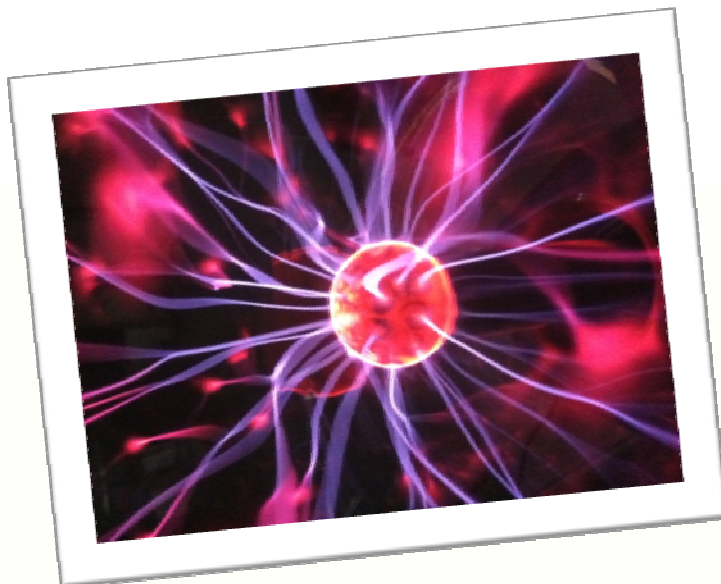


Projet de Physique P6
STPI/P6/2013 – 27

ETUDE DES MILIEUX REACTIFS PAR SPECTROSCOPIE D'EMISSION



Etudiants :

Marion AVENEL

Marie CHATELOT

Florian DUVAL

Axel GUERIN

Fatime-Zahra MEDOUAR

Manon VIGE

Enseignant-responsable du projet :

Diane DUVAL

Date de remise du rapport : **14/06/2013**

Référence du projet : **STPI/P6/2013 –27**

Intitulé du projet : ***Etude des milieux réactifs par spectroscopie d'émission.***

Type de projet : ***Expérimental et bibliographique.***

Objectifs du projet :

Le but du projet est dans un premier temps de comprendre le fonctionnement d'un spectromètre, pour ensuite étudier différents milieux réactifs à l'aide de la spectroscopie d'émission.

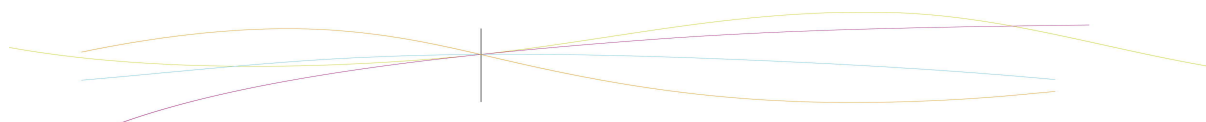
Pour chaque milieu, nous cherchions à trouver et/ou vérifier les différentes substances présentes dans celui-ci à l'aide du spectre d'émission obtenu expérimentalement au préalable.

Mots-clefs du projet: ***Spectroscopie d'émission, plasmas, découvertes expérimentales, travail en groupe.***

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : ***Pas de cahier de laboratoire.***

TABLE DES MATIERES

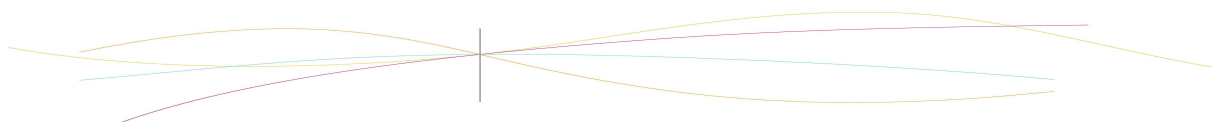
1. INTRODUCTION	6
2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL	7
3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS	8
3.1. GENERALITES.....	8
3.1.1. <i>Histoire de la lumière et de son étude</i>	8
3.1.2. <i>Présentation du spectromètre</i>	9
3.1.3. <i>Introduction au logiciel utilisé</i>	10
3.1.4. <i>Description du montage et aspect optique</i>	11
3.1.5. <i>Expérience témoin : la lumière du soleil</i>	14
3.2. ANALYSE DE MILIEUX PRESENTANT DES SPECTRES D'EMISSIONS DE RAIES	15
3.2.1. <i>Cas d'une lampe à vapeur de mercure</i>	15
3.2.2. <i>Cas d'une boule plasma</i>	16
3.3. ANALYSE DE MILIEUX PRESENTANT DES SPECTRES D'EMISSIONS CONTINUS	18
3.3.1. <i>La lampe à incandescence « classique »</i>	18
3.3.2. <i>La lampe à incandescence à halogène</i>	19
3.3.3. <i>La lampe LED</i>	20
3.3.4. <i>Etude d'une lampe inconnue</i>	21
3.4. SPECTROSCOPIE D'EMISSION DE FLAMMES	22
3.4.1. <i>Expérience des flammes colorées</i>	22
3.4.2. <i>Spectres de bougies commerciales</i>	25
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	27
4. BIBLIOGRAPHIE.....	28
5. ANNEXES	31
TABLE DES ANNEXES.....	31
5.1. SPECTROSCOPE A PRISME DE KIRCHHOFF.....	32
5.2. EXPERIENCES DE KIRCHHOFF	32
5.3. SPECTRES DE RAIES DES GAZ NOBLES.....	33
5.4. TABLEAU COMPARATIF DE LA LAMPE A PLASMA ET DES GAZ NOBLES.....	34
5.5. PROTOCOLE DE L'EXPERIENCE DES FLAMMES COLOREES	35
5.6. FICHE DE SECURITE DES PRODUITS UTILISES	36
5.7. MASSES DISSOUTES POUR LA PREPARATION DES SOLUTIONS	37
5.8. SPECTRES D'EMISSION DES CATIONS UTILISES EN REFERENCE.....	38
5.9. SPECTRES D'EMISSION DE FLAMME EXPERIMENTAUX	39
5.10. SPECTRES D'EMISSION DU SODIUM ET DU SOUFRE	40



Remerciements

Nous tenons à remercier Mme Diane DUVAL, notre enseignante-responsable de projet de P6, pour son aide tout au long du projet, sa patience et sa volonté à partager ses connaissances sur la lumière, les spectromètres et les plasmas.

Nous souhaitons également remercier Mme Isabelle DELAROCHE, enseignante en chimie ainsi que Kévin LEROUX, doctorant en chimie, pour leur aide, leurs conseils et le prêt du matériel lors de la réalisation des expériences en laboratoire de chimie.



1. INTRODUCTION

Au cours de notre deuxième année à l'INSA, nous sommes amenés à réaliser un projet de physique par groupe de six étudiants que nous ne connaissons pas forcément auparavant.

Ce projet s'est étendu sur 14 semaines, durant lesquelles nous nous sommes réunis chaque mercredi de 13h15 à 14h45, encadrés par Mme Diane DUVAL. Certaines semaines, nous avons dû mettre en place un ou plusieurs créneaux (x) supplémentaire (s) pour un meilleur avancement du projet.

Notre sujet de projet, « **Etude des milieux réactifs par spectroscopie d'émission** », nous a emmené à poursuivre les objectifs suivants : comprendre tout d'abord le mode de fonctionnement d'un spectromètre, pour ensuite mettre en application le principe de la spectroscopie d'émission sur différents milieux et ainsi les étudier.

Il faut savoir que la spectroscopie est l'étude expérimentale du spectre de la lumière émise pour la spectroscopie d'émission, (ou absorbée, pour la spectroscopie d'absorption), par l'objet étudié. Aujourd'hui, ce principe est décliné en une multitude de techniques expérimentales spécialisées qui trouvent des applications dans quasiment tous les domaines de la physique : astronomie, biophysique, chimie, physique des plasmas, physique nucléaire, mécanique, acoustique etc.

On analyse par spectroscopie non seulement la lumière visible, mais aussi le rayonnement électromagnétique dans toutes les gammes de fréquence, les ondes élastiques comme le son ou les ondes sismiques, ou encore des particules.

Ainsi, les raies d'absorption et d'émission étant fortement spécifiques à chaque substance, elles peuvent être employées pour identifier facilement la composition chimique de n'importe quel milieu capable de laisser passer la lumière. Mais les raies d'absorption et d'émission dépendent également des conditions physiques du gaz. C'est pourquoi, elles sont largement répandues pour déterminer la composition chimique et l'état physique des étoiles et d'autres corps célestes qui ne peuvent pas être analysés par d'autres moyens.

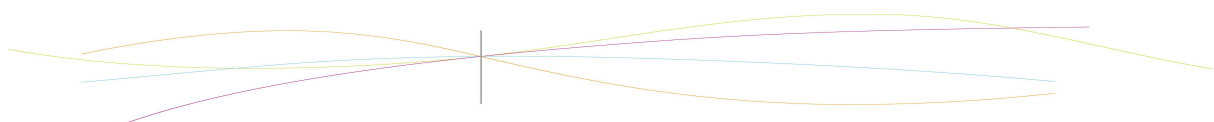
Dans ce rapport, nous vous rapporterons toutes les expériences que nous avons effectuées, ainsi que leurs résultats et leurs analyses.

Ainsi, nous commencerons par développer dans une première partie, l'ensemble des éléments nécessaires à la compréhension de notre projet, avec l'histoire de la spectroscopie, le fonctionnement d'un spectromètre et du logiciel que nous avons utilisé ainsi que le montage optique utilisé lors de chacune de nos expériences et la description de notre expérience témoin avec la lumière du soleil.

Nous rapporterons ensuite le détail des expériences concernant les spectres de raies avec la lampe à mercure et la boule à plasma.

Puis, dans une troisième partie, nous rassemblerons les résultats des expériences donnant des spectres continus avec l'étude des lampes à incandescence, halogène, à basse consommation et de LED.

Pour finir, dans une quatrième partie nous rapporterons les résultats d'expériences chimiques avec l'expérience des flammes colorées puis des bougies colorées ou parfumées.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

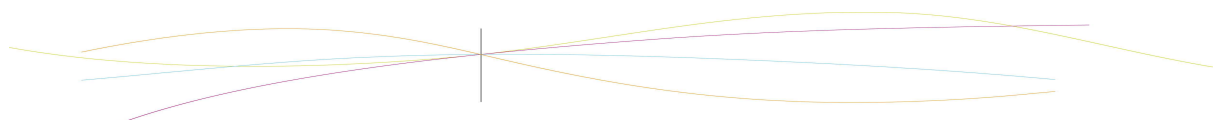
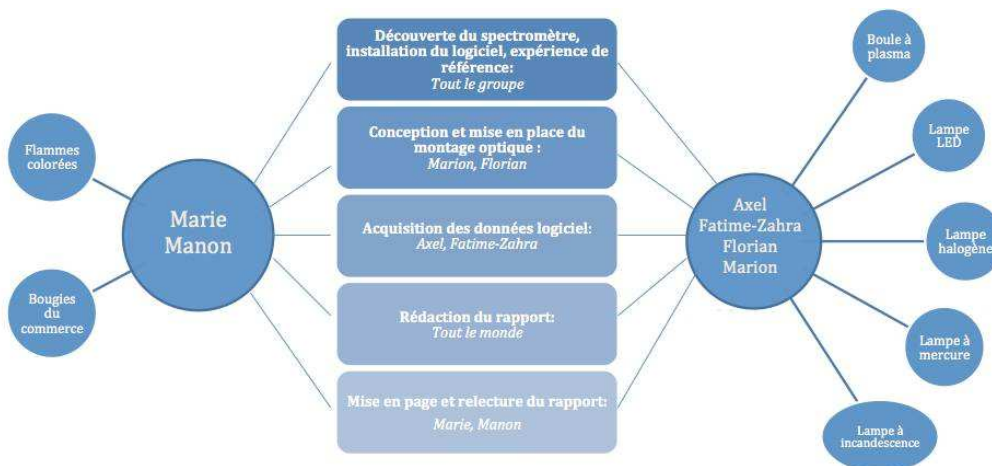
Les premières séances furent consacrées à des recherches sur la spectroscopie et plus précisément la spectroscopie d'émission. Suite à ces recherches nous avons cerné des milieux réactifs à étudier à notre portée et des axes de recherches. Afin de les étudier, un appareil de mesure, le spectromètre, nous était indispensable pour réaliser notre projet. Notre enseignant encadrant, Mme DUVAL nous proposa alors un appareil, le SPID-HR. D'un autre côté M. YON, professeur de physique à l'INSA, nous présenta un second appareil, celui-ci plus petit et transportable. Il nous parut plus pratique à utiliser car nous savions que certaines expériences allaient se réaliser dans le bâtiment Darwin, structure des salles de chimie. Cependant après deux séances de recherches, nous n'avons pas pu installer son logiciel et nous avons donc utilisé le spectromètre SPID-HR tout le long de notre projet. Une autre séance fut nécessaire pour mieux connaître l'appareil et réaliser le montage optique.

Plusieurs expériences se sont démarquées suite à nos recherches, une partie « physique » avec l'étude de lampes diverses et une partie « chimie » pour l'étude de flammes. Nous avons pu nous répartir selon nos affinités aux deux domaines. L'expérience du plasma nécessita l'achat d'une boule plasma, commandée sur Internet. Quant à l'expérience de chimie, les séances habituelles de P6 du mercredi durent s'accompagner de séances durant des plages horaires que nous fixions selon nos emplois du temps. Outre ces séances de préparation, et les recherches personnelles, le projet ne s'étendit que sur le créneau de P6, à raison de 1h30 par semaine. Une fois la phase de recherche passée, les séances étaient consacrées par la suite aux expériences.

Les problèmes retenus de ce projet restent les séances d'installation du spectromètre et la réalisation en dehors des créneaux habituels de P6 des expériences de chimie. Trouver des créneaux horaires communs ne fut pas tâche facile.

Cependant, toute la réalisation du projet se facilita grâce à la communication intragroupe. Un groupe sur le réseau social Facebook nous a permis de partager nos idées et nos documents en dehors de la séance de projet. Un autre élément important du suivi de notre projet fut la gestion d'un « cahier de bord » du projet. A chaque fin de séance nous le complétions pour noter ce qui avait été réalisé pendant la séance et ce qu'il fallait prévoir pour la suivante. Celui-ci nous aida lors de la réalisation de ce rapport pour se souvenir le plus précisément possible de la rétrospective du projet.

Nous vous présentons maintenant un diagramme récapitulatif des tâches effectuées tout au long du projet, des sujets traités et des personnes ayant participé à chacun d'eux :

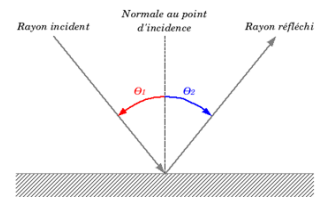


3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Généralités

3.1.1. *Histoire de la lumière et de son étude*

Dès l'antiquité, la lumière a été étudiée. Vers 300 avant JC, Euclide expose les premières définitions fondamentales de l'optique dont la propagation des rayons lumineux en ligne droite dans les Eléments. Puis au I siècle avant JC, Héron l'Ancien (mathématicien et mécanicien grec) montre avec différents miroirs (plan, concave et convexe), l'égalité entre les angles de réflexion et d'incidence dans les Catoptriques. Mais toutes ces lois fondamentales de la lumière n'expliquent pas la composition et la nature de celle-ci.



(Source¹)

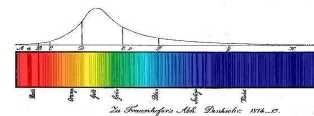
Au moyen âge, deux découvertes ont été faites. La première par Théodoric de Freibourg (philosophe et mathématicien allemand) en 1304 où il montre correctement le phénomène des arcs-en-ciel avec un bol sphérique rempli d'eau. La deuxième est la compréhension du fonctionnement de l'œil par Ibn Al-Haytham. Il démontre que c'est l'objet et non l'œil qui est à l'origine de la vision dans Optique en 1572.

A partir du XVII siècle, les avancées sur la lumière s'accélérent. Isaac Newton, père des bases actuelles sur l'étude de la lumière, est 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 montre par la suite qu'un rayon de la lumière blanche isolée ne peut pas être décomposé une seconde fois, ce rayon est dit monochromatique. Il constate que le prisme dévie les rayons bleus avec un angle plus important que les rayons rouges. Il conclut de ces expériences que toutes les couleurs sont présentes dans la lumière blanche et que le prisme permet de les séparer en un spectre.



(Source illustration²)

Après la mort de Newton en 1727, il fallut attendre le début du XIX siècle pour voir des avancées au niveau de la lumière. William Herschel s'aperçoit lors d'une expérience avec un thermomètre, que la lumière émet de la chaleur au-delà du rouge. Il appelle donc ces radiations les infrarouges. De même, Ritter démontre l'existence des rayons ultraviolets en 1801. En 1814, Joseph Fraunhofer (physicien allemand) utilise une fente pour produire un faisceau lumineux très fin et il peut ainsi observer 600 raies dans le spectre du Soleil. Il décide d'étiqueter les raies les plus brillantes avec les lettres de l'alphabet. Parmi les raies de Fraunhofer, les plus connus sont les raies du Sodium D.

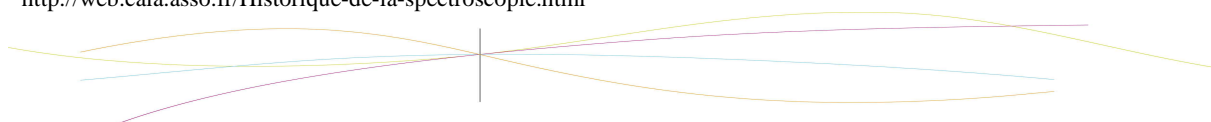


(Source illustration²)

En 1852, Jean Foucault montre que la lumière qui traverse une flamme de sodium émet un spectre similaire aux raies D du Soleil. Ce sont les physiciens allemands Kirchhoff et Bunsen qui vont démontrer que chaque élément a son propre jeu de couleur et qu'il est

¹ <http://tpearcenciel.wordpress.com>

² <http://web.cala.asso.fr/Historique-de-la-spectroscopie.html>



possible de reconnaître un élément par la position des raies du spectre d'émission. Kirchhoff trouve également trois lois sur le rayonnement : la lumière blanche émet un spectre continu ; un corps solide, liquide ou gazeux chaud incandescent émet un spectre discontinu (spectre d'émission) ; ce même corps chaud entouré d'un gaz froid produit un spectre presque continu (spectre d'absorption). Kirchhoff met au point en 1859 le tout premier spectroscopie à prisme qu'il utilise par la suite dans les analyses chimiques. (Voir schéma du montage en annexe 1 et illustration des expériences de Kirchhoff en annexe 2).

En 1882, les réseaux vont s'avérer donner les mêmes résultats que les prismes mais avec une meilleure définition spectrale. Au XX^{ème} siècle, les chercheurs étudient le spectre des ondes électromagnétiques qui se composent aussi bien du domaine du visible que les domaines X, Radio et Gamma.

Toutes ces découvertes ont permis, chacune à leur manière, de contribuer à l'élaboration des spectroscopes actuels dont nous allons maintenant vous présenter le fonctionnement.

3.1.2. Présentation du spectromètre

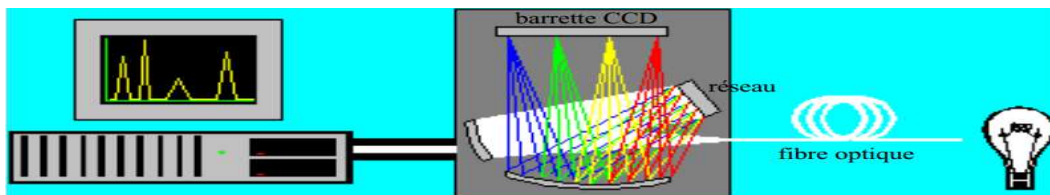
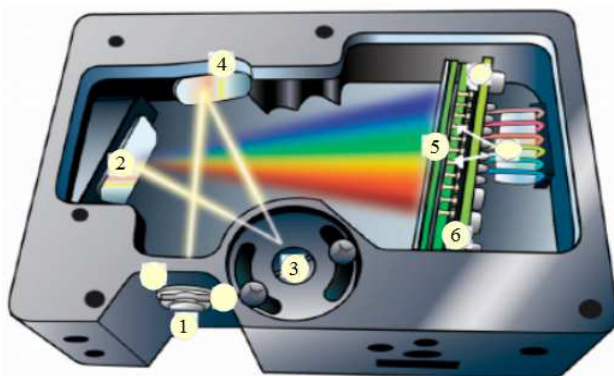


Schéma du dispositif complet: l'ordinateur, le spectromètre et l'objet étudié⁴

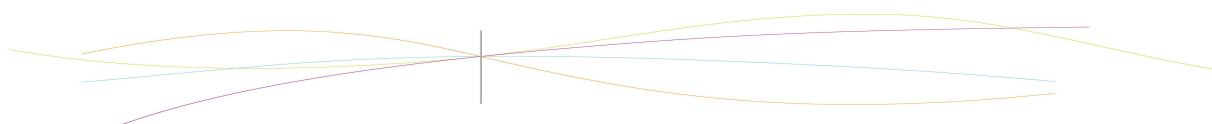
Le spectromètre permet d'analyser des spectres d'émission ou d'absorption de la lumière afin de reconnaître les éléments émettant cette lumière. Le spectromètre se compose d'une barrette CCD (Charge Coupled Device), de deux miroirs et d'un réseau. La lumière débute son trajet en passant à travers la fibre optique (1) et un filtre. Ensuite, elle est réfléchiée par un premier miroir (4) vers le réseau (3). Le réseau décompose la lumière. Cette lumière diffractée se propage vers un deuxième miroir (2). Le deuxième miroir dirige la lumière vers la barrette CCD (6). Celle-ci convertit l'intensité lumineuse perçue en un signal électrique. Tout ce signal électrique est ensuite analysé par l'ordinateur. (Source illustration³)



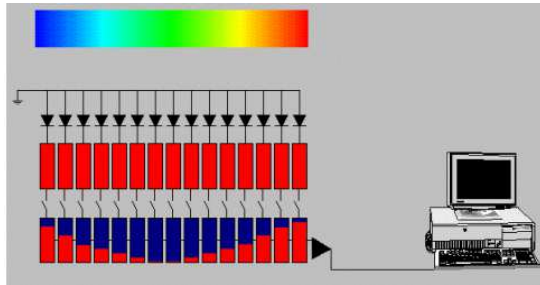
Éléments composant un spectromètre

1. Entrée de la fibre optique
2. Deuxième miroir
3. Réseau de diffraction
4. Premier miroir
5. Lentille cylindrique de collection qui permet de concentrer la lumière émise afin d'augmenter le niveau du signal
6. Barrette CCD

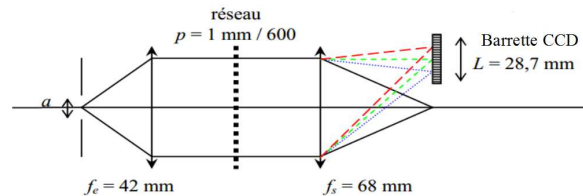
³ Source : <http://poisson.ens.fr/Collection/documents/annexes/N0581.PDF>



La barrette CCD est constituée d'un ensemble de photodiodes reliées à des condensateurs. Pendant la durée d'intégration (réglable au sein du logiciel et pouvant aller de 3ms à 60s), chaque condensateur se charge, puis les interrupteurs se ferment un à un pour transmettre le signal électrique à l'ordinateur. Une fois le signal transmis à l'ordinateur, les interrupteurs s'ouvrent et une nouvelle période d'intégration commence. Le schéma suivant montre la composition de la barrette CCD. On s'aperçoit que chaque condensateur correspond à une longueur d'onde bien précise. Le temps de charge de chaque condensateur va correspondre à l'intensité lumineuse détectée par chacun.



La barrette CCD⁴



L'équivalent optique⁴

Le fonctionnement du spectromètre peut être représenté par un équivalent optique. Cet équivalent se compose de deux lentilles convergentes et d'un réseau à transmission.

Un spectromètre possède un pouvoir de résolution spectrale. Il s'agit de la capacité d'un spectromètre à pouvoir « zoomer », c'est-à-dire pouvoir réduire le champ d'observation de sorte à avoir une plus grande précision sur les pics et aussi pouvoir en différencier plusieurs s'ils sont très proches. C'est un peu la précision du spectromètre : plus il est capable de différencier des longueurs d'ondes proches, plus sa résolution est grande. Notre spectromètre devait être de résolution assez faible car nous ne pouvions pas modifier la plage de longueur d'ondes des mesures, mais nous pouvions toutefois distinguer des pics quand ils n'étaient pas trop proches et d'intensité suffisante. La résolution spectrale dépend du réseau (zone où sont reçues les ondes) mais aussi de la largeur de la fente d'entrée. La résolution est définie par la formule suivante :

$$R = \lambda_0 / \Delta \lambda$$

Avec : - λ_0 la longueur d'onde à laquelle on a choisi de calculer la résolution.

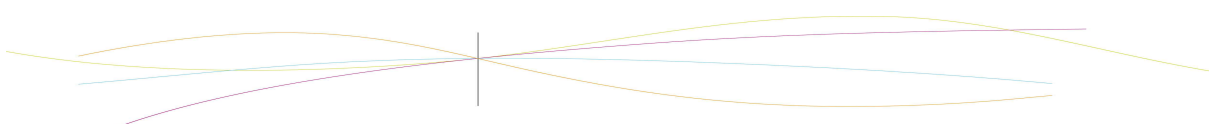
- $\Delta \lambda$ l'intervalle de longueur d'onde de la pleine largeur à demi-hauteur d'une raie d'étalonnage.

3.1.3. Introduction au logiciel utilisé

Afin d'exploiter ce que le capteur du spectromètre détectait, nous utilisons un ordinateur auquel le spectromètre était connecté. Cependant, il ne s'agit pas d'un branchement classique car l'ordinateur devait posséder un port parallèle, ce qui n'est pas le cas en général. Nous avons donc dû nous en procurer un muni de ce dispositif.

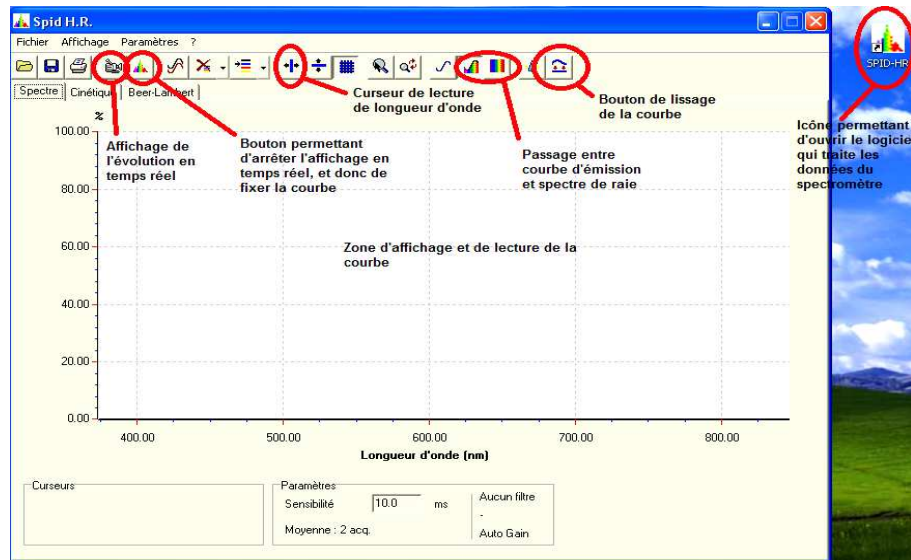
Pour visualiser les courbes, nous utilisons le logiciel qui traite les signaux envoyés par le spectromètre, SPID-HR. Celui-ci, doit toujours être lancé après l'allumage du spectromètre. Il suffit alors d'activer l'affichage en temps réel (voir figure ci-après) pour commencer à afficher la courbe. Afin d'améliorer la lisibilité de la courbe, nous pouvions effectuer différents réglages tels que la forme d'affichage de la courbe, l'option de lissage ou la sensibilité.

⁴Source : <http://physique-eea.ujf-grenoble.fr/intra/Organisation/CESIRE/OPT/DocsOptique/Notices/SpectroCCD.pdf>



En effet, nous pouvons afficher et observer le signal de différentes manières. Nous avons exploité cette possibilité, par exemple en passant de la courbe d'émission au spectre de raies pour voir plus clairement les pics. Le curseur a aussi été très pratique pour déterminer avec une bonne précision les longueurs d'onde des différents pics observés, et ensuite chercher à quelle substance ces derniers correspondaient.

Le bouton de lissage de la courbe a aussi permis d'atténuer les « vagues » observées sur les courbes dues aux différents niveaux de réactions des capteurs du spectromètre, et ainsi les rendre plus ressemblantes aux courbes que l'on peut trouver dans les tables ou sur internet sans pour autant les fausser.



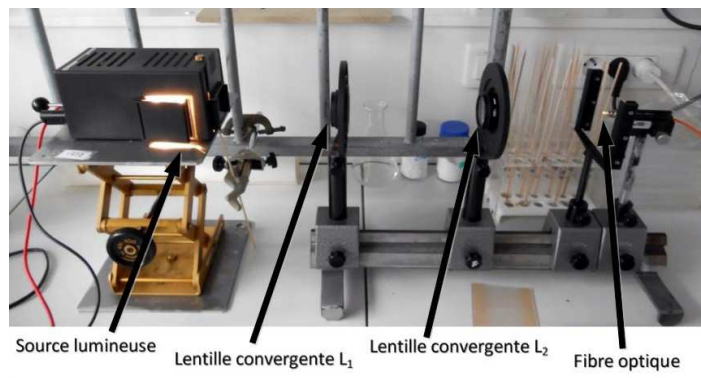
Impression d'écran du logiciel utilisé

Aussi, nous avons souvent utilisé le logiciel *Paint* en complément d'impression d'écran pour pouvoir capter les courbes qui n'apparaissaient que furtivement.

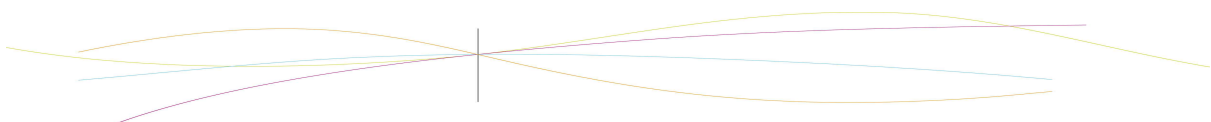
3.1.4. Description du montage et aspect optique

3.1.4.1. Présentation du matériel et intérêt

Nous cherchons à concentrer le flux lumineux au niveau de la fibre optique afin d'avoir des résultats plus précis. Pour cela il nous faut récupérer un maximum de rayons lumineux émis par la source et les concentrer en un point. Dans ce but, nous mettons en place le matériel suivant:



Photographie du montage utilisé



Le système est composé d'une source lumineuse à étudier, de deux lentilles convergentes de mêmes distances focales et d'une fibre optique sur son support. Nous nous servons toujours de la lampe présente sur cette photographie pour effectuer le réglage.

L'avantage de ce système est qu'il nous permet d'étudier la lumière émise à une certaine distance de la source. Cela nous permet dans un premier temps de garantir une certaine sécurité concernant la chaleur relative à cette source ; dans le cas des flammes, par exemple, cela ne brûlera pas le matériel. Dans un second temps, comme dit précédemment, cela nous apporte une meilleure précision, les rayons étant concentrés sur la fibre optique.

3.1.4.2. Systeme optique theorique

En nous fondant sur les principes de l'optique géométrique, nous savons que tous les rayons partant du point foyer objet F d'une lentille convergente sont réfractés par celle-ci de façon parallèle à l'axe optique. À l'inverse, tous les rayons arrivant parallèles à l'axe optique, traversant une lentille convergente sont redirigés par celle-ci de façon à ce qu'ils coupent cet axe au point F', point foyer image de la lentille.

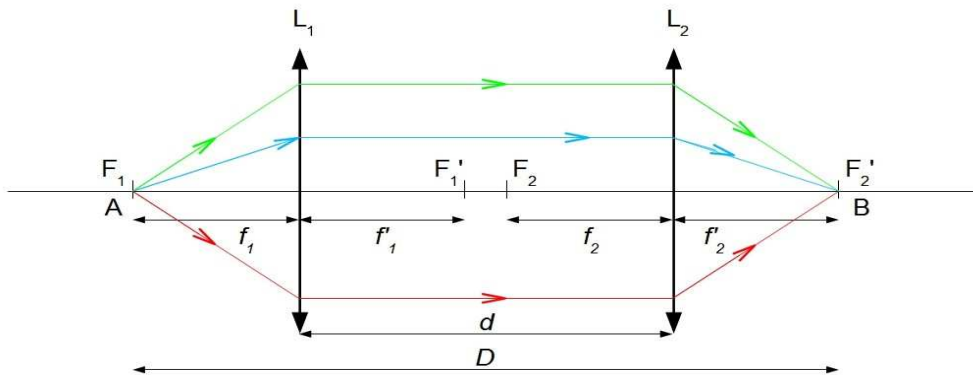


Schéma optique équivalent du système utilisé

Ainsi, si notre source lumineuse, notée A, est confondue avec le point foyer objet F₁ de la première lentille L₁, tous les rayons qu'elle émet seront parallèles à l'axe optique après l'avoir traversée. Ensuite ces rayons traversent la seconde lentille L₂, toujours parallèles à l'axe optique, et s'entrecroisent donc en F₂', point foyer image de L₂. On en conclut que notre fibre optique, notée B doit être confondue avec F₂' pour qu'elle reçoive le maximum d'intensité lumineuse.

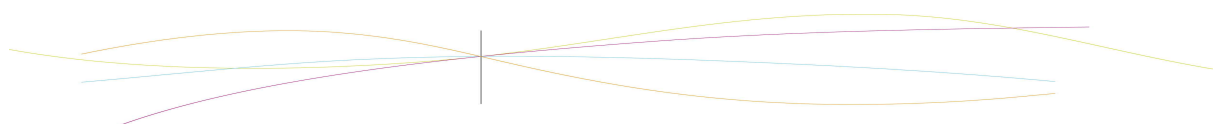
Pour ne pas avoir à différencier l'une ou l'autre lors du montage, nous avons choisi de prendre deux lentilles convergentes de même distance focale. Ainsi nous avons :

$$f'_1 = f'_2 = -f_1 = -f_2$$

Nous souhaitons aussi réaliser nos expériences avec un banc optique de 50cm pour pouvoir le transporter plus facilement, par exemple pour nos expériences en laboratoire de chimie. Comme la longueur du banc optique notée D est égale à la somme de la distance focale image de L₁, la distance séparant les deux lentilles notée d qui est quelconque pour notre montage, et la distance focale objet de L₂ ; nous pouvons écrire :

$$D = f'_1 + d + |f_2| \Leftrightarrow d = D - f'_1 - |f_2| = D - 2 \times f'_1$$

Si on choisit f'₁=150mm nous aurons d=200mm ce qui est tout à fait correct comme ordre de grandeur. Pour toutes nos expériences nous aurons donc -f₁ = f'₂ = 150mm.



3.1.4.3. Vérification de la coïncidence entre les points A et F_1 par la méthode d'auto-collimation

Nous plaçons tout d'abord la première lentille convergente L_1 en bout de banc optique. Puis nous plaçons la source lumineuse sur un élévateur à une quinzaine de centimètres du début du banc, car nous avons $f_1 = -150\text{mm}$. Nous nous assurons que la source et la lentille sont dans l'axe optique défini par le banc, puis nous réglons la hauteur de la source à la hauteur du centre de L_1 , grâce à l'élévateur, pour que les rayons qu'elle émet passe à travers. Nous plaçons ensuite un miroir plan derrière L_1 pour se retrouver avec le système optique suivant :

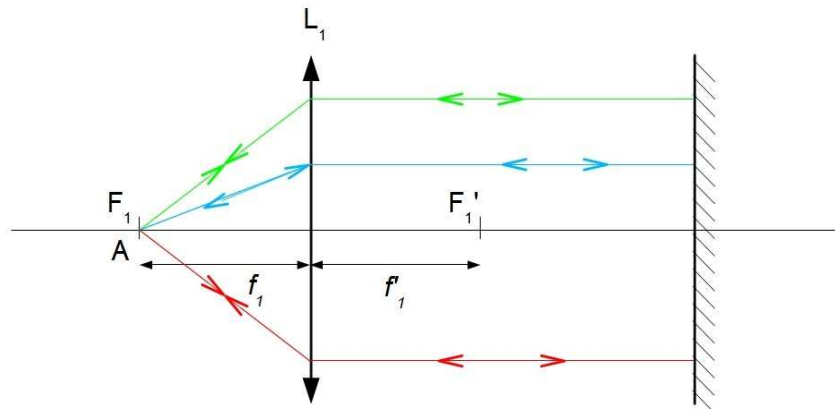


Schéma optique de la méthode d'auto-collimation

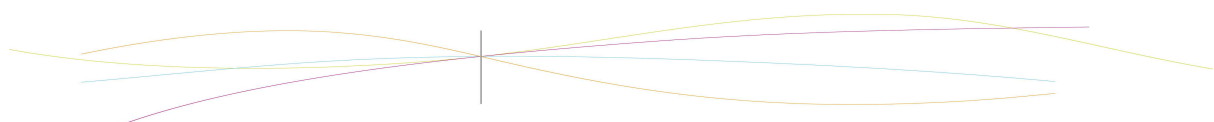
Toujours en se fondant sur les lois de l'optique géométrique, nous savons que les rayons émis par la source A seront réfractés par L_1 de façon parallèle au banc optique si A est confondu avec le point foyer objet F_1 de L_1 . De plus, tout rayon étant confondu avec la normale d'un miroir plan, sera réfléchi de la même manière en sens inverse. Ainsi les rayons vont retraverser L_1 de la même façon et l'image de la source sera confondue avec elle-même.

En pratique, nous allumons la source et nous regardons l'image de celle-ci sur elle-même à l'aide d'un miroir plan. Si elle est floue, ce qui est le cas au début du réglage, nous devons déplacer L_1 sur le banc optique de façon à ce que l'image devienne la plus nette possible. Une fois l'image nette, nous fixons la distance entre A et L_1 en vissant L_1 sur le banc optique.

Une manière de vérifier le réglage de la coïncidence entre point source et point foyer objet ci-dessus, est de placer la seconde lentille convergente L_2 à une distance quelconque de L_1 et de déplacer un écran entre ces deux lentilles, perpendiculairement au banc optique. Si l'image sur l'écran reste fixe, le réglage est bon. À l'inverse, si la taille de l'image varie cela signifie que les rayons réfractés ne sont pas réellement parallèles entre eux et avec l'axe optique. Dans ce cas, il suffit de recommencer le réglage précédent jusqu'à obtention d'une image fixe sur l'écran lors de la vérification.

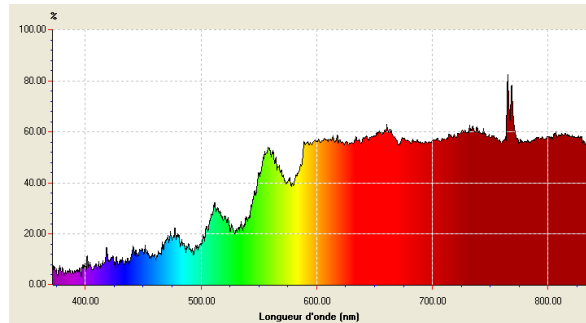
3.1.4.4. Vérification du point foyer image F_2

Nous plaçons maintenant un écran après L_2 et nous le faisons glisser jusqu'à obtenir une image nette sur celui-ci. Une fois cela réalisé nous pouvons placer la fibre optique, maintenue par une pince juste derrière cet écran de papier. On règle alors la hauteur de la pince pour que la fibre soit placée au mieux, à l'endroit où la lumière est la plus concentrée sur l'écran. Il suffit alors de retirer l'écran et le système est réglé, prêt à être utilisé.



3.1.5. *Expérience témoin : la lumière du soleil*

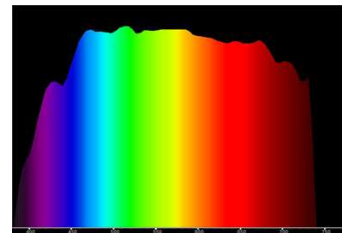
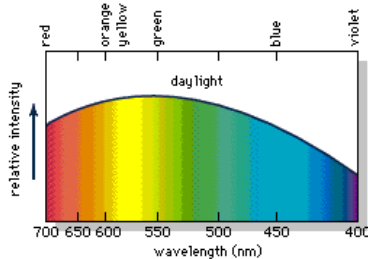
Pour tester le bon fonctionnement du spectromètre, nous avons choisi de réaliser une mesure témoin, avec la lumière du jour tout simplement. Voici un des spectres obtenus :



Spectre du soleil obtenu expérimentalement

Notons d’abord que tous nos spectres expérimentaux expriment l’intensité lumineuse (%) en fonction de la longueur d’onde (nm).

Nous avons été un peu surpris de voir que les couleurs froides, de longueurs d’ondes plus faibles, avaient une amplitude plus faible que le rouge ou le jaune. Nous pensions obtenir un spectre plus homogène étant donné que l’on considère la lumière du jour comme lumière « blanche », c’est-à-dire composée de toutes les longueurs d’onde à intensité égales. Cependant, on peut trouver des spectres de la lumière du jour (du soleil) sur internet, comme les deux spectres suivants :

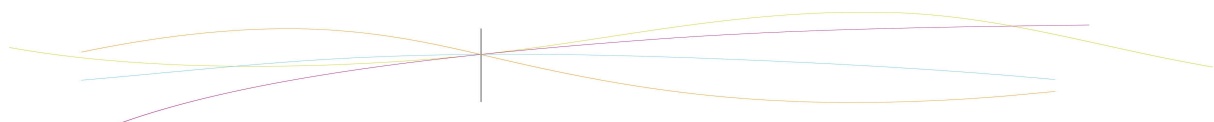


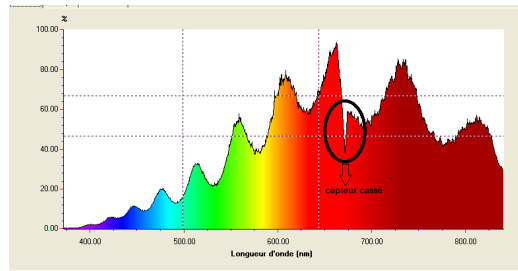
Spectres du soleil théoriques⁵ (intensité en fonction de la longueur d’onde)

En comparaison avec notre courbe obtenue, on voit bien que là aussi le violet et le bleu sont moins prononcés que les couleurs chaudes. On peut donc considérer que le spectromètre fonctionne correctement car les résultats sont semblables à ceux attendus.

Notons tout de même que nous pouvons systématiquement observer un creux dans nos courbes à la longueur d’onde de 675nm, quelle que soit la lumière observée. Nous émettons donc l’hypothèse que cela serait dû à la présence d’un capteur défectueux dans le spectroscope ou plus précisément à une LED dysfonctionnant dans la barre CCD car cette anomalie est permanente. Ce creux est atténué si on augmente le lissage de la courbe comme dans les mesures précédentes, mais on le voit nettement dans notre première série de courbes. Par exemple il est bien visible sur la courbe ci-après :

⁵ Sources : <http://sciencetonante.wordpress.com/2010/12/30/sous-les-lumieres-blafardes-des-autoroutes/> et <http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/light.html>





Spectre d'une lampe à halogène

3.2. Analyse de milieux présentant des spectres d'émissions de raies

Dans chaque système chimique, l'énergie est dite « quantifiée ». Il apparaît que seuls certains niveaux d'énergie soient possibles pour chaque système. Les changements d'états d'un atome, d'une molécule ou autre système quantique correspondent à des valeurs bien précises d'énergie. Par exemple, lorsqu'un gaz est chauffé et excité, il émet des photons de fréquence ν pour libérer un certain quota d'énergie E . Ces deux valeurs sont liées par la relation d'Einstein-Planck

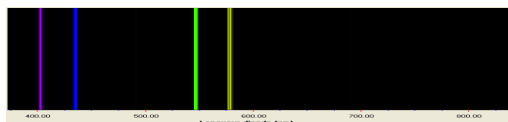
$$E = h \nu \quad \text{où } h \text{ est la constante de Planck.}$$

E et h étant constants pour une espèce donnée, on obtient que la fréquence ν est fixe pour une espèce donnée. C'est à partir de là que l'on peut affirmer que les longueurs d'ondes émises λ correspondent à telle ou telle espèce chimique dans un état considéré.

A l'aide de la spectroscopie, nous pouvons obtenir des spectres de raies d'émissions et ainsi reconnaître différentes valeurs de longueurs d'onde ce qui permet d'identifier des espèces mises en jeu dans l'expérience.

3.2.1. **Cas d'une lampe à vapeur de mercure**

Commençons par étudier une lampe dont le gaz interne est connu : une lampe à vapeur de mercure. Celle utilisée est de type spectral : elle est utilisée en laboratoire pour des expériences de spectroscopie ou fluorescence. Lors de l'expérience, nous obtenons le spectre à gauche ci-dessous, que nous pouvons comparer au spectre de raies d'émission théorique du mercure sur la droite.



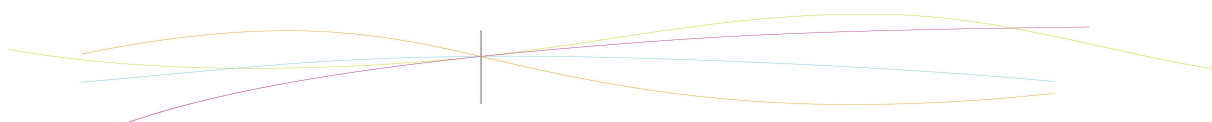
Spectre de raies d'émission expérimental de la lampe à mercure



Spectre de raies d'émission théorique du mercure⁶

Nous pouvons noter la présence de 5 raies sur le spectre expérimental : une violette, une bleue, une verte et deux jaunes qui correspondent respectivement aux longueurs d'ondes : 405, 435, 547, 577, et 579nm. Le modèle théorique présente les mêmes raies de longueurs d'ondes presque identiques soit 407; 434; 546; 577 et 579nm. Nous remarquons

⁶ Source : <http://www.fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13/lyce-mainmenu-174/173-spectroscopie-des-toiles>

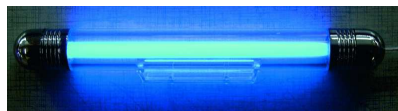


donc que le mercure émet bien toujours avec les mêmes longueurs d'ondes. Nous pouvons à présent passer à des expériences où nous ne connaissons pas les composants à étudier.

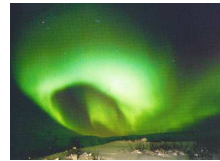
3.2.2. Cas d'une boule plasma

3.2.2.1. Etude du milieu réactif

Le plasma, aussi appelé « quatrième état de la matière », est un état de la matière comme le solide, le liquide et le gaz. C'est un milieu quasi-neutre électriquement qui contient des ions et des électrons gazeux capables de se déplacer dans toutes les directions de l'espace. 99% de l'univers est composé de plasma comme par exemple les étoiles, les éclairs et les aurores boréales. Il existe aussi des plasmas artificiels comme les disjoncteurs à haute tension ou les tubes à décharge (lampes, production de rayon X, taser).



Plasma artificiel⁷



Plasma naturel⁸

Le plasma est généré à partir d'un gaz. Contrairement à un changement d'état standard, celui-ci ne se fait pas à température constante pour une pression donnée. Pour former un plasma, il faut chauffer suffisamment le gaz ou le soumettre à un champ électromagnétique très intense afin que les électrons des couches externes des atomes puissent être arrachés lors des collisions entre les particules.

Prenons le cas de la boule à plasma. La boule à plasma est une sphère creuse transparente dans laquelle se trouve un gaz noble sous basse pression avec une petite sphère pleine en son centre, jouant le rôle d'électrode. Le gaz contenu est inerte, c'est à dire qu'il ne peut pas passer d'un état à un autre lui-même. Lorsque l'on branche la boule sur le secteur électrique, on crée une tension alternative assez forte entre les deux sphères, celle pleine et celle creuse (environ 10 kVolts). Le champ électrique créé va accélérer les électrons libres et ceux des couches externes qui vont percuter les atomes de gaz nobles et les ioniser. C'est le déplacement de ces électrons qui donne naissance à une décharge électrique entre les deux sphères. Ce phénomène transforme le gaz isolant en un plasma conducteur (gaz ionisé) et lumineux.

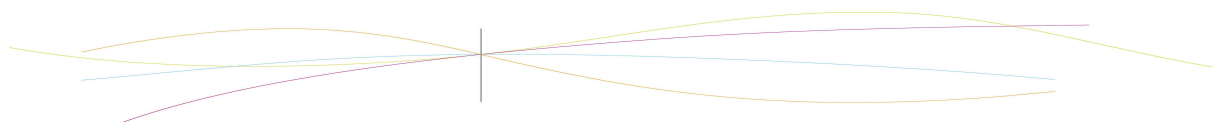


Boule plasma

Lorsque l'on touche la sphère, on fait chuter l'impédance. L'impédance électrique mesure l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un signal sinusoïdale. L'impédance est la tension divisée par l'intensité, c'est à dire la résistance pour un courant alternatif. Et c'est la chute d'impédance qui entraîne une décharge électrique plus intense, un éclair lumineux.

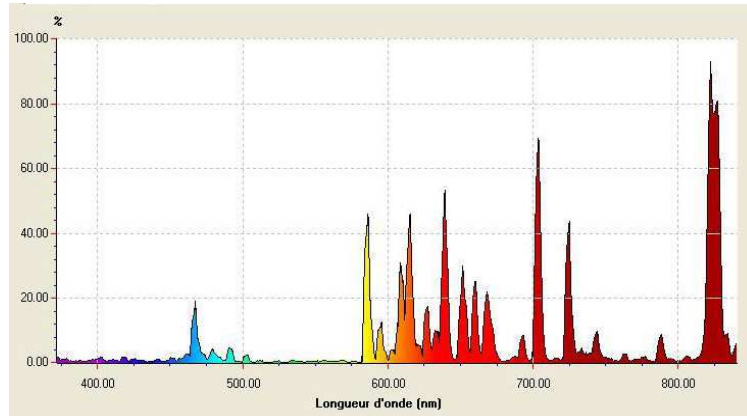
⁷ Source : http://fr.123rf.com/photo_5183723_lampes-au-neon-coulores.html

⁸ Source : <http://pourlanimal.forumpro.fr/t400-aurore-boreale>



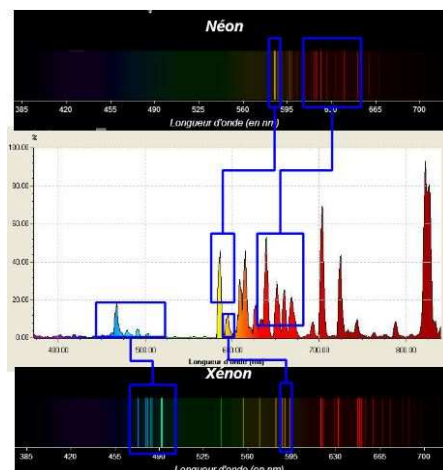
3.2.2.2. Analyse du milieu de la lampe à plasma

L'expérience en elle-même a été assez courte. En effet, comme la boule plasma ne chauffait pas, nous avons donc pu poser directement la fibre optique sur le verre de la boule. Nous avons obtenu le spectre de raies discontinu suivant :



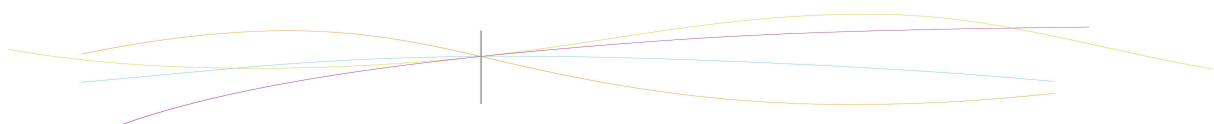
Spectre de raies d'émission de la boule plasma

Nous avons ensuite retenu les raies les plus marquées : la bleue (466 nm), la jaune (585 nm), la orange (614 nm) et les raies rouges. Il a fallu comparer ce spectre aux spectres des gaz rares (*Voir annexe 2*) car, comme dit dans la partie précédente, la boule plasma est composée de gaz rares. Deux spectres ont retenu notre attention : celui du Néon et du Xénon. Les raies bleues correspondent au Xénon tandis que le pic jaune et les raies rouges dont le doublet 822nm et 826nm correspondent au Néon.



Spectres comparatifs de la boule plasma

La lampe à plasma est donc composée de Néon et de Xénon. Il y a peut-être d'autres gaz rares dans des proportions très faibles mais il n'y a pas assez de leurs raies spécifiques pour les identifier. (Pour plus de détails sur la correspondance entre les raies expérimentales et théoriques, se reporter à l'annexe 3.)



3.3. Analyse de milieux présentant des spectres d'émissions continus

3.3.1. *La lampe à incandescence « classique »*

3.3.1.1. Principe de fonctionnement

Les lampes à incandescence, très populaires dans les années 1990 et 2000 ont été remplacées au fur et à mesure par des lampes plus sophistiquées ayant une plus longue durée de vie et un meilleur respect de l'environnement.

Le fonctionnement de la lampe se fait par incandescence d'un filament de carbone mais ce dernier rendait la lampe opaque. Il est ainsi aujourd'hui remplacé par un filament de tungstène. Dans l'ampoule il peut y avoir soit des gaz de type nobles comme le krypton et l'argon, soit de l'air à basse pression ou alors du vide.

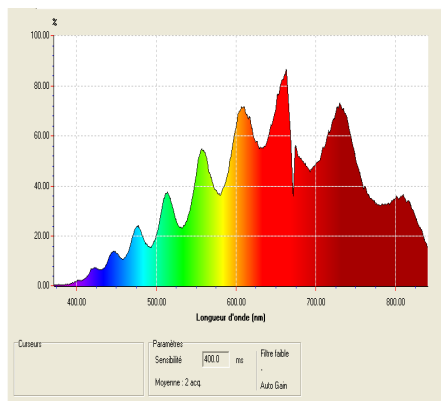
Nous recherchons à montrer par l'analyse du spectre s'il reflète la composition du filament et surtout le gaz contenu dans l'ampoule.

3.3.1.2. L'expérience

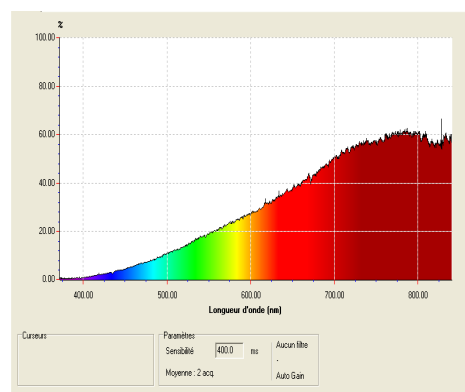
On commence par attendre que le filament chauffe. D'après nos observations, plus le filament est chaud plus le spectre est lisible car l'éclairement dépend de la chaleur du milieu.

Nous avons d'abord commencé par une acquisition avec un lissage faible ainsi qu'un filtre faible, la sensibilité est de 400.0 ms. On observe un spectre en ondulation malgré le défaut de pixel à la longueur d'onde 675nm On remarque cela-dit que la lampe couvre toutes les longueurs d'onde avec un pourcentage supérieur pour les longueurs d'onde rouge.

Une seconde acquisition a été plus concluante. En effet avec les mêmes réglages à la différence de l'absence de filtre le spectre nous montre bien que la lampe couvre toutes les longueurs d'onde correspondant au modèle.

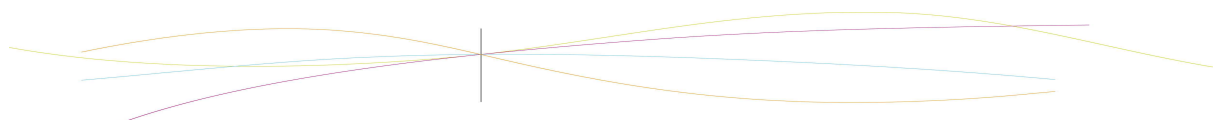


Première acquisition: lampe à incandescence



Seconde acquisition : lampe à incandescence

D'après les observations nous pouvons conclure que le nombre d'interactions causées par le gaz et l'enveloppe de l'ampoule ne permet pas l'apparition du spectre de tungstène. De plus, le gaz de l'ampoule semble être de l'air à basse pression puisqu'on ne relève pas de pic caractéristique des autres gaz nobles.



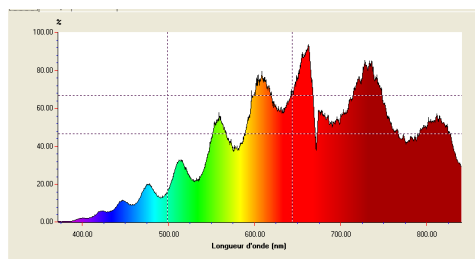
3.3.2. La lampe à incandescence à halogène

3.3.2.1. Principe de fonctionnement

La lampe à incandescence à halogène, fonctionne à partir du même principe que la lampe à incandescence classique. La seule différence étant qu'elle fonctionne par échauffement d'un filament dans un gaz de la famille des halogènes comme l'iode ou le brome. Elle consomme moins que la lampe à incandescence tout ayant une durée de vie plus importante.

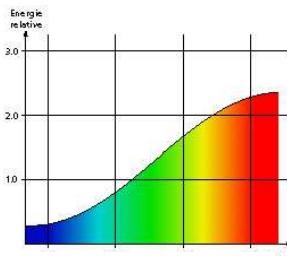
3.3.2.2. L'expérience

Lors de cette expérience, nous avons décidé d'analyser le spectre émis par une des lampes généralement utilisées lors de nos TP d'optique, celle d'ailleurs que nous avons utilisé pour tous nos réglages optiques (Cf 3.1.4.1). Nous avons obtenu le spectre suivant :

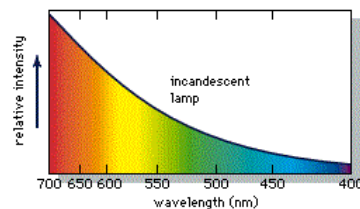


Spectre expérimental de la lampe à halogène

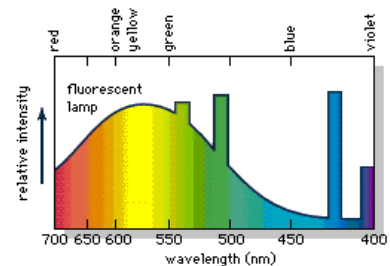
Nous pouvons également comparer notre spectre expérimental à d'autres spectres, que nous avons trouvé sur Internet, qui correspondent à différentes lampes. (Source du spectre d'une lampe halogène⁹ et des deux autres¹⁰)



Spectre d'émission d'une lampe halogène



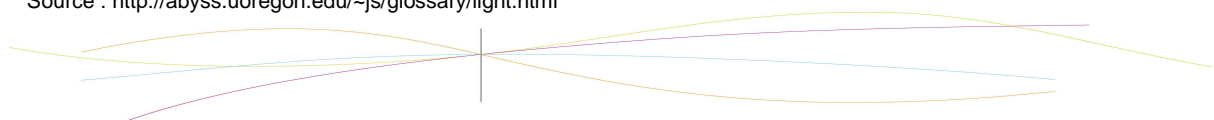
Spectre d'émission d'une lampe à incandescence classique

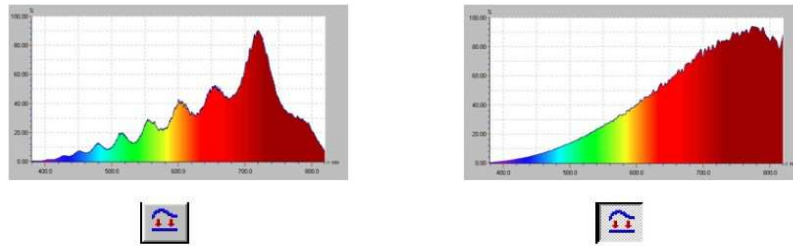


Spectre d'émission d'une lampe fluo-compacte

Au vu de la forme générale de la courbe que nous avons obtenue, nous pouvons penser que notre lampe est une lampe halogène. Ainsi, nous pouvons nous servir de deux spectres d'une source halogène, fournis dans la notice du spectromètre SPID-HR, et que voici ci-après :

⁹ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectre_d%27une_lampe_halogène.svg?uselang=fr
¹⁰ Source : <http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/light.html>





Spectres d'émission de référence d'une lampe halogène¹¹

Le spectre affiché est fonction de la sensibilité aux longueurs d'ondes de l'appareil, ceci étant responsable d'un phénomène de « vaguelettes ». Or, le spectromètre que nous utilisons dispose d'un étalonnage en intensité permettant d'afficher une réponse « plate ». À gauche, nous pouvons donc voir le spectre non corrigé et à droite, le même spectre après correction par étalonnage.

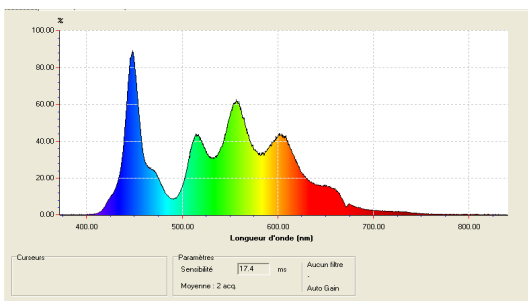
Nous pouvons arriver à la conclusion qu'il s'agit bien d'une lampe halogène par la constatation d'une très grande similitude entre le spectre théorique et expérimental. Ceux-ci affichent des pourcentages quasi nuls pour les longueurs d'onde de moins de 400nm et ce pourcentage augmente de façon linéaire jusqu'à un pic à 90% pour des longueurs d'onde entre 650 et 700 nm. Dans les deux cas, les pourcentages restent hauts tout en décroissant tout de même jusqu'aux 800nm de longueur d'onde.

3.3.3. La lampe LED

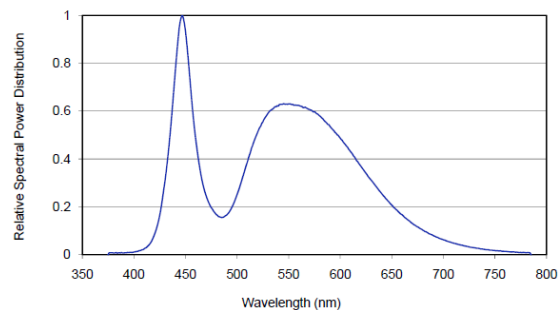
3.3.3.1. Principe de fonctionnement

Une lampe LED ou lampe à diode électroluminescente est une lampe composée de plusieurs diodes électroluminescentes. Sa durée de vie est la plus importante avec 15 000 à 50 000 heures contre 1 000 à 1 200 heures pour la lampe à incandescence. Leurs fonctionnements sont très différents, la LED émet de la lumière par un courant électrique. Les LED peuvent produire plusieurs couleurs. Soit par une coloration du verre, soit par plusieurs émissions de longueurs d'ondes différentes. Dans notre cas il s'agit d'une lampe de bureau qui émet de la lumière blanche.

3.3.3.2. L'expérience

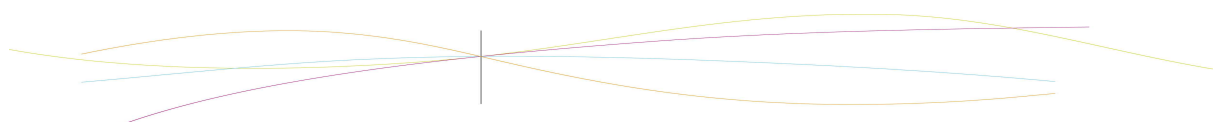


Acquisition expérimentale d'une lampe LED



Acquisition théorique d'une lampe LED¹²

¹¹ Source : notice du SPID-HR



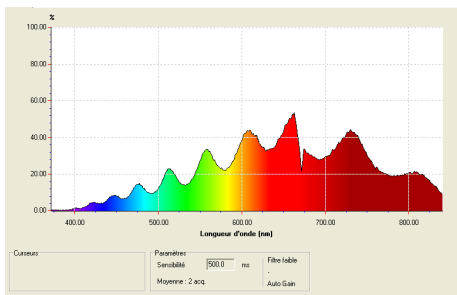
La lampe de bureau mise à disposition était composée de plusieurs diodes. Nous avons donc supposé qu'il s'agissait d'une lampe de type LED. Cette hypothèse a été confirmée par le spectre. En effet, on remarque qu'il correspond au spectre théorique présenté précédemment, à la différence du lissage qui semble de pas être assez marqué dans notre acquisition.

Le spectre de la lampe LED est continu mais présente un pic beaucoup plus prononcé au niveau des longueurs d'ondes 450 nm. Ce spectre est caractéristique des LED. C'est elle qui donne à la LED sa couleur bleutée.

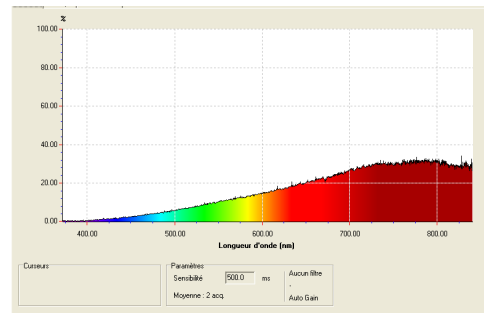
3.3.4. Etude d'une lampe inconnue

Pour cette expérience, nous ne connaissions pas de quel type elle faisait partie. Vu sa couleur plus blanche qu'une lampe à incandescence nous avons tout d'abord supposé qu'il s'agissait d'une lampe à basse consommation.

Nous avons procédé de la même manière qu'avec la lampe à incandescence en effectuant deux acquisitions : la première en filtre faible et la seconde sans filtre, mais avec une sensibilité plus grande.



Première acquisition: lampe inconnue

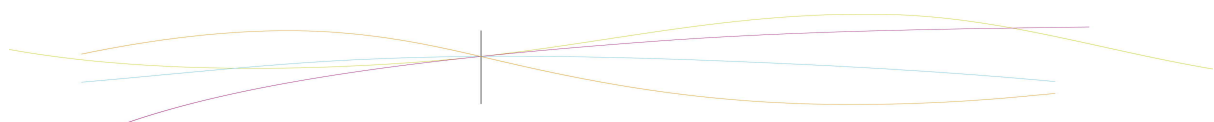


Seconde acquisition : lampe inconnue

A l'image de la lampe à incandescence le spectre de la lampe est continu, il couvre toutes les longueurs d'ondes visibles.

La ressemblance avec l'expérience des lampes à incandescence nous a poussés à croire qu'il s'agissait d'une lampe halogène. En effet les lampes à incandescence halogène sont de plus en plus utilisées dans notre vie de tous les jours. Elles sont en principe des lampes à incandescence améliorées.

¹² source : <http://www.led-fr.net>



3.4. Spectroscopie d'émission de flammes

Cette partie traite de différents types de spectroscopies par flamme. Ce terme n'est cependant pas à confondre avec la spectroscopie de flamme qui caractérise la spectroscopie d'absorption à l'aide d'un photomètre à flamme.

3.4.1. *Expérience des flammes colorées*

3.4.1.1. Présentation de l'expérience

Nous avons trouvé cette expérience sur le site Internet « <http://wiki.scienceamusante.net> ». Elle résulte de l'embrassement de bâtonnets imbibés de solution contenant différentes espèces chimiques. On peut alors retrouver les espèces mises en solution dans les spectres d'émission obtenus.

Suite à nos recherches, nous avons pu établir un protocole (*voir annexe 4*). Celui-ci nécessitant un temps, d'imbibition dans les solutions, puis de séchage des bâtonnets, il était nécessaire de prévoir des plages horaires pour préparer les solutions avant chacune des deux séances de P6 consacrées aux captures des spectres d'émission.

Le choix des espèces à utiliser se fit librement : notre choix s'est d'abord porté sur le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de baryum (BaCl₂) et le chlorure de potassium (KCl). Puis, lors d'une deuxième session de tests, il nous a paru sensé de ne pas recommencer l'expérience avec le chlorure de sodium, car celle-ci avait fonctionné. Mais nous avons décidé de reprendre le chlorure de potassium à ré-analyser car elle n'avait pas fonctionné, et de tenter avec deux nouvelles autres espèces : le sulfate de cuivre pentahydraté (CuSO₄) et le chlorure de calcium (CaCl₂). Avant chacune de nos expériences nous avons pris soin de faire une étude toxicologique des produits que nous utilisons afin d'adapter nos précautions lors des manipulations. Les espèces chimiques utilisées étaient pour la plupart nocives et irritantes ; les manipulations se firent avec le port de la blouse, des gants et des lunettes de protection. (*Voir annexe 5*).

Afin de favoriser au mieux le succès de nos expériences, nous avons mis les espèces chimiques choisies en 3 concentrations différentes : 0,5 mol/L, 1 mol/L et 2 mol/L. Une concentration en dessous de la minimale serait en effet vraiment faible et une au-dessus de 2 mol/L serait à la limite de la solution saturée. Le choix de ces concentrations s'est appuyé par les conseils de Mme Delaroche, professeur de chimie à l'INSA.

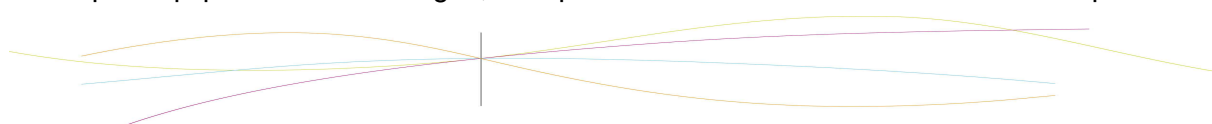
Une fois les concentrations choisies, il nous était nécessaire de déterminer la masse de chacune des espèces chimiques à dissoudre, celles-ci étant sous forme solide (*voir annexe 6*). Voici donc les calculs que nous avons effectués pour déterminer les masses de produit à dissoudre :

Sachant que $C = \frac{n}{V}$ et que $n = \frac{m}{M}$ alors, $C = \frac{m}{V \times M}$ donc $m = C \times V \times M$

Où n = quantité molaire, C = concentration, M = masse molaire atomique et m = masse de solide à prélever et dissoudre.

Les masses de solide à prélever étaient de l'ordre de 0.1 g ; pour peser ces quantités nous avons donc utilisé une balance de synthèse.

Finalement, après avoir laissé imbiber les bâtonnets dans les solutions durant une nuit, puis les avoir laissés sécher une autre nuit, nous avons réalisé l'expérience le mercredi, avec le spectromètre et le montage optique. La salle, où nous avons installé notre montage n'était pas équipé d'un circuit de gaz, utile pour l'utilisation d'un bec benzène classique. Nous



avons donc opté pour un bec benzène portatif, type réchaud de camping. Nous avons alors enflammé chaque bâtonnet et traité le signal émis grâce au spectromètre.

3.4.1.2. Résultats

Voici les résultats des expériences avec le spectromètre, rassemblés dans un tableau.

Espèces à tester	Concentration	Spectres obtenus	Observation du spectre	Remarques
NaCl	0,5 M	Jaune	Oui	
	1 M	Jaune	Oui	
	2 M	Jaune	Oui	
KCl (1 ^{er} et 2 ^{ème} essais)	0,5 M	Rouge	Non	
	1 M	Rouge	Non	
	2 M	Rouge	Non	
BaCl ₂	0,5 M	Rouge	Non	Flamme verte
	1 M	Rouge	Non	Flamme verte
	2 M	Rouge	Non	Flamme verte
CaCl ₂	0,5 M	Rouge	Non	Flamme bleu / vert
	1 M	Rouge	Non	Flamme verte
	2 M	Rouge	Non	Flamme verte
CuSO ₄	0,5 M	Rouge	Non	Flamme orangé-rouge
	1 M	Rouge	Non	Flamme orangé-rouge
	2 M	Rouge	Non	Flamme orangé-rouge

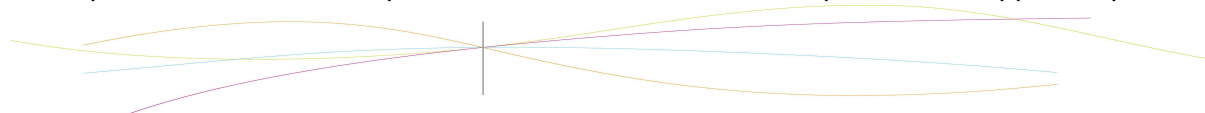
3.4.1.3. Analyse

Tout au long de l'expérience, nous avons pu remarquer que les bâtonnets s'embrasaient difficilement. Cela pourrait se justifier par le caractère non inflammable de l'espèce chimique, par une concentration trop faible ou trop importante de l'espèce chimique en solution ou d'un temps de séchage du bâtonnet insuffisant.

Dès l'obtention des spectres, nous nous sommes référés aux spectres d'émission trouvés suite à nos recherches (*Voir Annexe 7*). Cela nous permettait de voir si les spectres obtenus concordait ou non avec nos espèces. Mais ce fut rarement le cas : seuls les bâtonnets imbibés de solution de NaCl ont donné le résultat attendu (*Voir annexe 8*). Les autres résultats ne correspondaient pas vraiment à ce à quoi nous nous attendions. Par exemple pour le chlorure de potassium, nous aurions dû obtenir un spectre à raies bleu-vert et nous avons obtenu un spectre rouge (*Voir Annexe 8*). Nous avons tenté d'expliquer ces résultats quelque peu étonnants selon différentes hypothèses.

Influence des anions par rapport aux cations

Le tableau à partir duquel nous nous sommes référées ne présentait que les spectres correspondants aux cations présents dans les solutions. On peut donc supposer que si le



spectre obtenu ne correspondait pas au spectre attendu, il pourrait être dû à la présence de certains anions. Excepté le CuSO_4 , les espèces étaient constituées d'un cation et de l'anion Cl^- . On pourrait donc penser que les spectres obtenus seraient dus à la présence de l'ion Cl^- ou SO_4^{2-} . A l'aide d'un site de simulation d'expérience de spectroscopie d'émission, nous avons pu observer le spectre du Cl^- . Or celui-ci, bleu-vert, ne correspond pas à nos spectres expérimentaux. Cette hypothèse est donc réfutée.

Influence du bec benzène

Nous avons également émis l'hypothèse de l'influence du bec benzène sur nos mesures. En effet, comme celui-ci contient du benzène, nous avons supposé que certaines raies obtenues étaient en réalité celles spécifiques au benzène. Le benzène étant composé de 6 atomes de carbone et 6 atomes d'hydrogène, nous avons observé leurs spectres d'émissions. Ceux-ci présentent une couleur rouge-orangé. Or cela correspond sûrement aux résultats de nos expériences. Cette hypothèse justifie la couleur du spectre obtenu.

Influence de l'air

Il ne faut pas oublier l'influence de l'air sur nos expériences. L'air est majoritairement constitué d'atomes d'oxygène, d'azote et de carbone. Il est alors possible que ceux-ci aient influencé les résultats. D'après nos recherches, nous avons pu constater que les spectres obtenus avec des atomes sont moins « marqués » que ceux à l'origine d'une espèce sous forme ionique. Nous pouvons donc exclure l'hypothèse de l'influence de l'air, puisque nos espèces étudiées sont sous forme ionique, elles seront majoritaires sur les spectres.

Influence des bâtonnets en bois

Sur certains spectres, nous avons pu remarquer des pics rouges. Or ceux-ci sont caractéristiques du carbone sous forme atomique, élément principal des bâtonnets de bois. Nous en avons déduits que les pics obtenus pourraient être l'analyse de l'embrasement du bâtonnet de bois, soit pas assez imbibé en solution, ou dont celle-ci se serait évaporée durant le séchage. Le bois pourrait donc influencer certains de nos résultats.

Influence de la lumière du jour et intensité de la source

Nous travaillions dans une salle à baies vitrées sans rideau. Nous ne pouvions donc pas cacher le montage de la lumière du jour. Il se peut ainsi que la lumière du jour ait été captée par la fibre optique et donc fut visible sur nos spectres. Pour cela, nous calculons le rapport

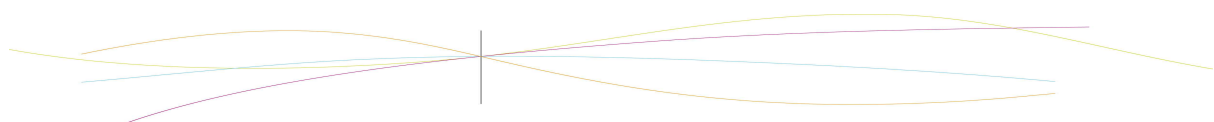
$$\frac{\text{intensité(lumière flamme)}}{\text{intensité(lumière soleil)}}$$

Si ce rapport est faible, cela signifie que l'influence de la lumière du jour est importante car elle serait supérieure à la lumière d'émission. Au contraire, si le rapport est grand, la lumière du jour serait inférieure à la flamme et donc on pourrait négliger l'influence de la lumière du jour sur nos expériences. Si la lumière du jour est non négligeable, cela insinue qu'il nous faut étudier la lumière du Soleil et donc son spectre.

Aussi, comme les bâtonnets ont été difficiles à s'enflammer et les flammes obtenues étaient souvent peu puissantes en intensité, il a fallu adapter le traitement de données, en passant d'un temps de capture habituel de quelques millisecondes à quelques secondes pour pouvoir mesurer le spectre. Les mesures sont donc moins précises car elles englobent une plus grande quantité de lumière du jour.

Théorie des corps noirs

Cette théorie est universelle et s'applique à toute particule. Un corps noir, qui peut aussi être appelé corps chaud, désigne un objet idéal qui ne dépendrait que de sa



température. Cette définition se traduit par le fait que chaque particule, chaque corps, émet une radiation thermique après avoir absorbé la lumière extérieure. Cette radiation thermique correspond à l'agitation des atomes. Elle n'est pas visible à l'œil nu car elle fait parti du domaine des infrarouge.

Une loi caractérisable de cette théorie est la loi de Wien et se retrouve par des spectres expérimentaux. La longueur d'onde du pic maximal du spectre est inversement proportionnelle à la température. $\lambda_{max} = \frac{3000 (K)}{T}$

Lors de nos expériences, les spectres qui ne correspondaient pas aux résultats attendus présentaient parfois un plateau haut (*voir annexe 8*) qui ne révélait pas l'espèce présente en solution. La théorie des corps noirs peut alors justifier ce résultat puisque ce plateau correspondrait à une émission de corps noirs.

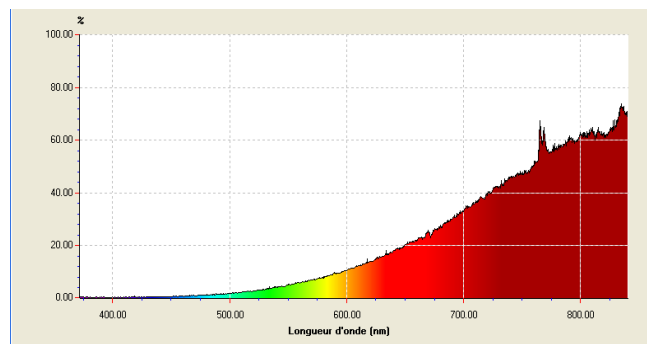
3.4.2. Spectres de bougies commerciales

En complément notre étude de la spectroscopie d'émission de flamme, nous avons décidé de réaliser une dernière expérience avec des bougies du commerce de différentes natures afin de pouvoir les comparer. Ainsi, nous avons effectué l'expérience sur une bougie blanche classique, une colorée jaune et une colorée et parfumée au parfum « Ambre du Maroc ».

Comme pour les lampes et les bâtonnets, nous avons placé chaque bougie dans l'alignement du montage optique pour en capter le spectre d'émission.

3.4.2.1. Bougie blanche classique : expérience de référence

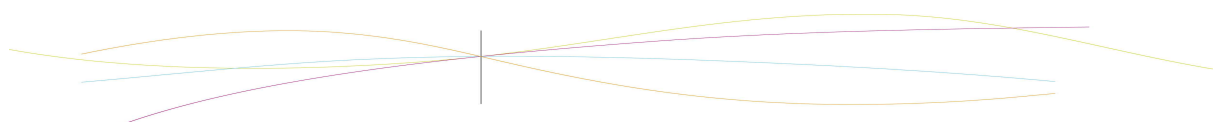
Pour la bougie blanche classique, nous avons obtenu le spectre d'émission suivant :



Spectre d'émission expérimental d'une bougie blanche classique

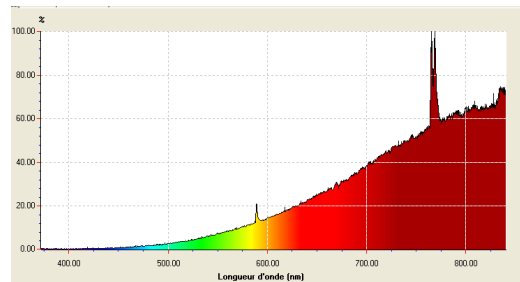
Il est à noter que pour cette partie, nous ne tiendrons pas compte du pic que nous pouvons observer à 780nm, car celui-ci était présent sur toutes nos prises de mesure ce jour-là, et il correspond très sûrement à la présence d'un capteur defectueux dans la fibre optique.

Ce spectre d'émission correspond à celui d'une lumière blanche d'une intensité relativement faible. Il nous servira de référence lors de l'analyse des spectres d'émission de la bougie colorée et de celle colorée et parfumée.



3.4.2.2. Bougie jaune colorée

Concernant la bougie colorée, nous avons obtenons le spectre suivant :



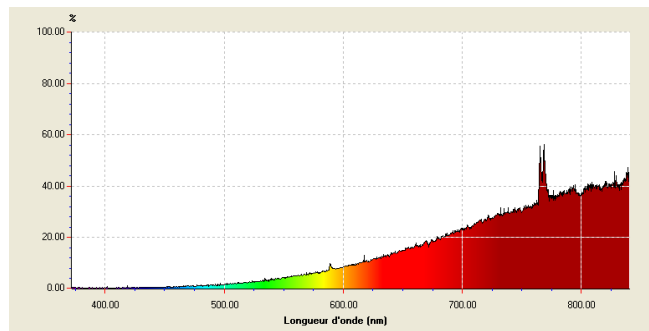
Spectre d'émission d'une bougie colorée jaune

Nous pouvons ici observer un petit pic à 590 nm. Celui-ci est certes peu marqué, mais tout de même existant, alors qu'il n'apparaît pas sur le spectre de la bougie blanche classique.

La bougie, dont la cire est essentiellement composée de paraffine, contient aussi un colorant qui lui donne sa couleur jaune. La composition chimique de la bougie n'étant pas indiquée sur l'emballage, c'est en faisant des recherches que nous avons pris connaissance d'un colorant jaune constitué de jaune de quinoléine de formule « $C_{18}H_9NNa_2O_8S_2$ » et de carmoisine. Le colorant est ainsi constitué de sodium et de soufre, ce qui nous est révélé sur le spectre par la présence du pic à 590nm. En effet, celui-ci est significatif de ces éléments chimiques. (Voir annexe 9)

3.4.2.3. Bougie colorée et parfumée

Concernant la bougie parfumée au parfum « Ambre du Maroc », nous obtenons un spectre très similaire à celui présenté précédemment et correspondant à la bougie colorée :

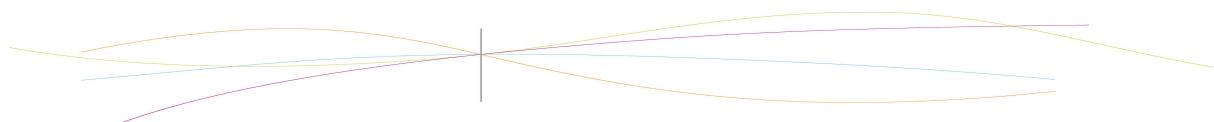


Spectre d'émission expérimental de la bougie colorée et parfumée

Ainsi, nous observons le même petit pic à 590nm, en moins prononcé, mais aucun autre pic qui pourrait être révélateur de la présence du parfum.

Nous savons que les parfums sont constitués d'aromatiques, eux mêmes constitués principalement d'atomes de carbones et d'hydrogène. Nous avons vu précédemment que l'émission des carbones sous formes atomiques correspondaient aux longueurs d'ondes de couleurs rouges-orangées : cela correspond donc bien à notre spectre.

De plus, comme cette bougie aussi était jaune, nous pouvons en déduire que la bougie contient très sûrement le même colorant jaune que dans l'autre bougie non parfumée.



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons donc utilisé le spectromètre SPID-HR ainsi que les méthodes de capture et visionnage des mesures associées tout au long de notre projet. Ainsi nous avons pu bien nous familiariser avec cette méthode d'analyse de la lumière.

Cet appareil de mesure des spectres d'émission présente différents avantages. Tout d'abord, il est incontournable de mettre en avant que cet appareil est relativement simple et rapide à utiliser : le capteur transmet ses données à l'ordinateur qui les traduit, et le signal est rapidement transformé, exploitable, et son évolution est visible en temps réel. Aussi, la spectrométrie d'émission est qualitative (mais pas quantitative), ce qui signifie qu'on peut l'utiliser pour chercher la présence d'une espèce, même si elle est entourée d'autres espèces. On peut aussi détecter plusieurs espèces en une mesure, comme par exemple avec la boule plasma.

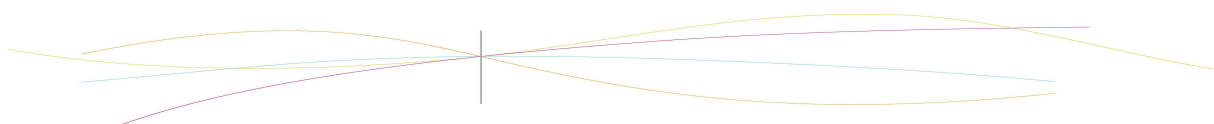
De plus, un point très avantageux de cette méthode d'observation des milieux réactifs est que ce dispositif est non-intrusif, contrairement aux prélèvements par exemple, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de rentrer dans le système pour l'étudier. Cela présente un avantage considérable dans le sens car cela évite d'abîmer la matière ou encore de fausser les données. Ainsi, pour la lampe plasma par exemple, il suffisait de présenter le capteur à sa surface pour obtenir un signal, sans perturber le fonctionnement de la lampe ou risquer d'altérer les mesures à cause du dispositif.

Cependant, quelques points négatifs concernant cette méthode sont à noter. Tout d'abord, il existe des problèmes concernant le bruit qui est souvent important : le rapport signal/bruit nuit souvent à la qualité du spectre et donc à l'analyse correcte des résultats. La précision est en conséquence parfois insuffisante pour soit détecter un pic, soit en différencier deux qui sont assez proches.

Aussi, il est nécessaire d'avoir un signal assez puissant. C'est pourquoi, nous avons réalisé un montage optique pour accentuer les faibles signaux comme la lumière d'une bougie en les faisant converger en un seul point. De plus, il faut pouvoir se mettre dans l'obscurité pour ne pas perturber le signal à observer par la lumière du jour ou d'une lampe.

Enfin, il s'agit d'une méthode de confirmation plutôt que de découverte. Sans idée de quelle espèce on cherche dans l'échantillon observé, il est difficile de les retrouver simplement en comparant le spectre obtenu avec des spectres connus d'espèces. C'est d'autant plus difficile si plusieurs espèces sont présentes dans l'échantillon, puisque les spectres se superposent.

Enfin, ce projet fut très formateur pour chacun d'entre nous, car nous avons vraiment monté ce projet du début à la fin, à partir d'une simple problématique. Prévoir nous-mêmes les expériences que nous voulions mettre en place et réaliser était quelque chose de réellement nouveau pour nous. Et nous avons ainsi appris à nous organiser et à planifier à l'avance le déroulement du projet en fonction de multiples facteurs, comme par exemple le fait de disposer ou non du matériel nécessaire, prendre contact avec différentes personnes pour pouvoir mettre en place nos expériences ou simplement avoir acquis les connaissances requises avant l'expérience.



4. BIBLIOGRAPHIE

Histoire de la spectroscopie et spectroscopie

HOLLAS John Michael, SIMON Daniel, « Spectroscopie », *Dunod*, 2003.

<http://web.cala.asso.fr/Historique-de-la-spectroscopie.html> (10/03/2013)

<http://college-guitres.com/spip/spip.php?article295> (10/03/2013)

<http://web.cala.asso.fr/Historique-de-la-spectroscopie.html> (10/03/2013)

http://www.resolutionspectra.com/rep-definitions/ido-12/optical_spectral_resolution.html (10/03/2013)

<http://eoedu.belspo.be/fr/guide/spect-res.asp?section=2.5.1> (10/03/2013)

http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9solution_spectrale (10/03/2013)

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=8491> (10/03/2013)

Spectromètre et logiciel :

<http://ead.univ-angers.fr/~capespc/physique/notices/spectrometre.pdf> (6/06/2013)

<http://thizy.free.fr/shelyak/LhiresLite/DC0005C%20Guide%20FR-EN.pdf> (6/06/2013)

<http://college-guitres.com/spip/spip.php?article295http://ead.univ-angers.fr/~capespc/physique/notices/spectrometre.pdf> (6/06/2013)

<http://thizy.free.fr/shelyak/LhiresLite/DC0005C%20Guide%20FR-EN.pdf> (6/06/2013)

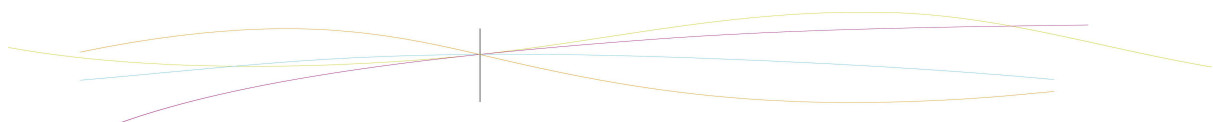
Spectres théoriques :

http://www.ostralo.net/3_animations/swf/spectres_abs_em.swf (9/06/2013)

<http://cours.dirphot.free.fr/specimen/lampes.pdf> (9/06/2013)

http://www.discip.ac-caen.fr/phch/lycee/seconde/spectres_animation/spectres.htm (9/06/2013)

<http://www.jeuilin.fr/fr/a-a1000004361-edc1000005/ressource/1001176/TP-Etude-de-spectres.html> (9/06/2013)



Lampe à vapeur de mercure :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Lampe_%C3%A0_d%C3%A9charge_luminescente_sous_haute_pression#Les_lampes_%C3%A0_vapeur_de_mercure (valide à la date du 05/06/2013)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Raie_spectrale (valide à la date du 05/06/2013)

Plasma :

CHERON Bruno, « Théorie cinétique. Gaz et plasmas », *Ellipses*, 2001.

Flash X n°12 sur les plasmas, polytechnique 2010.

Concours astronomie des lycées Picardie 2009

<http://excerpts.numilog.com/books/9782868838223.pdf> (29/05/2013)

<http://www.masc.ulq.ac.be/fiches/FR/arcgrimant.pdf> (29/05/2013)

<http://imbg.ujf-grenoble.fr/cours/3-Luminescence.pdf> (29/05/2013)

<http://excerpts.numilog.com/books/9782868838223.pdf> (29/05/2013)

<http://www.masc.ulq.ac.be/fiches/FR/arcgrimant.pdf> (29/05/2013)

Lampe LED :

<http://www.led-fr.net/proprietes-colorimetriques-des-led.htm> (11/06/2013)

Lampe à incandescence :

<http://www.lac.u-psud.fr/experiences-optique/lumiere-blanche/lumiere-blanche.htm>
(11/06/13)

[http://www.ac-nice.fr/clea/C2.html\(12/09/13\)](http://www.ac-nice.fr/clea/C2.html(12/09/13)) (11/06/2013)

Lampes diverses :

[http://sciencetonnante.wordpress.com/2010/12/30/sous-les-lumieres-blafardes-des-
autoroutes/ \(12/09/13\)](http://sciencetonnante.wordpress.com/2010/12/30/sous-les-lumieres-blafardes-des-autoroutes/) (11/06/2013)

<http://cours.dirphot.free.fr/specimen/lampes.pdf> (11/06/2013)

Expérience des flammes colorées :

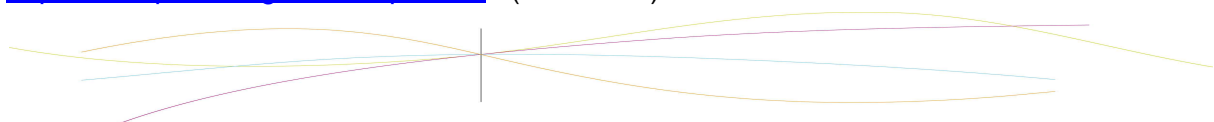
http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=Flammes_color%C3%A9es (12/05/2013)

<http://webmineral.com/help/FlameTest.shtml> (8/06/2013)

Théorie des corps noirs :

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3265> (8/06/2013)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Corps_noir (8/06/2013)



Colorant bougie jaune :

<http://www.additifs-alimentaires.net/E104.php>

Pouvoir de résolution spectrale :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Pouvoir_de_r%C3%A9solution (5/06/2013)

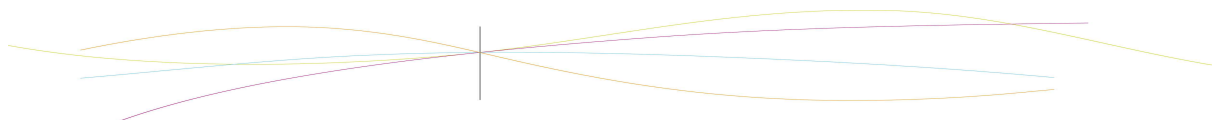
<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=8491> (5/06/2013)

http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9solution_spectrale (5/06/2013)

Avantages et inconvénients d'un spectromètre :

<http://www.emse.fr/spip/IMG/pdf/specatom.pdf> (8/06/2013)

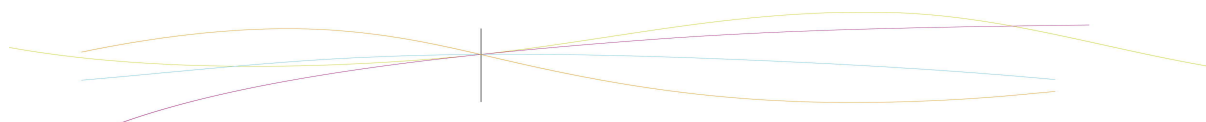
.



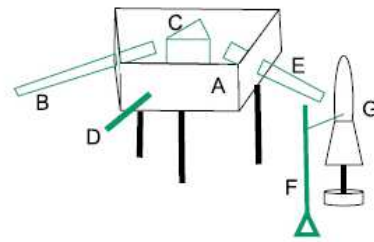
5. ANNEXES

Table des annexes

6.1 SPECTROSCOPE A PRISME DE KIRCHHOFF	31
6.2 EXPERIENCE DE KIRCHHOFF	31
6.3 SPECTRES DE RAIES DES GAZ NOBLES.....	32
6.4 TABLEAU COMPARATIF DE LA LAMPE A PLASMA ET DES GAZ NOBLES	33
6.5 PROTOCOLE DE L'EXPERIENCE DES FLAMMES COLOREES.....	34
6.6 FICHE DE SECURITE DES PRODUITS UTILISES.....	35
6.7 MASSES DISSOUTES POUR LA PREPARATION DES SOLUTIONS	36
6.8 SPECTRES D'EMISSION DES CATIONS UTILISES EN REFERENCE	37
6.9 SPECTRES D'EMISSION DE FLAMME EXPERIMENTAUX.....	38
6.10 SPECTRES D'EMISSION DU SODIUM ET DU SOUFRE	39



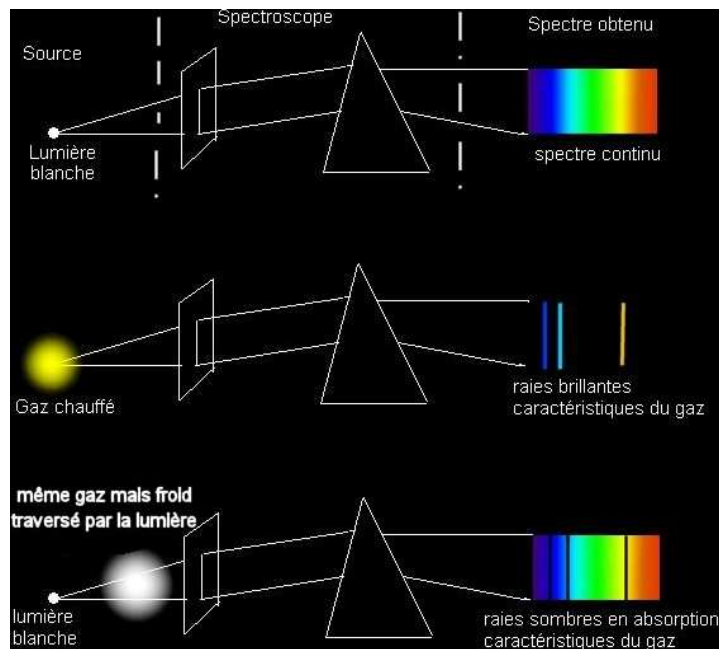
5.1. Spectroscopie à prisme de Kirchhoff



Kirchhoff and Bunsen's spectroscopy
 A – Spectroscopy box B – Viewing optics
 C – Prism D – Turning handle
 E – Focusing optics F – Sample holder
 G – Flame

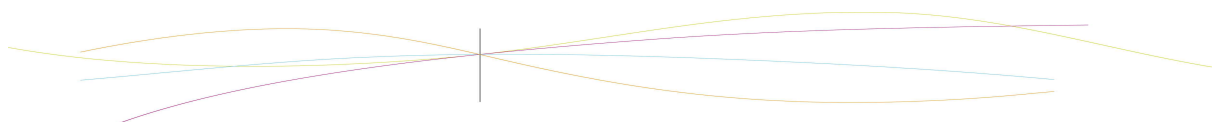
Kirchhoff met au point en 1859 le tout premier spectroscopie à prisme. Il se compose d'une boîte noire, d'un prisme et de deux lentilles. Son utilisation est assez simple. On place la substance à analyser devant une lentille qui concentre la lumière sur le prisme. Le prisme décompose la lumière qui est grossie par une deuxième lentille au niveau de lunette optique, afin de faciliter les observations. On obtient ainsi un spectre de couleur. C'est une méthode quantitative basée sur le visuel. (Sources¹³ et¹⁴)

5.2. Expériences de Kirchhoff

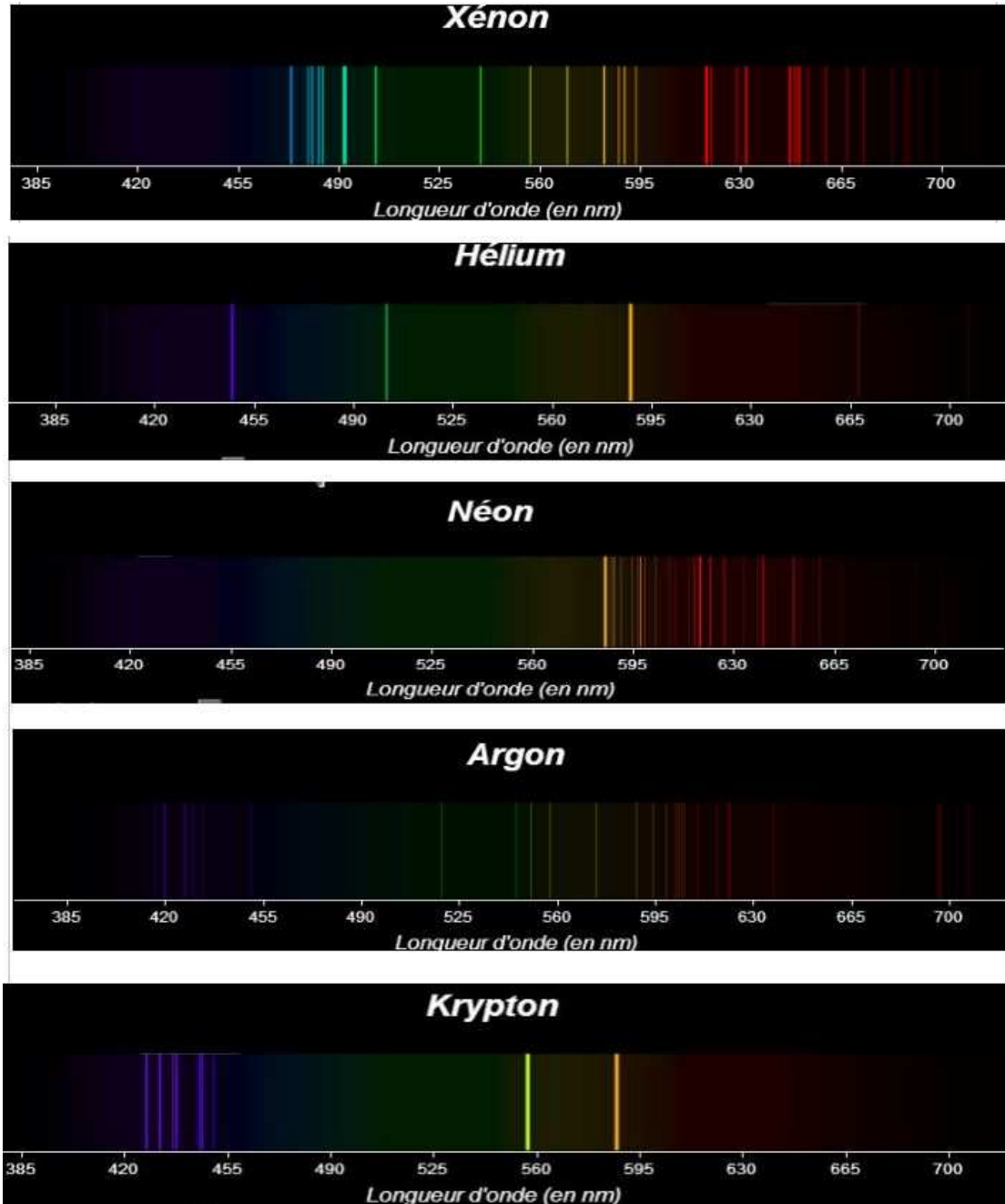


¹³ Source : <http://spie.org/x32350.xml>

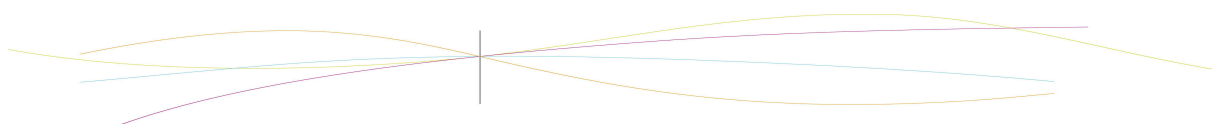
¹⁴ Source : <http://164.81.14.35/spipmusee/spip.php?rubrique48>



5.3. Spectres de raies des gaz nobles¹⁵



¹⁵ Source : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/spectres_abs_em.swf



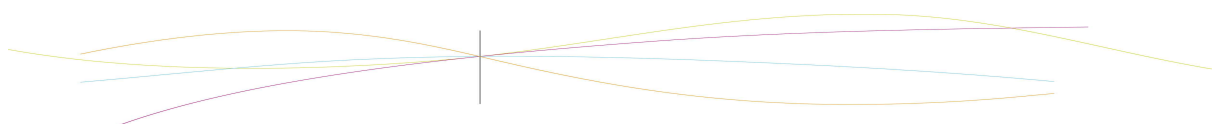
5.4. Tableau comparatif de la lampe à plasma et des gaz nobles¹⁶

Longueurs d'ondes des gaz nobles et de la boule plasma (en nm)

(Xénon)	(Argon)	(Néon)	(Krypton)	(boule plasma)
418	294,3	585,25	427,4	466
419,3	415,9	594,48	432	479
433,1	420,1	607,43	435,5	488
439,6	427,7	609,62	457,7	504
444,8	476,5	614,31	461,9	585
446,2	488	616,36	465,9	594
473,4	696,54	621,73	473,9	605
480,7	738,4	626,65	476,6	614
483	750,39	630,48	483,2	625
508,1	751,47	633,44	557	638
529,2	763,51	638,3	587,1	650
531,4	772,381	640,111	758,74	658
554	772,421	640,221	760,15	667
541,9	794,82	650,65	769,45	691
547,2	801,48	653,29	769,45	703
597,7	811,53	659,901	785,48	723
603,6	826,45	660,291	805,95	742
605,1	840,82	667,83	810,44	758
609,8	842,46	671,7	811,29	775
659,5		692,95	819	805
680,5		703,24	826,32	814
699,1		717,39	829,81	822
823,2		724,52	829,81	826
828		743,89	850,9	836
834,7		783,9		
840,9		792,7		
		793,7		
		794,3		
		808,2		
		811,9		
		812,9		
		813,6		
		825,9		
		826,6		
		826,7		
		830		
		836,6		
		837,8		
		841,7		
		841,8		
		846,3		
		848,8		
		849,9		
		854,5		

- Raies du Xénon retrouvées dans la lampe à plasma.
- Raies du Néon retrouvées dans la lampe à plasma.
- Raies d'autres gaz nobles retrouvées dans la lampe à plasma.

¹⁶ Source : <http://www.newport.com/Lampes-stylos-de-calibration-Oriel/377846/1036/info.aspx>



5.5. Protocole de l'expérience des flammes colorées

• But de l'expérience

Etude du milieu réactif obtenu lors de la combustion de différents bâtonnets imbibés de diverses espèces chimiques.

Pour cela, l'expérience nécessite d'effectuer des mesures à l'aide d'un spectromètre lors de la combustion d'une espèce. Les spectres d'émissions pourront ainsi être étudiés par la suite.

• Matériel utilisé

- | | |
|--|---|
| - Tubes à essai | - Bec Bunsen |
| - Eau distillée | - Un banc optique |
| - Tiges en bois pour brochettes | - Deux lentilles convergentes |
| - Sels métalliques (NaCl, KCl, BaCl ₂ , CaCl ₂ , CuSO ₄) | - Un spectromètre SPID – HR (avec son logiciel) |
| - Spatule | |

• Protocole expérimental

1/ Préparation des solutions

Prélever X, Y et Z grammes d'un des sels métalliques à l'aide de la spatule, et les déposer dans 3 tubes à essai. (X, Y et Z, ont été définis pour chaque sels, afin d'obtenir 3 concentrations différentes : 0.5M, 1M et 2M)

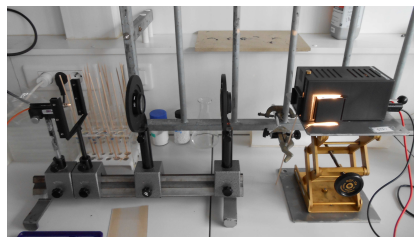
Remplir les tubes à essai avec 10 mL d'eau distillée.

Réitérer l'opération pour chacun des sels métalliques en pensant à laver la spatule entre 2 sels métalliques différents.

Plonger une tige en bois dans chaque tube à essai, et les laisser s'imprégner pendant au moins 12 heures. Puis, retirer les bâtonnets des tubes à essai au moins 12h avant la combustion, afin qu'ils aient le temps de sécher.

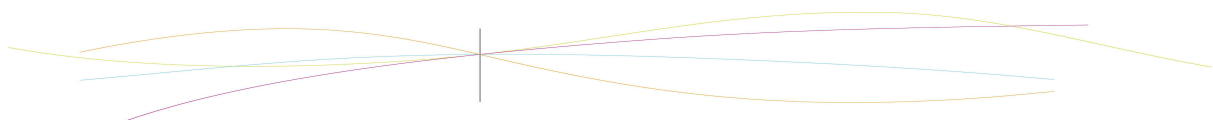
2/ Capture des mesures

Mettre en place le dispositif de mesure à l'aide du banc optique, de la flamme, des deux lentilles convergentes et du spectromètre, comme présenté ci-dessous :



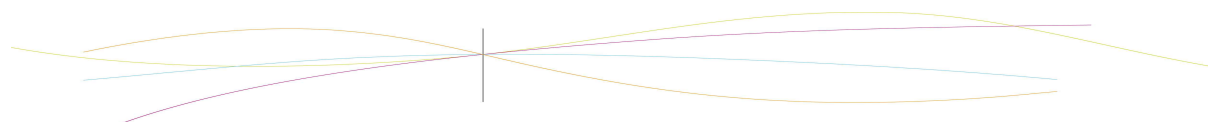
Allumer le bâtonnet avec le bec Bunsen et capturer le spectre d'émission à l'aide du logiciel. Réitérer la même opération pour chaque bâtonnet.

Les résultats peuvent ensuite être analysés.



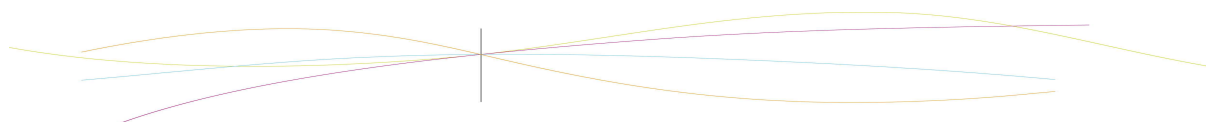
5.6. Fiche de sécurité des produits utilisés

Espèces chimiques	Pictogrammes de sécurité	Informations et risques	Précautions à prendre
Chlorure de Sodium NaCl		RAS	
Chlorure de Potassium KCl		<ul style="list-style-type: none"> - non combustible - exposition prolongée : entraîne toux, mal de gorge, rougeurs cutanées, douleurs... 	<ul style="list-style-type: none"> - port de blouse, gants et lunettes de protection - travail sous hotte
Chlorure de Calcium CaCl ₂		<ul style="list-style-type: none"> - irrite fortement les yeux - fumées toxiques et corrosives - attaque le zinc en solution aqueuse - dissolution dans l'eau avec dégagement de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> - port de blouse, gants et lunettes de protection - travail sous hotte
Sulfate de Cuivre (III) CuSO ₄		<ul style="list-style-type: none"> - éviter la dispersion de poussières - attaque le fer et le zinc dans l'eau - réagit avec le Mg (gaz explosif) - irritant pour les yeux et la peau 	<ul style="list-style-type: none"> - port de blouse, gants et lunettes de protection - travail sous hotte - éviter le rejet dans l'environnement
Chlorure de cuivre (II) CuCl ₂		<ul style="list-style-type: none"> - non combustible - peut provoquer une irritation cutanée - nocif en cas d'ingestion 	<ul style="list-style-type: none"> - port de blouse, gants et lunettes de protection - travail sous hotte - éviter le rejet dans l'environnement
Chlorure de Baryum BaCl ₂		<ul style="list-style-type: none"> - peut provoquer des gênes, toux, mal de gorge, rougeur, douleurs... - éviter la dispersion de poussières 	<ul style="list-style-type: none"> - port de blouse, gants et lunettes de protection - travail sous hotte




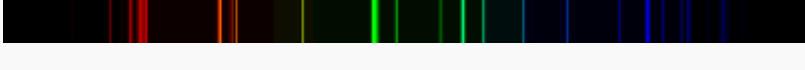


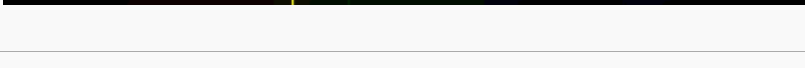



5.7. Masses dissoutes pour la préparation des solutions

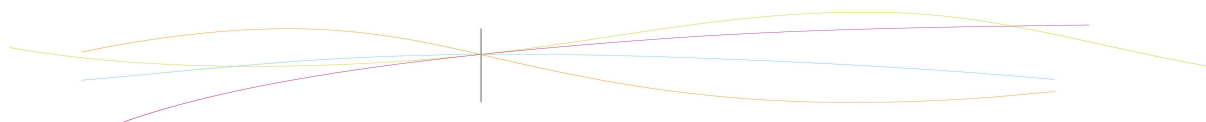
Espèce	Concentration	Masse à prélever (g)	Espèce	Concentration	Masse à prélever (g)
Chlorure de Sodium (NaCl)	0,5 M	0,3 g	Chlorure de Calcium ($CaCl_2$)	0,5 M	0,90 g
	1 M	0,59 g		1 M	1,80 g
	2 M	1,2 g		2 M	3,64 g
Chlorure de Baryum ($BaCl_2$)	0,5 M	1,22 g	Sulfate de Cuivre ($CuSO_4$)	0,5 M	1,25 g
	1 M	2,443 g		1 M	2,5 g
	2 M	4,88 g		2 M	5 g
Chlorure de Potassium (KCl)	0,5 M	0,373 g	Chlorure de Potassium (KCl)	0,5 M	0,373 g
	1 M	0,745 g		1 M	0,745 g
	2 M	1,49 g		2 M	1,49 g



5.8. Spectres d'émission des cations utilisés en référence¹⁷

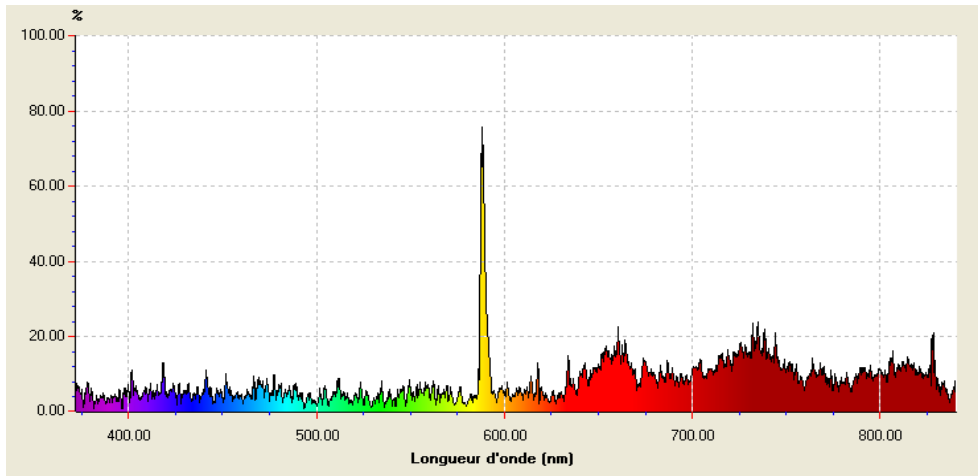
Élément	Cation	Spectre d'émission de flamme ^[2]	Couleur observée
Cuivre	Cu ²⁺		Vert (ou bleu selon le sel)
Baryum	Ba ²⁺		Vert pâle / Jaune
Strontium	Sr ²⁺		Rouge
Calcium	Ca ²⁺		Orangé-rouge
Potassium	K ⁺		Lilas
Lithium	Li ⁺		Rose fuchsia
Sodium	Na ⁺		Jaune-orange
		Spectre visible (pour comparaison)	
			

¹⁷Source : http://wiki.scienceamusante.net/index.php?title=Flammes_color%C3%A9es

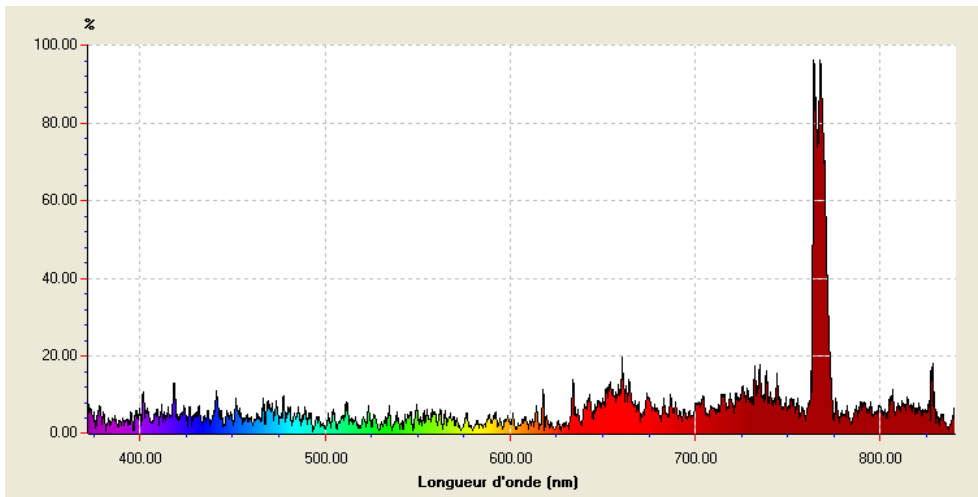


5.9. Spectres d'émission de flamme expérimentaux

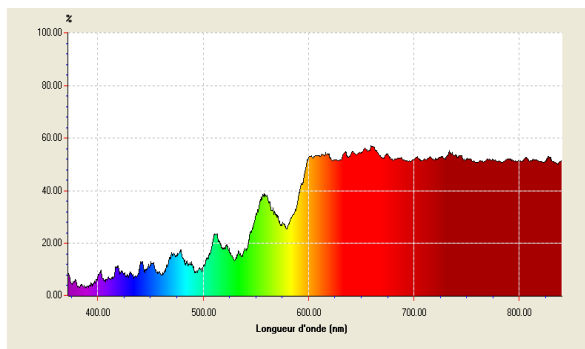
Spectre d'émission obtenu pour le chlorure de sodium :



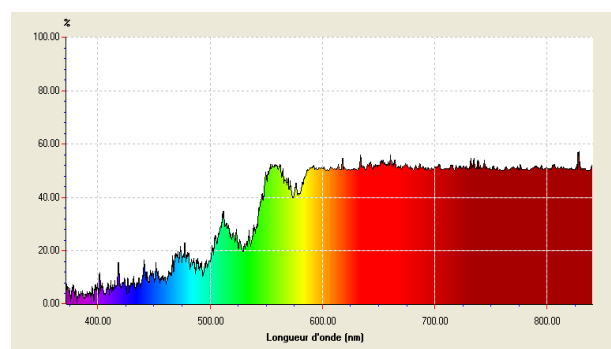
Spectre d'émission obtenu pour le chlorure de potassium :



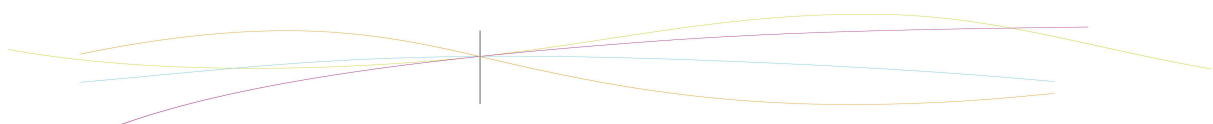
Spectres du chlorure de baryum et du chlorure de calcium présentant un plateau haut pouvant être expliqué par la théorie des corps noirs :



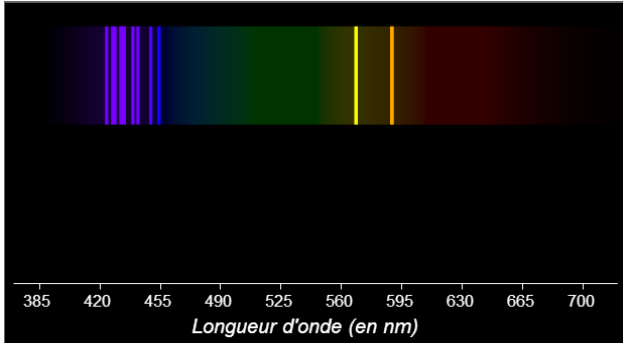
Chlorure de baryum



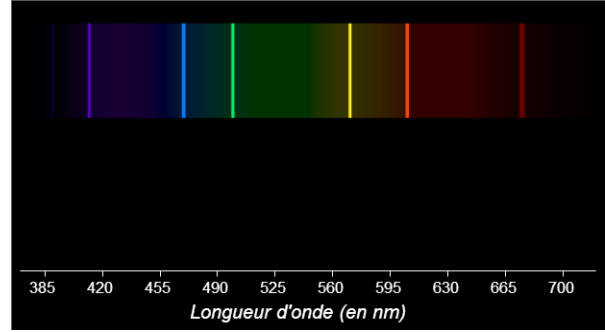
Chlorure de calcium



5.10. Spectres d'émission du sodium et du soufre¹⁸



Spectre d'émission du sodium



Spectre d'émission du soufre

¹⁸ Source : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/spectres_abs_em.swf

