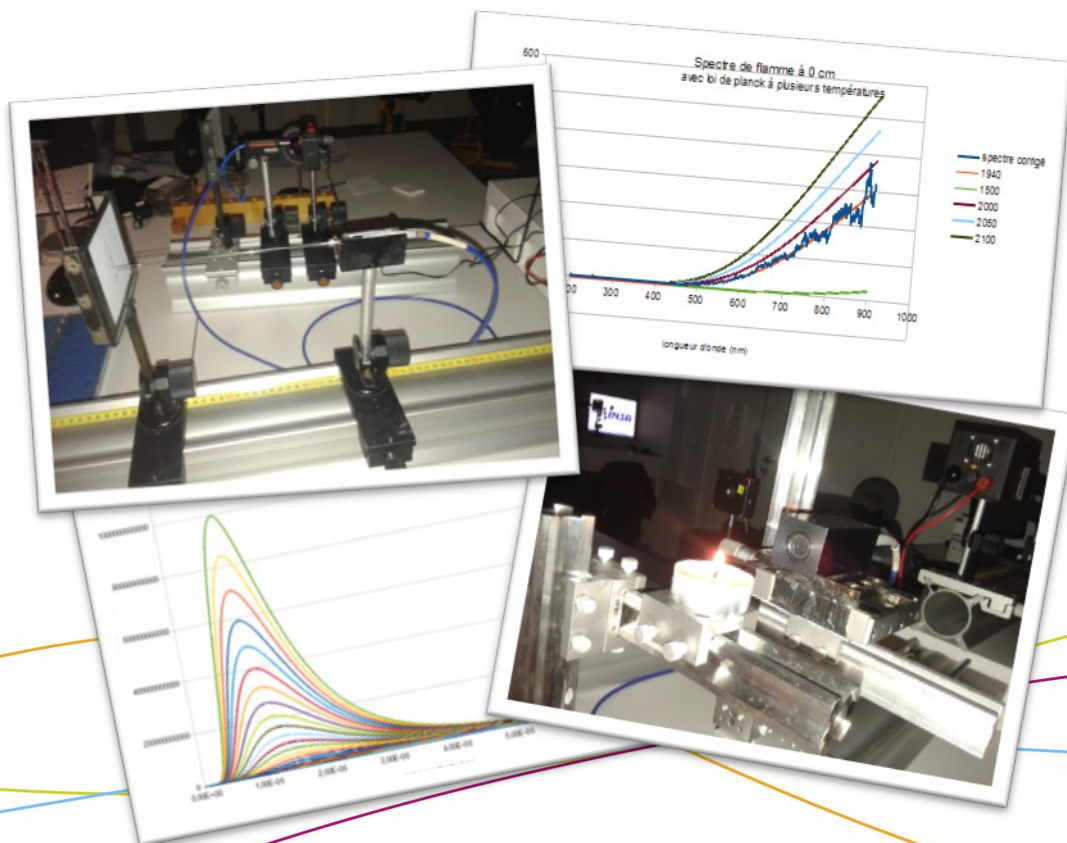


*Projet de Physique P6
STPI/P6/2014 – 026*

Spectroscopie d'émission de flammes



Étudiants :

Evgeni MILANOV

Audrey LAFLESSELLE

Maïlys LAINÉ

Alexandru IVOU

Enseignant-responsable du projet :

David Honoré

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : 20/06/2014

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 026**

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

Type de projet : **expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :*

Ce projet a un double objectif :

D'une part, étudier le spectre d'une flamme avec un spectroscope.

D'autre part, calculer la température d'une flamme grâce aux spectres trouvés .

Mots-clefs du projet (4 maxi) : Spectre, Émissivité, température,

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **A 30227**

TABLE DES MATIÈRES

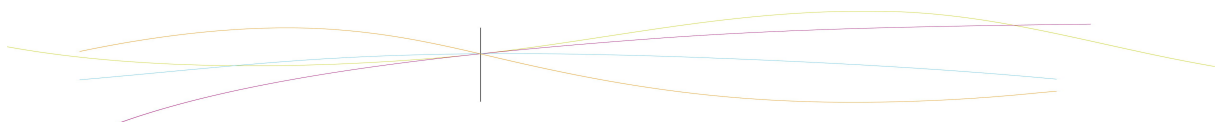
1. Introduction.....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Spectroscopie.....	7
3.1. Principe.....	7
3.2. Spectroscopie.....	7
4. Travail réalisé et résultats.....	8
4.1. Montage et installation.....	8
4.1.1. Installation.....	8
4.1.2. Partie expérimentale.....	9
4.1.3. Angle solide et les incertitudes.....	9
4.2. Traitements et analyse des spectres.....	11
4.2.1. Corrections des spectres.....	11
4.2.2. Loi de Planck.....	14
4.2.3. Comparaison de la loi de Planck avec les spectres expérimentaux.....	15
4.2.4. Émissivité.....	16
4.2.5. Exploitation des résultats.....	17
5. Conclusions et perspectives.....	18
6. Bibliographie.....	19
7. Annexes.....	21
7.1. Spectres expérimentaux avec détermination de la température.....	21
7.1.1. A 0cm du bas de la flamme.....	21
7.1.2. A 0,5cm du bas de la flamme.....	21
7.1.3. A 1cm du bas de la flamme.....	22
7.1.4. A 1,5cm du bas de la flamme.....	23
7.1.5. A 2cm du bas de la flamme.....	24
7.1.6. A 2,5cm du bas de la flamme.....	25
7.1.7. A 3cm du bas de la flamme.....	26
7.1.8. A 3,5cm du bas de la flamme.....	26

1. INTRODUCTION

Le projet de P6 se déroule pendant 4 mois et demi du quatrième semestre du cycle STPI. Ce travail, accompli à quatre, a pour objectif l'étude des spectres de flamme émis par une bougie. Le but final est de déterminer la température de cette flamme.

Les intérêts de ce projet sont multiples. En effet, une flamme n'a pas la même température en chacun de ses points. De plus, chaque niveau de la flamme a une composition différentes ainsi, des facteurs tels que l'émissivité des suies sont à prendre en compte. D'autre part, le montage est un sujet de réflexion afin d'éviter les parasites et de bien choisir les outils.

Ce rapport est organisé en 3 parties. Dans un premier temps, la répartition du travail est présentée. Dans une seconde partie, le principe global de la spectroscopie et du spectroscope MAYA est expliqué. Enfin, le travail exécuté depuis le montage, jusqu'à la détermination d'une température de flamme grâce à la loi de Planck, en passant par l'acquisition et la correction des spectres est exposé.



2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

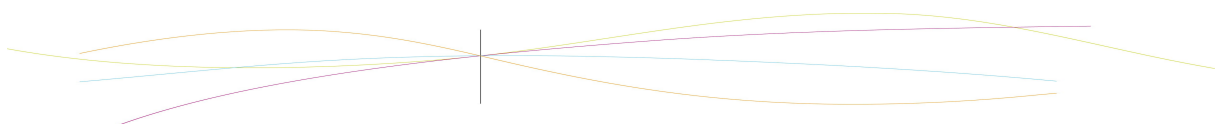
Notre groupe de projet compte quatre personnes. Une répartition des tâches a été faite dès le début du projet, après la présentation du sujet par M. Honoré. Nous nous sommes divisés en deux sous-groupes, en fonction des préférences de chacun, afin que le travail soit plus efficace.

Le travail s'est déroulé en phases bien distinctes :

- Evgeni et Alexandru ont réalisé la partie montage et installation ainsi que les différentes expériences en salle de travaux pratiques d'optique ;
- Audrey et Maïlys se sont occupées de l'acquisition et l'analyse des données sur ordinateur, à partir du spectroscope ;
- Les recherches théoriques, la mise en page du rapport écrit et du diaporama ont été faites chez nous ou en réunion de groupe. Chacun avait un rôle bien défini.

Pour toute la partie expérimentale, nous étions organisés de façon à ce que l'un de nous prenne des notes en vue du rapport, ainsi que des photos, et l'autre personne manipulait. Bien entendu, ces postes tournaient séance après séance afin de permettre à tout le monde de manipuler. Dès que le montage optique était prêt, l'acquisition était faite grâce au spectroscope Maya 2000 PRO et au logiciel SpectraSuite. Il ne restait plus qu'à mettre les données sur un tableur (Calc qui est disponible à l'INSA) pour pouvoir les post-traiter et les analyser.

Le cahier de laboratoire nous a permis de retracer ce qui a été fait lors de chaque séance, de noter les explications de certains calculs et méthodes ainsi que de planifier les tâches à faire la séance d'après.



3. SPECTROSCOPIE

3.1. Principe

La spectroscopie est l'ensemble des méthodes et techniques d'études générales des rayonnements émis, absorbés ou diffusés par une substance.

Lorsqu'un atome est chauffé, un de ses électrons se situant sur sa couche externe (parfois sur sa couche interne) passe de son état fondamental à un état excité. Or ce même type d'excitation peut être effectué par absorption de la lumière (ou photon), on parle alors d'absorption. Puis cet électron repasse du niveau excité au niveau fondamental en émettant un photon, on parle alors d'émission.

Un spectre constitue l'ensemble des raies résultant de la décomposition d'une lumière complexe en fonction de la longueur d'onde. Il existe deux types de spectre: les spectres d'absorption et les spectres d'émission.

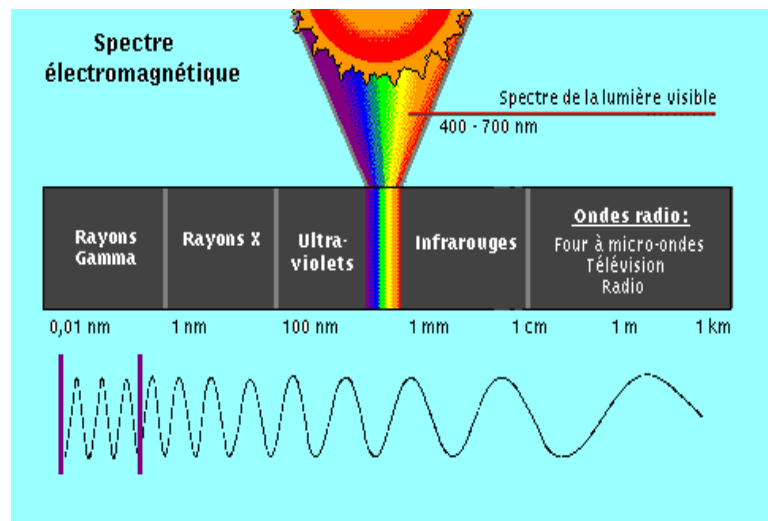


Illustration 1: Spectre d'une onde électromagnétique

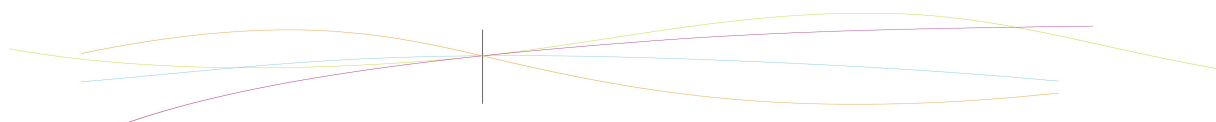
Dans ce projet, seuls les spectres d'émissions nous intéressent.

3.2. Spectroscopie

Le spectroscopie est un instrument capable de disperser la lumière, c'est-à-dire qu'il en sépare l'intensité lumineuse ou les couleurs, en fonction de la longueur d'onde.

L'élément majeur du spectroscopie est le disperser, qui peut être un prisme ou un réseau. Le spectroscopie MAYA 2000, utilisé durant le projet, est un spectroscopie à réseau diffractant. Le spectre est généré par une fine plaquette sur laquelle ont été gravées de fentes minces et parallèles. La lumière est diffractée lorsqu'elle se réfléchit sur cette plaquette.

Le spectroscopie est également constitué d'une fente, de deux miroirs et d'un capteur CCD.



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 capte 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.

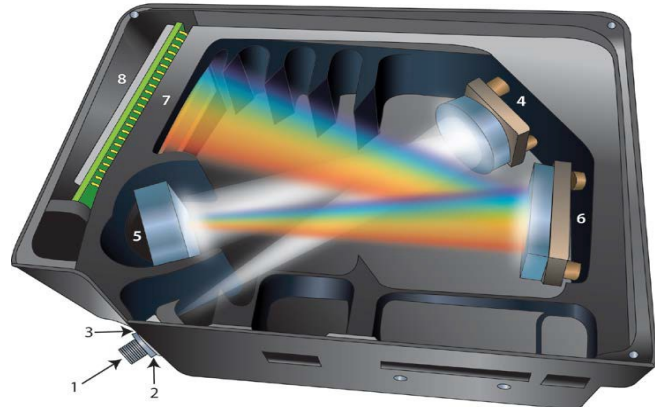
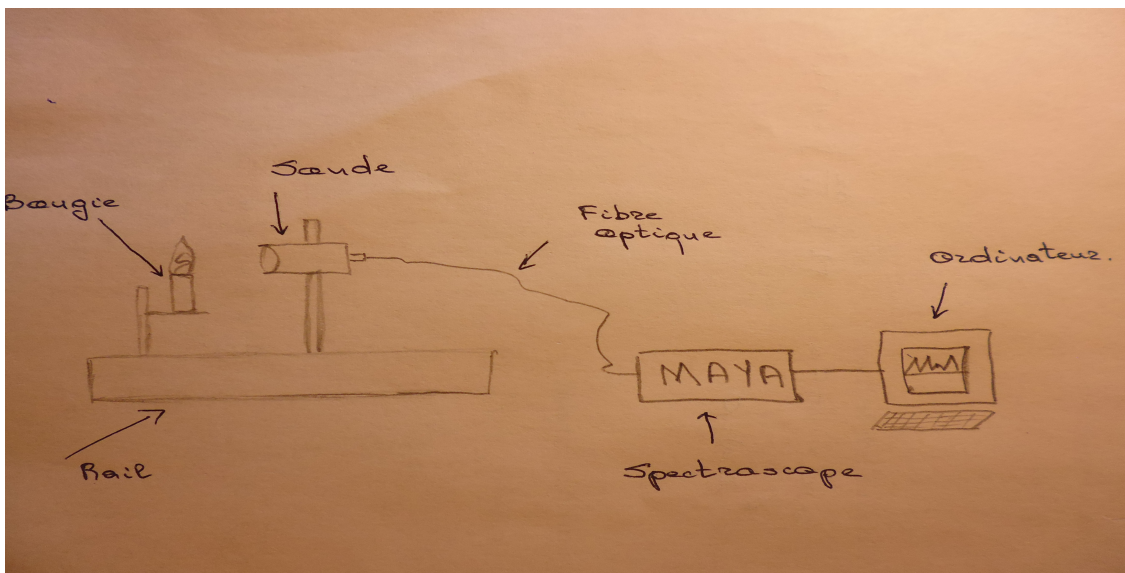


Illustration 2: Détail de l'intérieur de spectrographe Maya

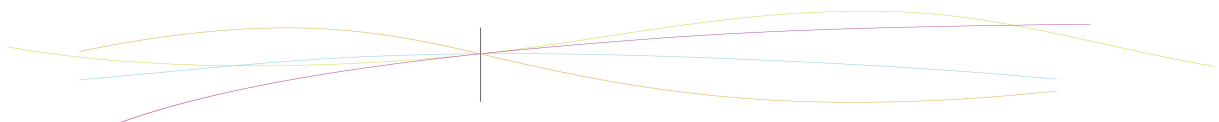
4. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

4.1. Montage et installation

4.1.1. Installation



Le montage consiste en deux rails, un de 150cm et le deuxième de 50cm. Nous avons utilisé le plus long rail pour la plupart des expériences, car on a monté dessus le



support pour la bougie et une sonde pour capter le flux lumineux des différentes parties des flammes, pendant toutes les expériences effectuées. La sonde est composée d'une lentille convergente et à sa distance focale est placé un capteur constitué lui-même d'un câble seul de la fibre optique fixé sur un support.

Auparavant, on a déplacé le support avec la bougie au long du rail pour capter le rayonnement de la flamme dans différentes positions. On a observé que le mouvement de la flamme cause des interférences et affecte sérieusement la collection du rayonnement, donc pour ne pas perdre du temps en essayant de recevoir un bon captage de la flamme, on a décidé de bouger la sonde par rapport à la bougie.

Pendant notre projet, on a utilisé aussi la sonde fine, ce qui nous a donné un grand avantage car on a pu étudier les différentes parties de la flamme plus précisément.

Sur le petit rail on a installé un laser qu'on a utilisé avec la sonde fine pour nous aider à connaître l'endroit précis de la flamme qu'on étudie.

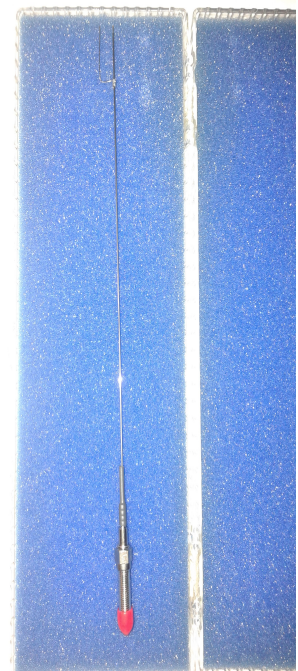


Illustration 3: Sonde Fine

4.1.2. Partie expérimentale

Pendant nos séances du projet, tout notre groupe a été impliqué dans les expériences effectuées. Au début des expériences, la démarche était presque identique à chaque séance : on allumait la flamme avec un briquet, on déplaçait la sonde dans un endroit précis qu'on avait établi avant pour capter les rayonnements et on avait préparé le logiciel Spectrasuite pour pouvoir recevoir les informations sur l'ordinateur.

Les ondes étaient dirigées vers le capteur MAYA grâce à une fibre optique et grâce au logiciel SpectraSuite, on pouvait observer un graphique sur l'ordinateur.

4.1.3. Angle solide et les incertitudes

Pour qu'on puisse trouver le spectre de notre flamme, il faut savoir les

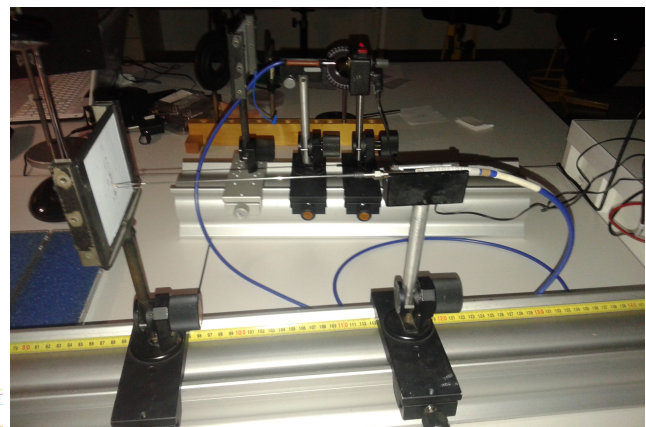
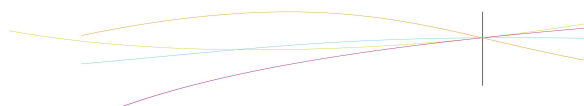


Illustration 4: Montage pour déterminer l'angle solide

caractéristiques de transition de notre montage optique. Pour cela un montage supplémentaire a été réalisé pour trouver l'angle solide de la sonde et de la sonde fine.

Ce montage était composé par quelques outils d'optique dont on disposait dans la salle d'optique. L'illustration 6 montre le montage avec la sonde fine. Grâce à un laser on pourrait envoyer de la lumière dans le câble fibre optique qui transmet le signal à travers de la sonde fine sur l'écran. On a utilisé une autre écran pour faire l'ajustement du laser. Comme cela on a reçu le maximum de la lumière dans le câble et bien évidemment sur l'écran

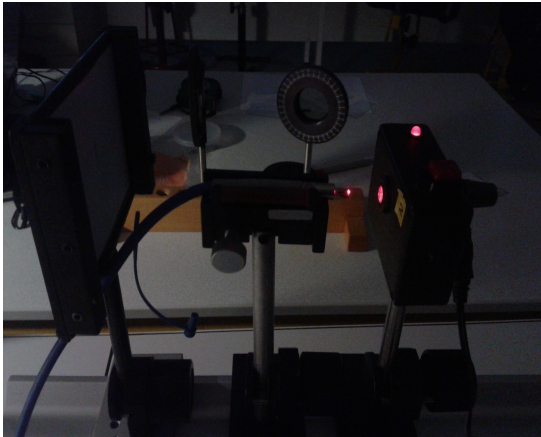


Illustration 5: Laser rouge

principal. La même procédure a été faite pour la sonde à lentille.

Grâce à ce montage, on a pu déterminer l'angle solide des deux composants optiques en utilisant la formule ci-contre.

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

Rapidement, on pouvait constater que l'angle solide projeté sur l'écran avait un angle conique. Cette conclusion a été obtenue en déplaçant l'écran sur le rail. En

augmentant la distance entre l'écran et la sonde, notre angle a augmenté aussi, ce qui veut dire qu'il est bien conique.

L'étape suivante était de justifier cette expérience. Donc nous avons fait des calculs d'incertitudes pour la sonde et la sonde fine. Les calculs d'incertitudes sont très importants sachant qu'on n'a pas utilisé une machine spécifique pour mesurer la grandeur de la tache sur la feuille. On a tracé une ligne millimétrée sur la feuille. Après on a ajusté le centre de la tache sur la ligne millimétrée. Comme cela on a trouvé le rayon de la lumière projeté. Le déplacement sur la rail était mesuré par une

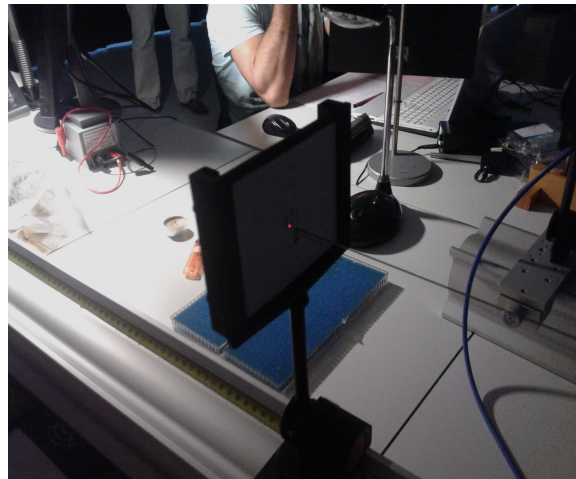
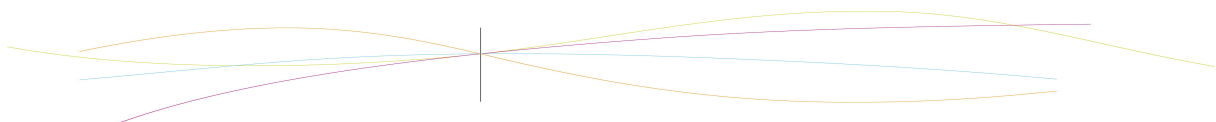
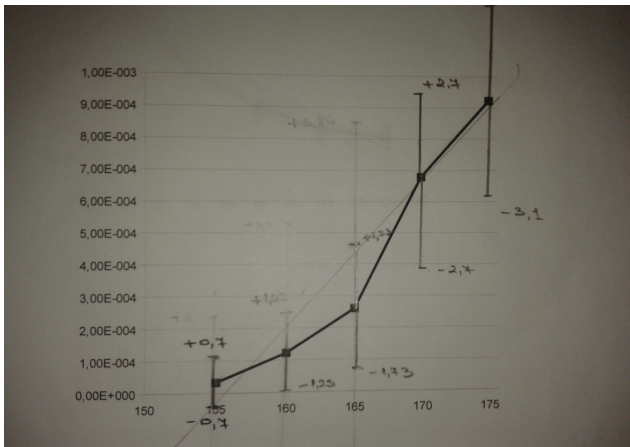


Illustration 7: l'angle solide sur l'écran

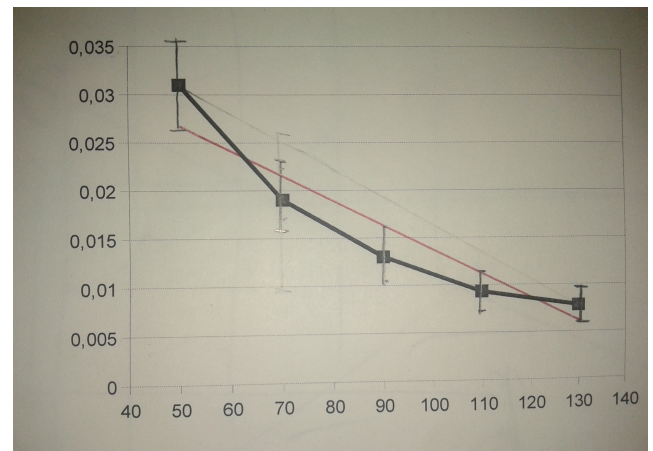
règle. Finalement, nous avons décidé que l'erreur faite sera de 0,5 millimètres en rayon et en distance. Nous avons utilisé la formule suivante pour calculer les incertitudes :



Résultats obtenus à différentes distances :



Graph 1: Incertitudes de la sonde fine



Graph 2: Incertitudes de la sonde à lentille

Finalement la courbe résultante passe à travers des intervalles des incertitudes, on peut en conclure que les calculs sont corrects. Ce qui veut dire que l'hypothèse est correcte : l'angle solide est conique. Après avoir fait cette expérience on peut dire qu'avec la sonde à lentille on récupère beaucoup plus de volume c'est à dire on reçoit beaucoup plus de lumière. Évidemment, la sonde fine est plus précise et c'est pourquoi elle a été utilisée pour trouver les spectres expérimentaux.

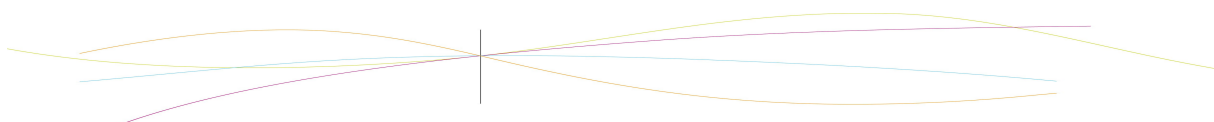
4.2. Traitements et analyse des spectres

4.2.1. Corrections des spectres

Les spectres acquis grâce au spectroscope Maya 2000 PRO, n'étaient pas utilisables tels quels. En effet, nous avons pu remarquer d'une part que l'appareil captait un signal alors que nous étions dans le noir complet. D'autre part, il ne réagissait pas de la même manière en fonction des longueurs d'ondes émises.

1 Mise à zéro

Dès les premières acquisitions, nous avons remarqué que les spectres ne démarraient pas à zéro. Nous avons donc voulu voir ce que l'on obtenait si on réalisait une acquisition dans le noir complet. Normalement, nous aurions dû obtenir un spectre nul. Au lieu de cela, nous pouvions observer quelques variations. Ce qui voulait dire qu'à chaque



spectre acquis, ces variations qui ne devraient pas être perçues, s'ajoutaient à l'intensité lumineuse mesurée.

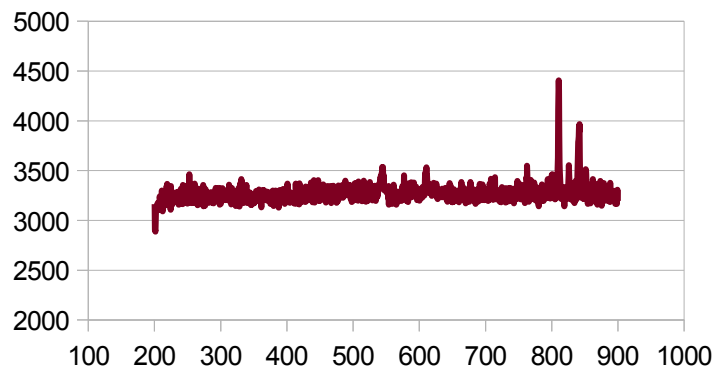


Illustration 8: Spectre acquis dans le noir, éclairement en fonction des longueurs d'onde (nm)

Ainsi, la correction des données a commencé par la résolution de ce biais expérimental dû principalement au bruit électronique du capteur. Pour cela, nous avons récupéré les valeurs du spectre obtenu dans le noir et nous les avons soustraites aux valeurs de chaque spectre réalisé par la suite.

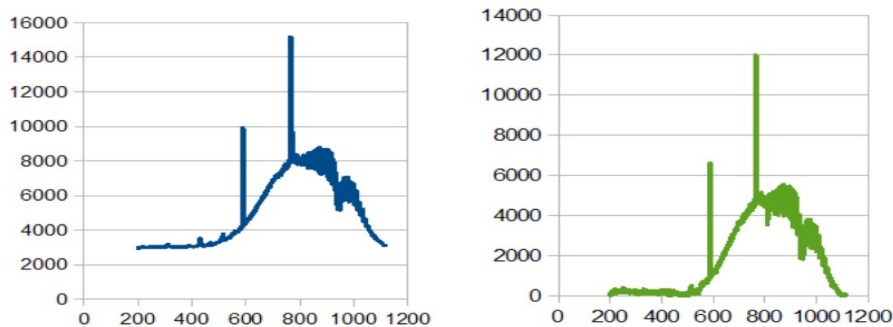
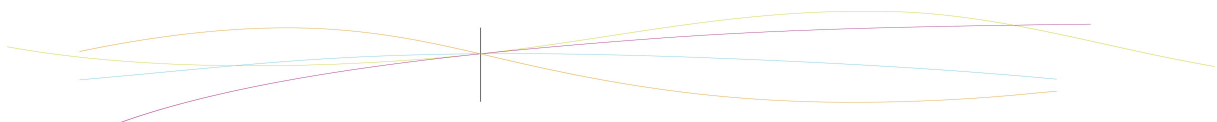


Illustration 9: Spectre avant (à gauche) et après (à droite) mise à zéro grâce au spectre acquis dans le noir (illustration 7)

2 Prise en compte des réponses du montage

Le capteur (S10420) contenu dans le spectroscopie est conçu uniquement pour détecter des longueurs d'ondes comprises dans l'intervalle 125-1100 nm. De plus, l'efficacité du capteur varie pour chaque longueur d'onde, comme le montre, ci-dessous l'illustration 10.



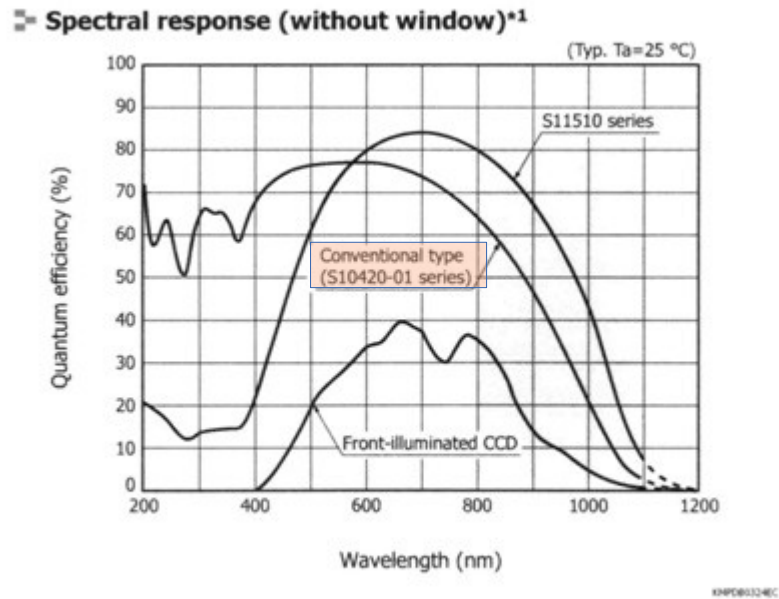


Illustration 10: Efficacité de capteurs en fonction des longueurs d'onde . Celui qui nous intéresse ici est le S10420-01 series. [4]

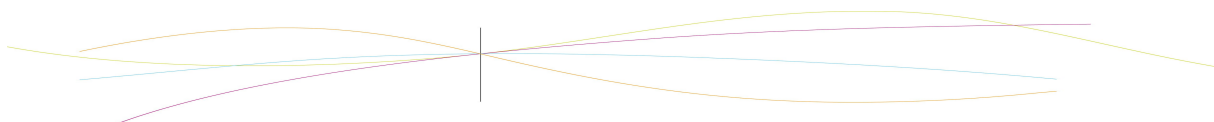
Ces variations ne concernent pas seulement ce capteur, mais bien tous les composants du montage optique. Ainsi, la réponse du matériel à disposition est difficilement mesurable.

Nous avons donc cherché à corriger les spectres sans évaluer les comportements de chaque élément mais plutôt en considérant le montage dans sa totalité.

Pour corriger les spectres expérimentaux, il fallait déterminer la différence entre un spectre théorique que le constructeur fournit avec l'appareil, et un spectre expérimental acquis avec le spectroscopie MAYA à notre disposition.

Nous disposons de ces deux spectres pour la lampe EQ-99. Cependant, le spectre théorique était uniquement sous format papier. En attendant que le constructeur nous envoie le spectre sous tableur, pour plus de précision, nous avons approximé la courbe sur papier par des droites affines. Nous avons ainsi obtenu une allure de courbe théorique pour chaque longueur d'onde.

Puis nous avons reçu les données du constructeur, laissant de côté l'allure de courbe beaucoup moins précise. Pour chaque longueur d'onde, le coefficient de correction correspond à l'éclairement théorique divisé par l'éclairement expérimental. En multipliant nos spectres expérimentaux par ce coefficient, ils étaient ainsi corrigés de la variation de la réponse de notre montage, avec la longueur d'onde et pouvaient à présent être exploités.



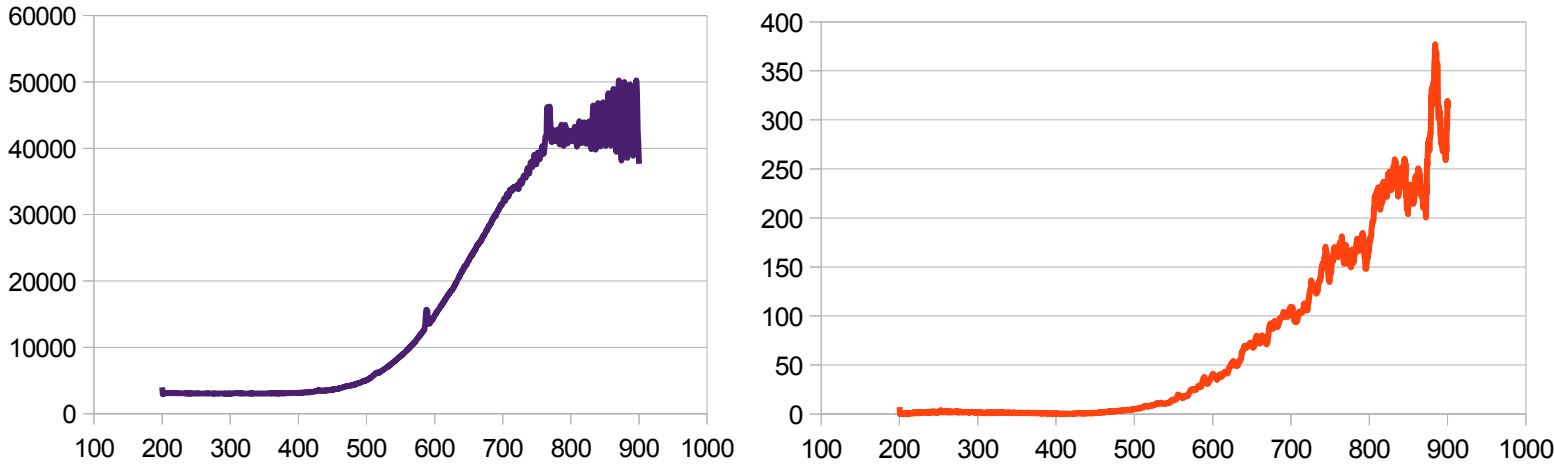


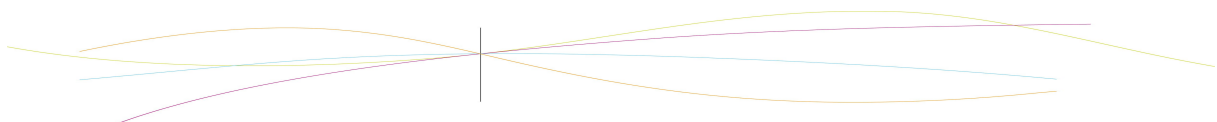
Illustration 11: Spectre expérimental avant (à gauche) et après (à droite) traitement

4.2.2. Loi de Planck

La loi de Planck permet de définir la distribution de luminance énergétique monochromatique du rayonnement thermique d'un corps noir en fonction de la température. La luminance énergétique monochromatique est défini comme un flux énergétique par unité de surface, par unité d'angle solide et par unité de longueur d'onde.

$$L_{\lambda} = \frac{2hc_{\lambda}^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc_{\lambda}}{k\lambda T}\right) - 1}$$

Avec $h=6,62617E-34$ J.s (constante de Planck),
 $c=299792458$ m/s (vitesse de la lumière dans le vide),
 λ est la longueur d'onde en m,
 $k=1,38066E-23$ J/K (constante de Boltzmann),
 T est la température en Kelvin.



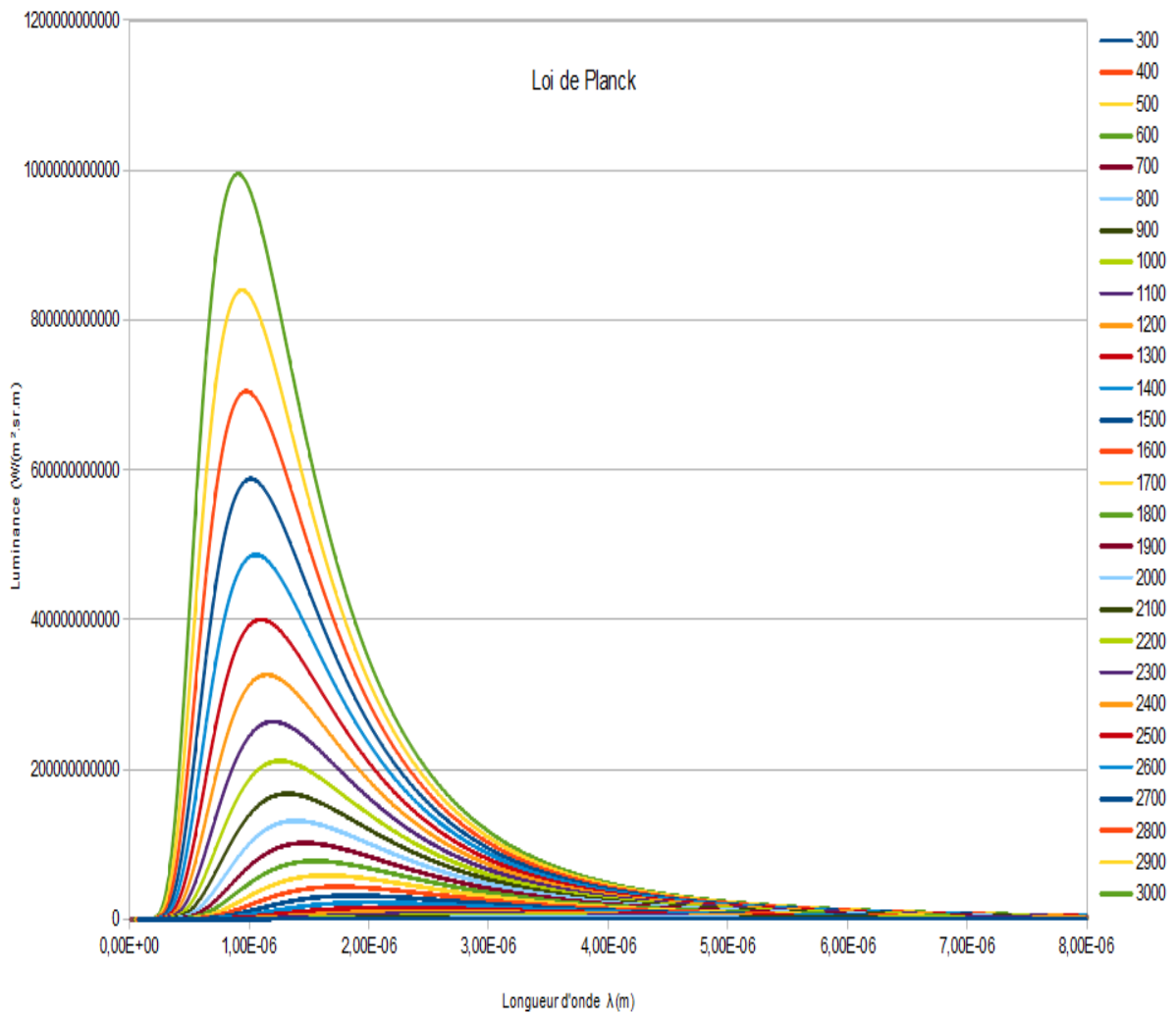


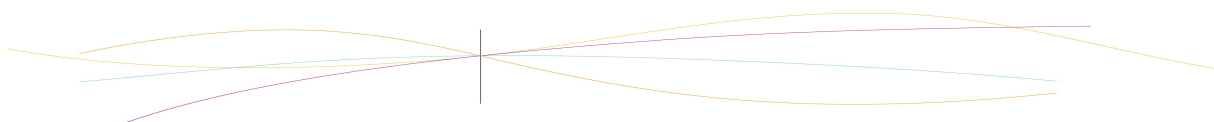
Illustration 12: Loi de Planck

Cette loi met en évidence le fait que l'émission d'un corps varie en fonction de la température. Ainsi, la température d'une flamme peut être déterminée en utilisant cette loi de Planck.

4.2.3. Comparaison de la loi de Planck avec les spectres expérimentaux

Comme cela a été énoncé précédemment, les acquisitions des spectres ont été faites grâce au logiciel SpectraSuite. Ces données ont été copiées sur OpenOffice Calc afin d'être traitées.

Chaque spectre expérimental a été comparé avec la loi de Planck afin de déterminer la température de la flamme qu'il représente. La loi de Planck et notre spectre expérimental n'ayant pas une luminance du même ordre, il a été nécessaire de trouver une relation linéaire reliant les deux. Pour cela, deux points $I_1 (\lambda_1 , L_1)$ et $I_2 (\lambda_2 , L_2)$, les plus



espacés possible ont été choisis sur le spectre expérimental. Connaissant la longueur d'onde et à une température choisie, les points se situant sur la loi de Planck (I_{p1} et I_{p2}) ont pu être déterminés. Deux équations ont été obtenues : $I_1 = a \cdot I_{p1} + b$ et $I_2 = a \cdot I_{p2} + b$. Les coefficients a et b ont été déterminés et la courbe linéaire a pu être tracée.

La comparaison entre cette courbe affine à plusieurs températures et le spectre expérimental a été faite.

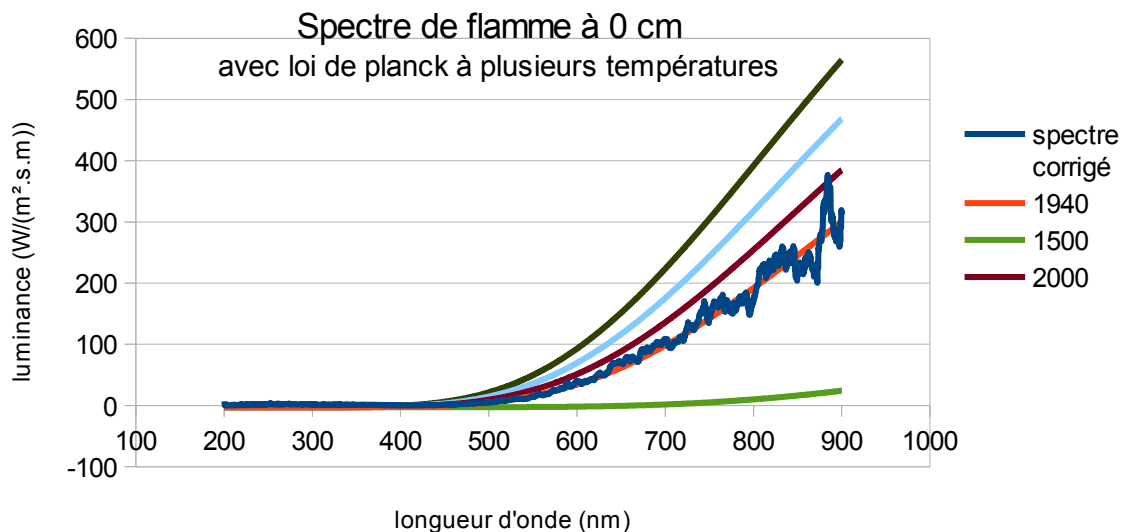


Illustration 13: Spectre de flamme à 0cm avec loi de Planck

A l'aide d'une différence entre chaque température (prise tous les 5K) et notre spectre expérimental, la température de la flamme est obtenue..

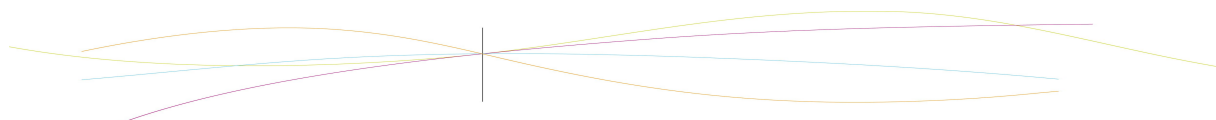
La température de la flamme à 0 cm à partir du bas de la flamme est de 1940K. Cette estimation est donc à 5 kelvin près.

4.2.4. Émissivité

La loi de Planck s'applique à des corps noirs, or la flamme étudiée n'en est pas un. Les résultats que nous avons obtenus ne sont donc pas exacts. Pour résoudre ce problème, un coefficient d'émissivité a été introduit.

L'émissivité concernant une flamme, nous a été fournie par notre enseignant-responsable.

Deux hypothèses ont été posées : le milieu est homogène en suies et seules les suies rayonnent.



On a, $\varepsilon(\lambda) = 1 - \exp\left(-\frac{6\pi \cdot E(m) \cdot f_v \cdot L}{\lambda}\right)$

Avec L, l'épaisseur de la flamme, ici L=1m ;

$f_v = 1,5 \cdot 10^{-8}$ fraction volumique ;

$E(m) = 0,3$, terme lié à l'indice de réfraction des suies ;

λ , la longueur d'onde

A l'aide de ce coefficient, le calcul de la température est ajusté.

Hauteur de la flamme	Température
0cm	1775K
0,5cm	1760K
1cm	1750K
1,5cm	1720K
2cm	1775K
2,5cm	1775K
3cm	1775K
3,5cm	1750K

(En annexe se trouve les spectres expérimentaux avec les courbes de températures qui tiennent et ne tiennent pas en compte l'émissivité.)

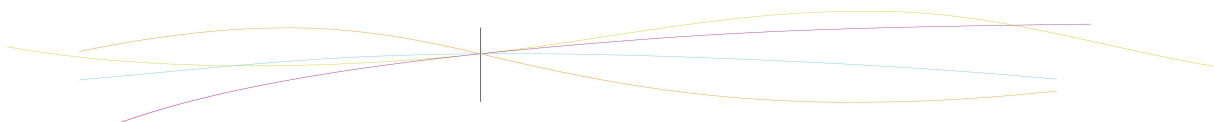
4.2.5. *Exploitation des résultats*

La prise en compte de l'émissivité semble importante. En effet, on remarque un écart d'environ 200K entre les températures déterminées sans prendre compte ce facteur et celles déterminées avec sa prise en compte.

Contrairement aux résultats attendus, on ne constate pas de grandes variations de température entre le bas de la flamme et le haut de la flamme. Le minimum de température est atteint au milieu de notre flamme.

Idéalement, nous aurions du obtenir une légère augmentation de température en bas de la flamme puis une diminution graduelle en montant de long de la flamme.

Ces résultats peuvent être justifiés par certains facteurs. En ce qui concerne l'émissivité, les hypothèses sur lesquelles son calcul s'est basé ont été exposées précédemment, mais il est possible que la correction par l'émissivité soit erronée du fait que la concentration de suies dans le bas de la flamme est différente de celle dans le haut de la flamme. De plus, du côté pratique, la stabilisation de la flamme n'est pas toujours évidente, surtout lors des captures de spectres du haut de cette flamme.



5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

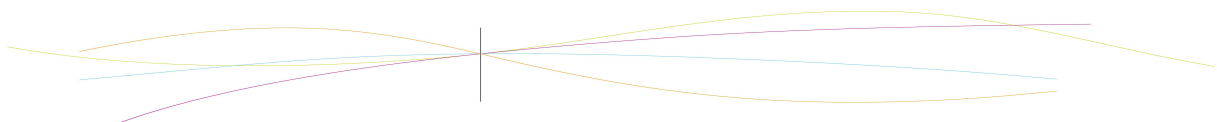
Ce projet nous a permis de découvrir de nouveaux dispositifs nécessaires à la spectroscopie : les appareils tel que le spectroscope MAYA et le logiciel SpectraSuite. De plus, nous avons acquis de nouvelles notions mais aussi d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'optique et plus particulièrement celui de la spectroscopie de flamme.

Dans la continuité des différents projets que nous avons eu l'occasion de réaliser, celui-ci nous a permis de développer notre faculté à travailler en groupe et d'améliorer d'avantage notre façon de nous organiser en passant par :

- une bonne répartition des tâches qui nous a offert une complémentarité ;
- une planification sur le long terme, du travail à effectuer pour finir le projet en temps et en heures.

Enfin, nous avons eu l'opportunité d'être dans un groupe composé à la fois d'étudiants étrangers et français. Ainsi, chaque échange a été d'autant plus bénéfique pour chacun.

Nous pourrions envisager d'approfondir ce qui a été fait durant ce projet, pour définir la température de flammes issues d'autres objets qu'une bougie. On pourrait utiliser par exemple, un bec Bunsen où c'est un combustible gazeux qui est brûlé. Mais nous pourrions aussi faire brûler d'autres matériaux.



6. BIBLIOGRAPHIE

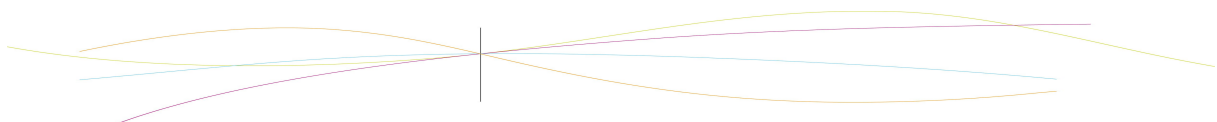
[1] Principe de la spectroscopie : http://tpesoleil.free.fr/partie_1_b.htm (valide à la date du 02/06/2014)

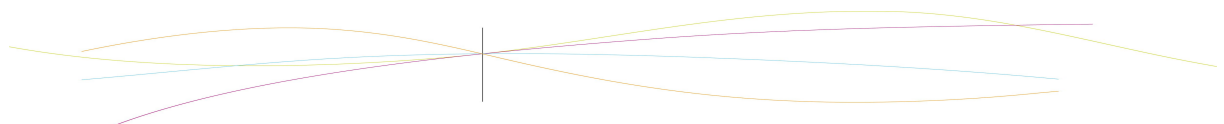
[2] Fonctionnement du spectroscope : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscope> (valide à la date du 02/06/2014)

[3] Angle solide : http://fr.wikipedia.org/wiki/Angle_solide (valide à la date du 02/06/2014)

[4] Réponse du spectroscope MAYA : <http://www.oceanoptics.com/Products/maya.asp> (valide à la date du 01/06/2014)

[5] Loi de Planck : http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Planck (valide à la date du 01/06/2014)





7. ANNEXES

7.1. Spectres expérimentaux avec détermination de la température

7.1.1. A 0cm du bas de la flamme

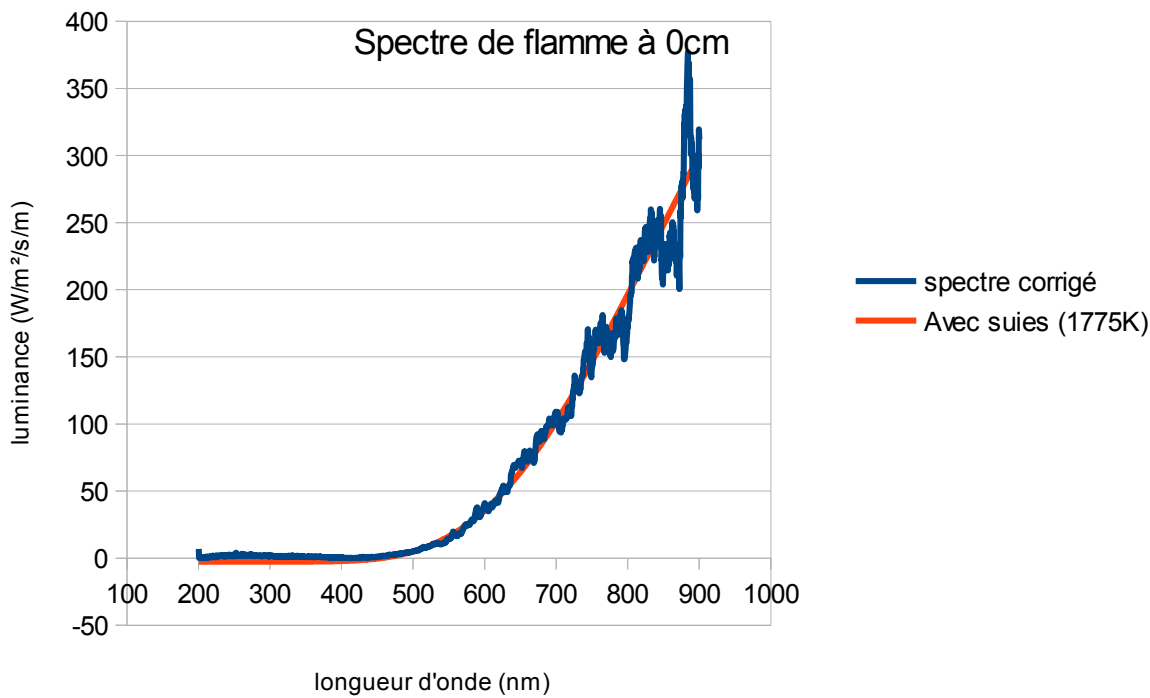


Illustration 14: Spectre de flamme à 0cm

7.1.2. A 0,5cm du bas de la flamme

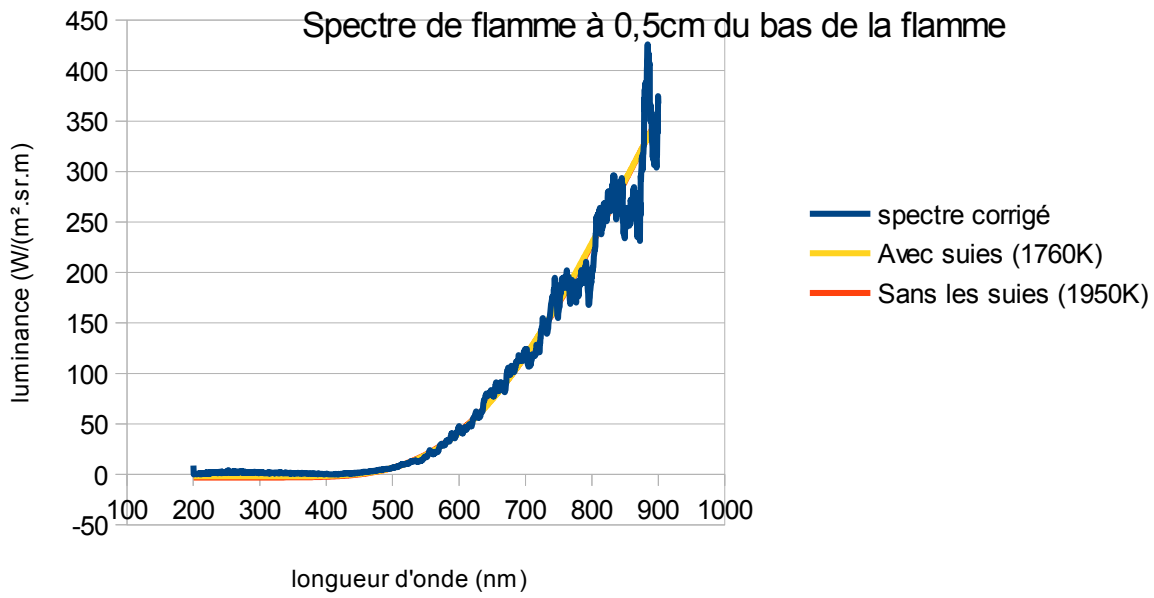
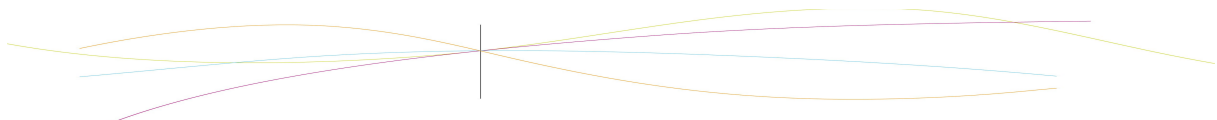


Illustration 15: Spectre de flamme à 0,cm

7.1.3. A 1cm du bas de la flamme



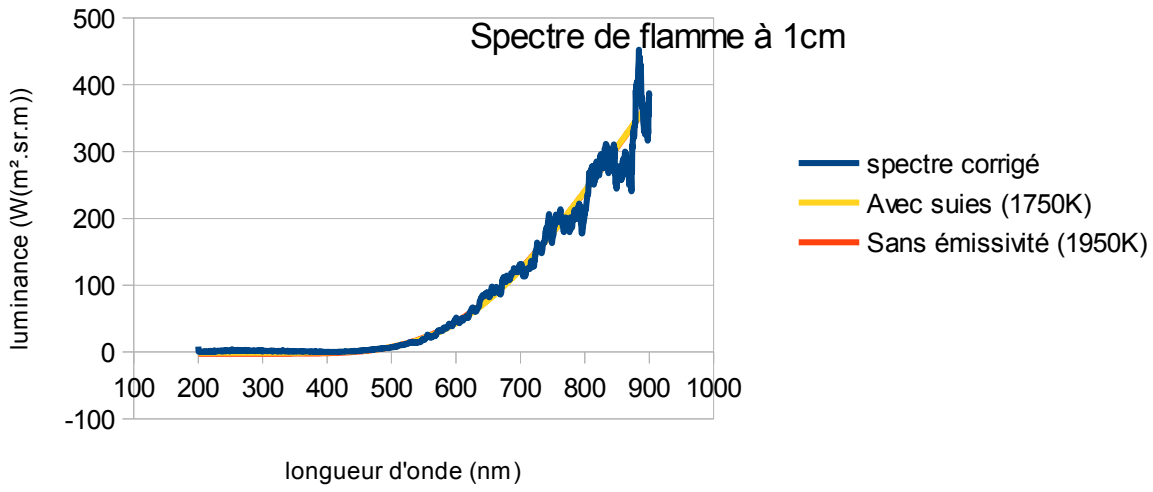
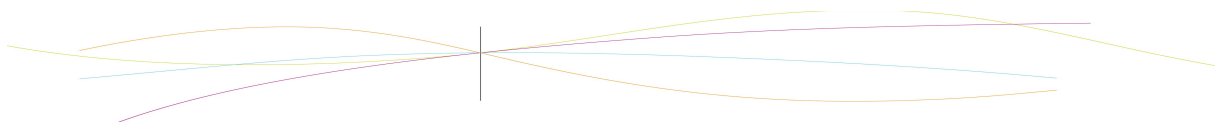


Illustration 16: Spectre de flamme à 1cm

7.1.4. A 1,5cm du bas de la flamme



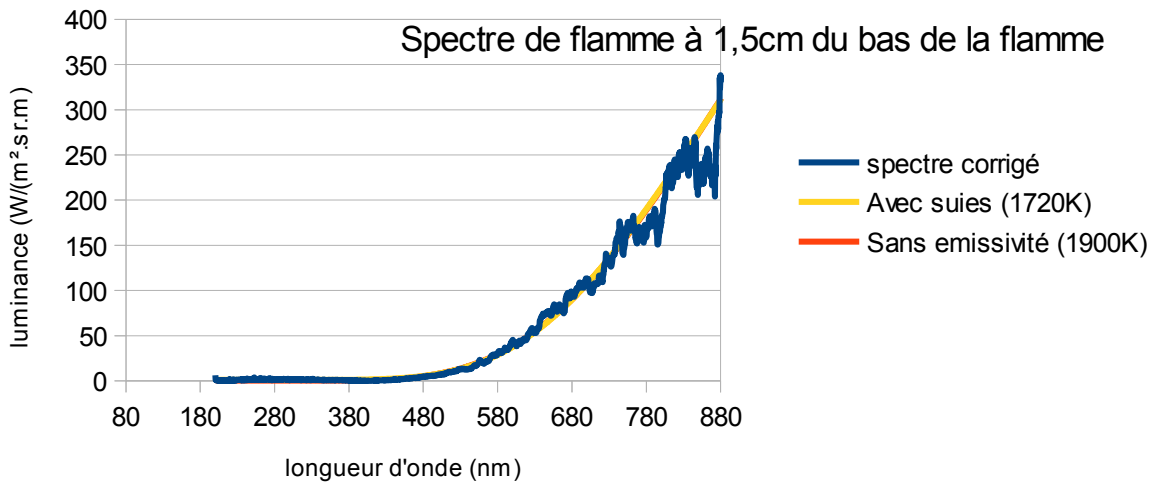
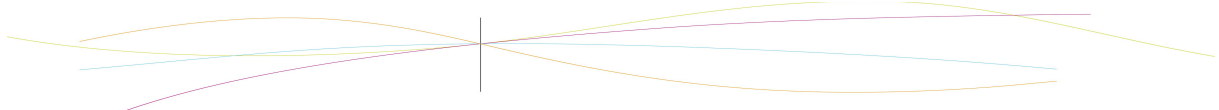


Illustration 17: Spectre de flamme à 1,5cm

7.1.5. A 2cm du bas de la flamme



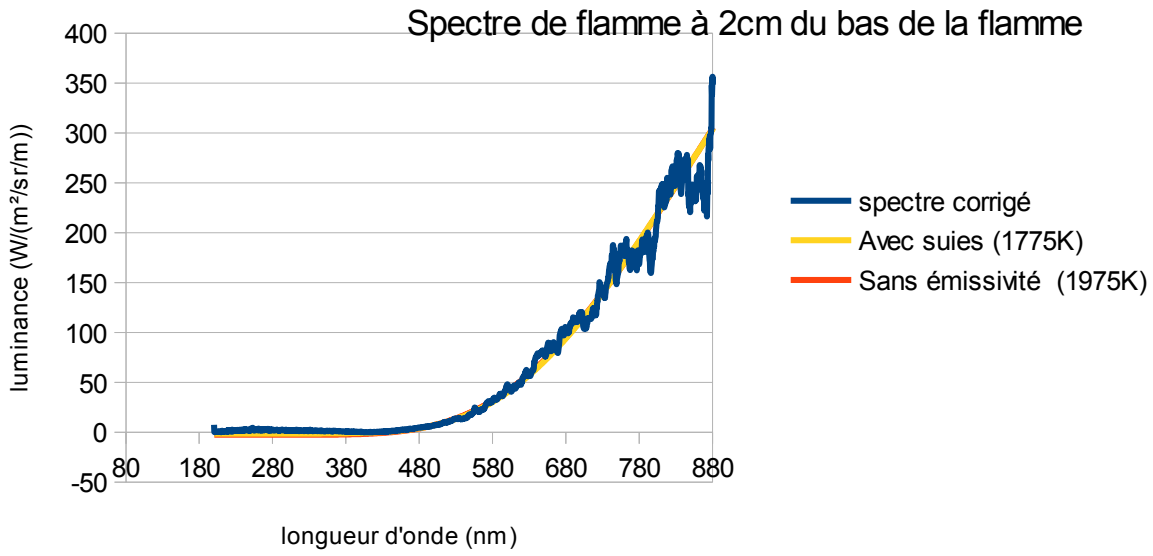
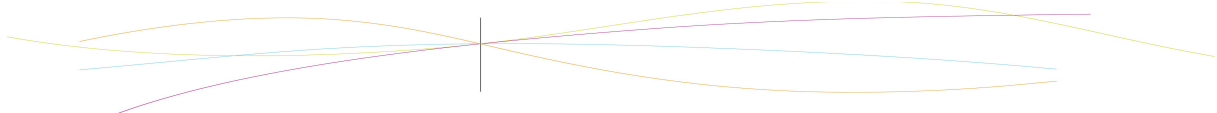


Illustration 18: Spectre de flamme à 2cm

7.1.6. A 2,5cm du bas de la flamme



7.1.7. A 3cm du bas de la flamme

Spectre de flamme à 3cm du bas de la flamme

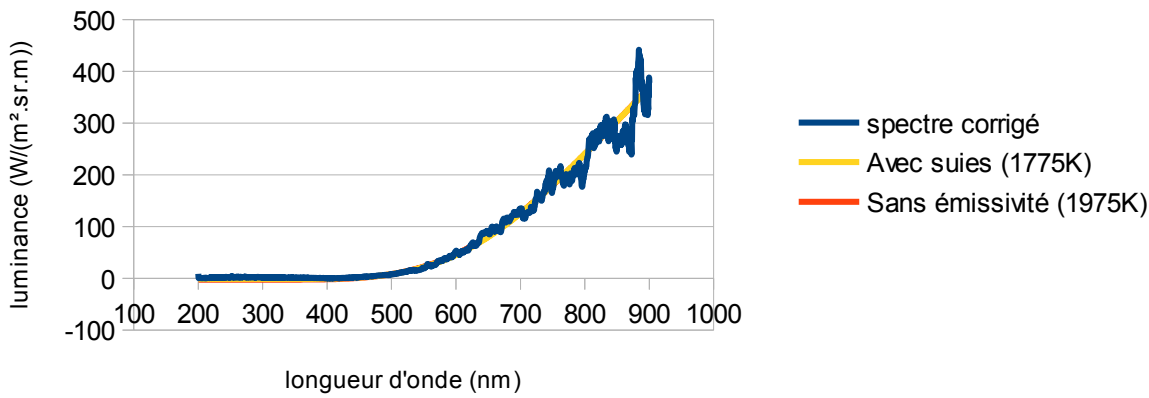


Illustration 19: Spectre de flamme à 3cm

7.1.8. A 3,5cm du bas de la flamme

Spectre de flamme à 3,5cm du bas de la flamme

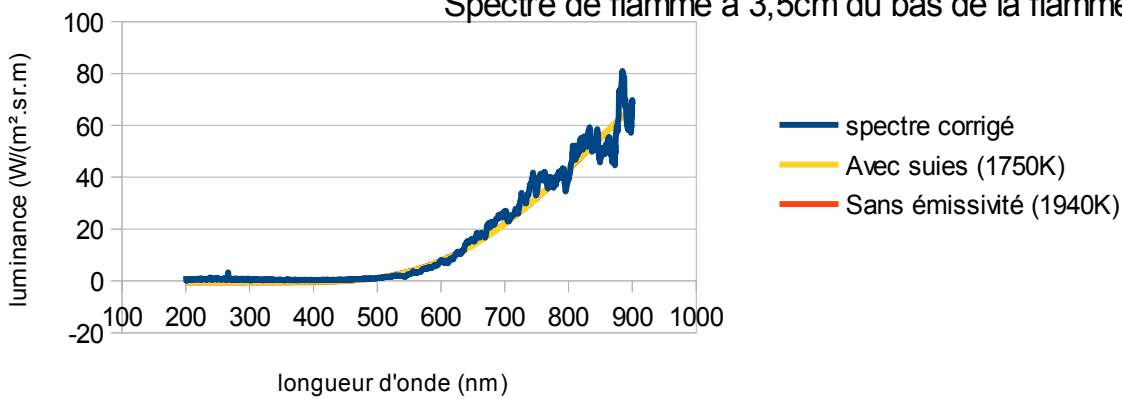


Illustration 20: Spectre de flamme à 3,5cm

