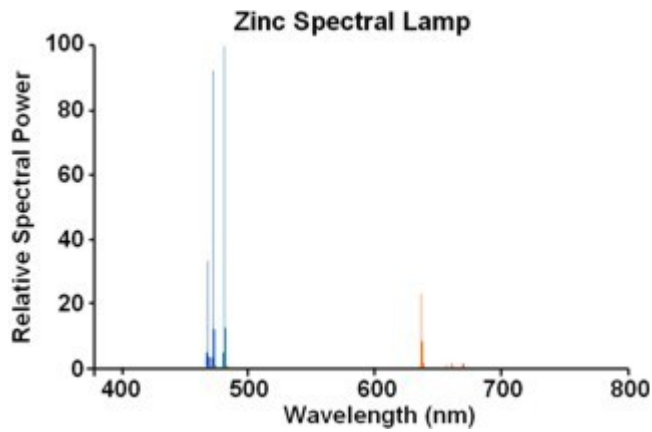


Illustration 29: Spectre d'émission du zinc

Ces spectres ont été récupéré sur le site du constructeur (lamptech, voir bibliographie) et sur wikipédia.

## 9.2. Spectres d'émissions expérimentaux

### 9.2.1. Spectres d'émissions des LED

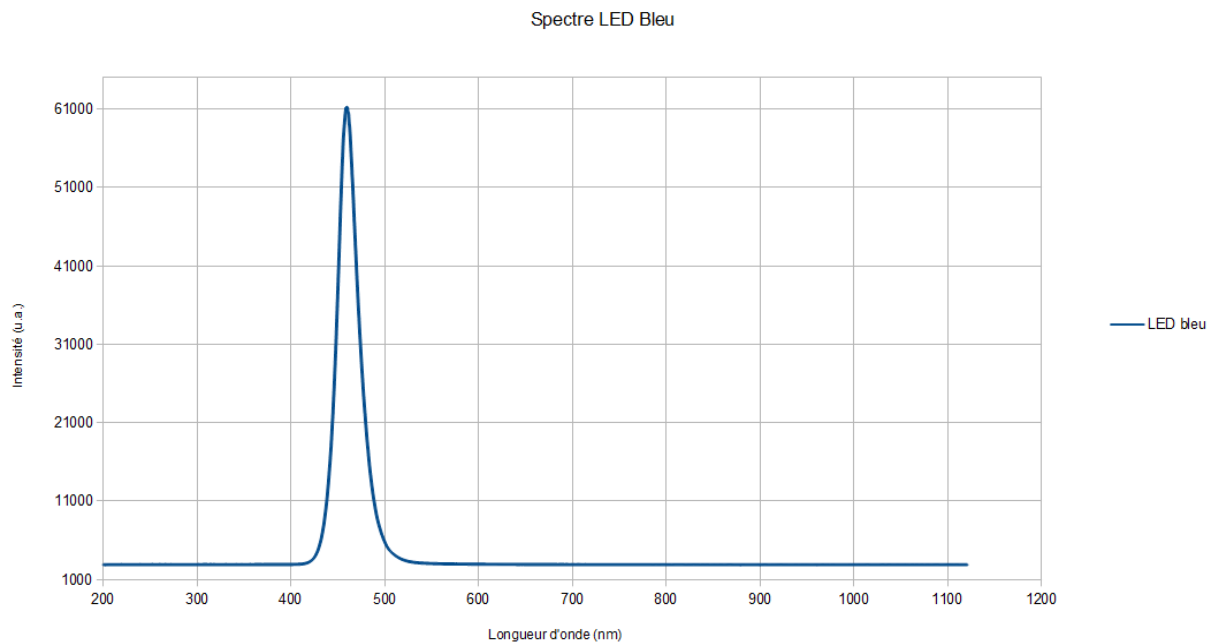
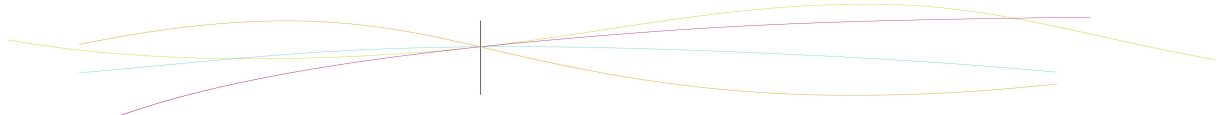


Illustration 30: Spectre d'émission de la LED bleu



Spectre LED Rouge

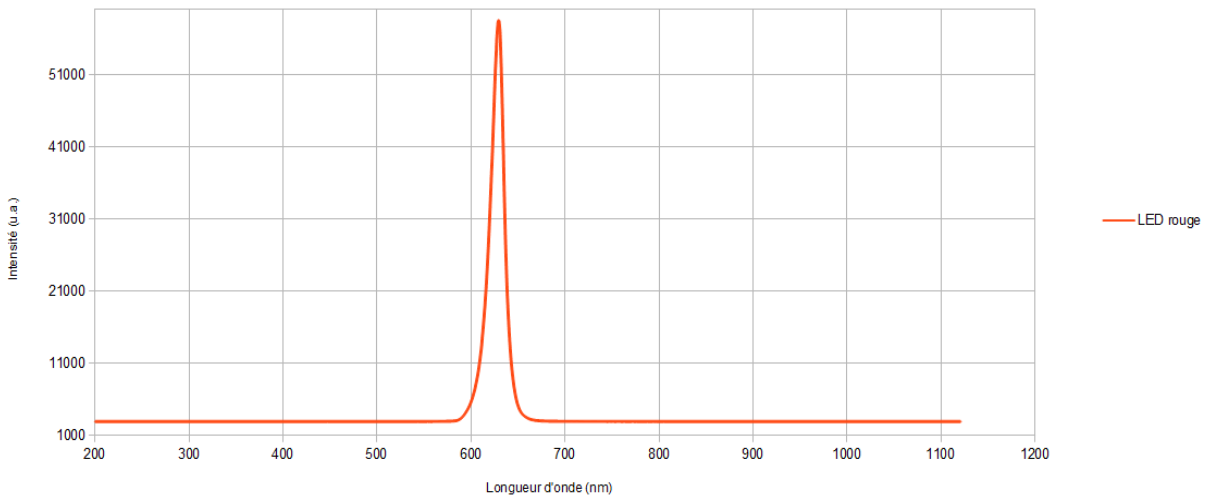
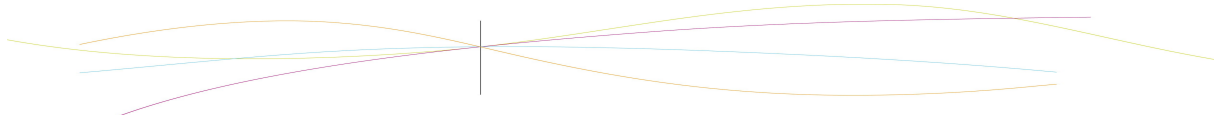
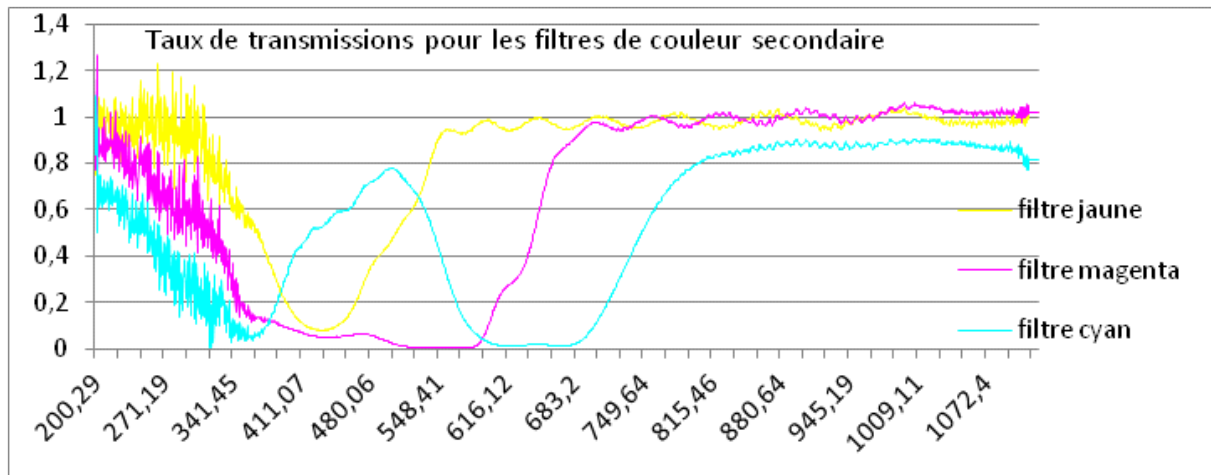


Illustration 31: Spectre d'émission de la LED Rouge

On remarque que les spectres d'émissions révèlent une seule raie, à la longueur d'onde correspondant à la couleur perçue par notre œil.

### 9.3. Filtre de couleur





### 9.3.1. Spectre d'émission de la lampe à lumière blanche Phtwe

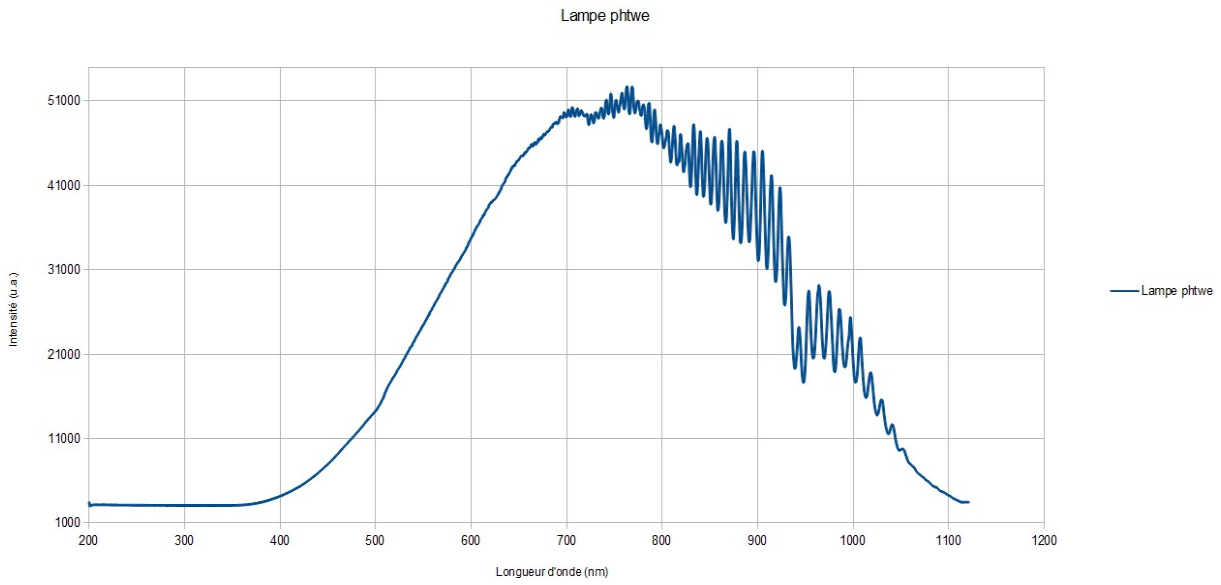
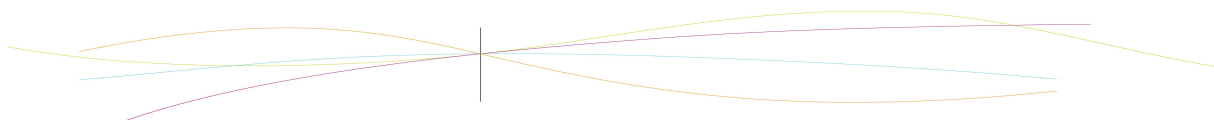


Illustration 32: Spectre d'émission de la lampe Phtwe

On note l'aspect continu de ce spectre, à l'opposé avec ceux des LED.



### 9.3.2. Spectre d'émissions des lampes spectrales

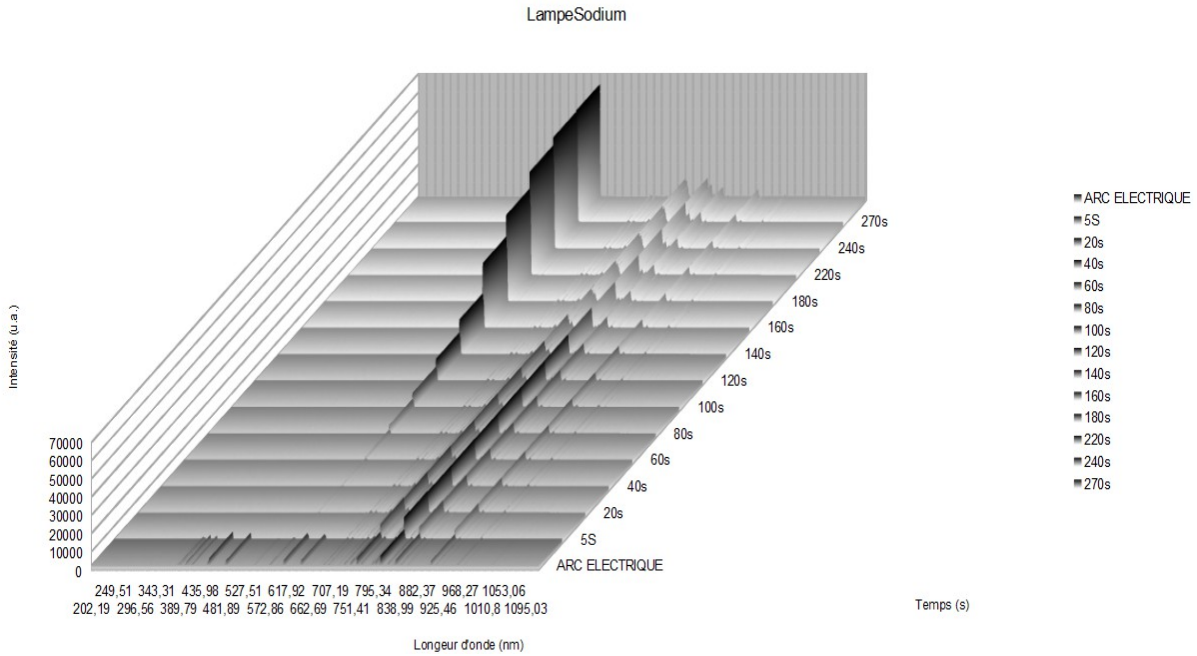


Illustration 33: Spectre d'émission de la lampe au sodium en fonction du temps

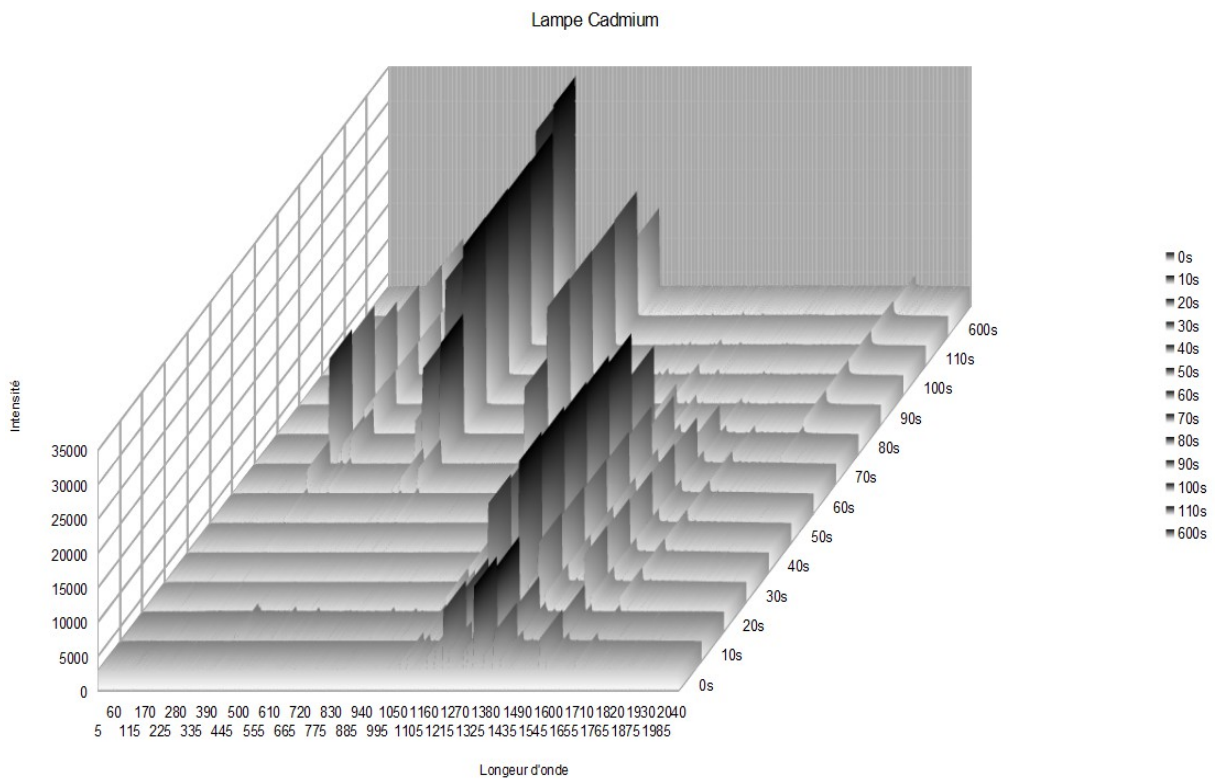
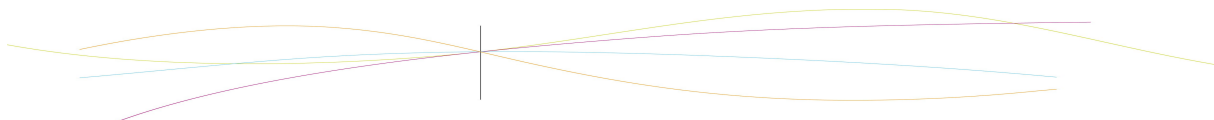


Illustration 34: Spectre d'émission de la lampe au cadmium en fonction du temps



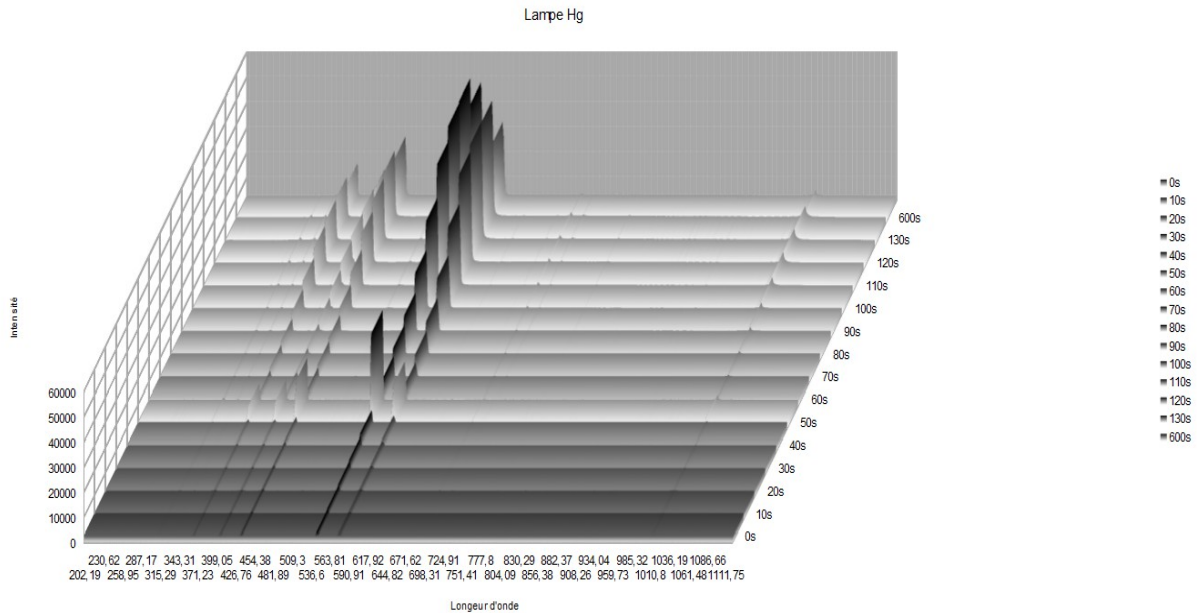


Illustration 35: Spectre d'émission de la lampe au mercure en fonction du temps

L'argon est présent dans nos lampes au cadmium, au zinc, au sodium au mercure et dans la lampe contenant HgZnCd. Sa présence est probante sur les spectres du sodium et du cadmium, où l'on remarque ses raies d'émissions entre 800 et 1000nm. Néanmoins, sa présence n'a pas été décelée sur le graphe de la lampe au mercure lors de l'acquisition, bien que le constructeur mentionne sa présence dans la lampe. L'argon sert à vaporiser les éléments métalliques solides dans la lampe. Son effet a été le plus probant sur la lampe au cadmium, où l'on a pu remarqué à l'oeil nu une variation de couleur, du rouge-rosé typique de l'argon, au bleu-vert du cadmium. Les lampes au sodium et au mercure n'ont pas présenté cette variation de couleur, émanant dès le départ leur couleur caractéristique, respectivement du jaune orangé et du blanc verdâtre.



Illustration 36: Photo de la lampe au mercure en fonctionnement      Illustration 37: Photo de la lampe au sodium en fonctionnement      Illustration 38: Photo de la lampe au cadmium en fonctionnement

