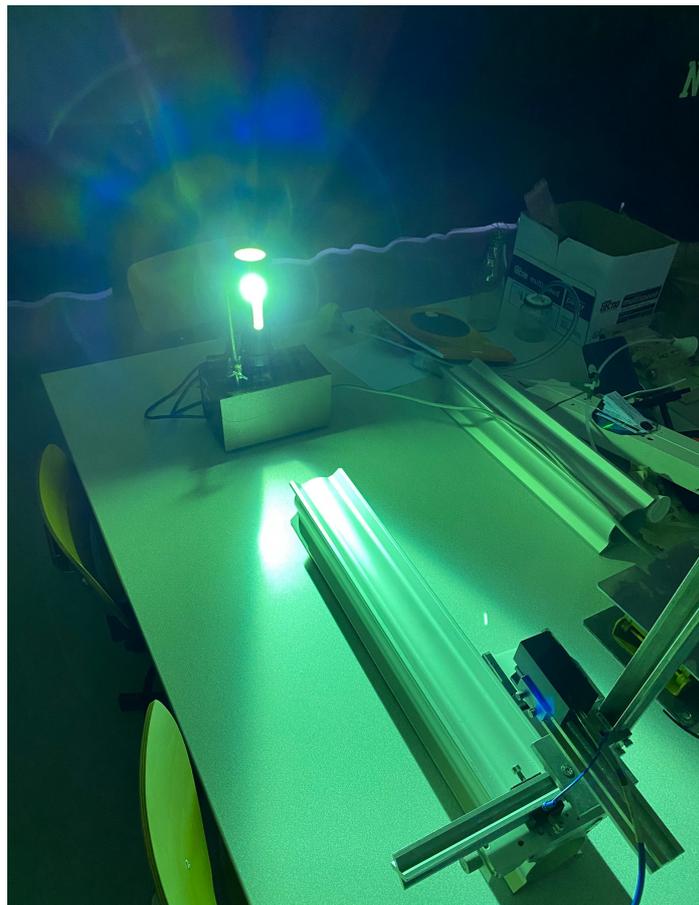


SPECTROSCOPIE ET COLORIMÉTRIE

**Étudiants :****Axel Fillette****Raphaëlle Pichot****Azara Traoré****Damien Siméon****Agathe Goudigan****Enseignant-responsable du projet :****DAVID HONORÉ**

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **13/06/24**

Référence du projet : **STPI/P6/2024 – 11**

Intitulé du projet : **Spectroscopie et Colorimétrie**

Type de projet : **Bibliographique & Expérimental**

Objectifs du projet :

L'objectif principal de ce projet est d'étudier et d'analyser les principes fondamentaux de la spectroscopie et de la colorimétrie afin de comprendre la nature et la perception des couleurs. Il vise également à approfondir la compréhension de la liaison entre les propriétés spectrales et les perceptions visuelles de la couleur.

Mots-clefs du projet :

analyse spectrale

perception des couleurs

décomposition de la lumière

synthèse additive des couleurs

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail	6
3. DÉfinition de la couleur	7
3.1. DÉfinition physique de la couleur	7
3.2. DÉfinition physiologique de la couleur	8
3.3. DÉfinition chimique de la couleur	8
3.4. DÉfinition de la colorimétrie.....	9
4. Le spectroscope	9
4.1. Qu'est-ce qu'un spectroscope	9
4.2. Qu'est-ce qu'un spectroscope	10
5. DÉcomposition des couleurs	11
6. Analyse de couleur au spectroscope	12
6.1. Expérience de l'émetteur Tri-Led RGB	12
6.2. Expérience de l'émetteur Tri-Led RGB	14
7. Addition des couleurs par persistance rétinienne	16
8. Spectre d'émission d'une lampe à gaz	17
9. Conclusion	19
10. Bibliographie.....	20
11. Annexes.....	22
.....	28

NOTATIONS, ACRONYMES

- **RGB : Red Green Blue (couleurs primaires)**
- **Capteur CCD : Capteur photographique Charge Coupled Device. Il permet de réaliser un tableau de pixels, constituant principal de l'image numérique.**
- **Émetteur tri-led RGB : émetteur composé de trois diodes émettant des lumières de couleur RGB, pouvant être réglées à différents niveaux d'intensités lumineuse à l'aide de potentiomètres**

1. INTRODUCTION

La spectroscopie et la colorimétrie sont deux sciences étroitement liées qui jouent un rôle important dans notre compréhension de la lumière et de ses propriétés. Ces sciences sont particulièrement utiles et utilisées dans les domaines de la chimie, de la physique, de l'astronomie et dans beaucoup d'applications industrielles.

La spectroscopie est la science de l'étude de l'interaction entre la matière et les rayonnements électromagnétiques. Elle permet de caractériser les propriétés de la lumière en analysant la manière dont elle absorbe, émet ou diffuse la lumière^[1].

En revanche, la colorimétrie est la science qui se consacre à la quantification et l'analyse des couleurs perçues par l'œil humain. Par l'utilisation de matériel pointu et d'outils mathématiques, elle permet une description normalisée des couleurs. Cette science est particulièrement utilisée dans les domaines de l'imprimerie ou du cinéma^[2].

Dans ce rapport, nous explorerons l'étude et l'analyse des principes fondamentaux de la spectroscopie et de la colorimétrie, ainsi que leurs applications pratiques. Nous essaierons également de comprendre les liens puissants entre les propriétés spectrales et les perceptions visuelles de la couleur.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Au début du projet, nous avons fait le choix de nous diviser en deux groupes : un groupe traitant la partie colorimétrie (Azara, Raphaëlle et Agathe) et l'autre se consacrant à la spectroscopie (Axel, Damien et Enzo). Cela nous a permis d'approfondir nos connaissances sur le sujet et sur les expériences réalisables. Nous avons aussi défini le nombre de séances à consacrer par expériences pour ensuite les réaliser en respectant le temps imparti.

Après avoir réalisé un travail bibliographique sur notre sujet, nous avons effectué différentes expériences dans les deux domaines. Celles-ci nous ont permis d'obtenir des résultats à analyser, menant à des recherches supplémentaires. Par la suite, nous avons conjointement réuni les résultats obtenus, ce qui nous a permis de comprendre plus exactement nos expériences par le biais de deux angles différents.

La figure 01 présente le diagramme de Gantt correspondant à la répartition des activités que nous avons réalisées durant la totalité de notre projet.

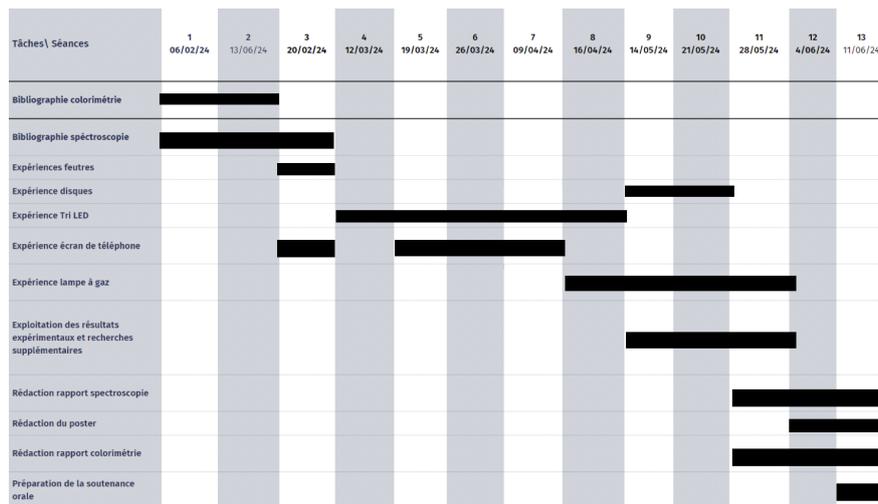


figure 1 : Diagramme de Gantt de notre répartition du travail

Pour autant, nous avons tout de même rencontré quelques imprévus. En effet, notre partenaire Enzo a quitté le projet scientifique ce qui a donc intensifié la répartition du travail en spectroscopie. De plus, nous avons approfondi certaines expériences nous permettant d'avoir une analyse plus élaborée. Cependant, cela a rajouté une charge de travail supplémentaire ce qui a décalé les objectifs que nous nous étions fixés.

3. DÉFINITION DE LA COULEUR

Dans cette partie et la suivante, nous détaillerons la définition de la couleur puis le matériel que nous avons utilisé. Nous aborderons ensuite les résultats de nos manipulations.

3.1. Définition physique de la couleur

Tout d'abord, notre œil ne perçoit qu'une infime partie de la lumière qui lui parvient, définie physiquement comme différentes ondes électromagnétiques transportant chacune une énergie bien précise en valeur. A chacune de ces ondes est associée un nombre unique que l'on appelle longueur d'onde, qui permet de caractériser cette onde. En ce qui concerne la vision humaine, notre cerveau associe à chacune de ces ondes perçues (et donc à chacune de ces longueurs d'onde) une sensation colorée différente^[3].

Par exemple, pour une onde électromagnétique de longueur d'onde de 700 nm arrivant à notre œil, la sensation colorée donnée par le cerveau sera celle du rouge, tandis que pour une onde électromagnétique de longueur d'onde de 400 nm, ce sera le bleu que l'on associera. L'œil humain ne peut ainsi percevoir que les ondes électromagnétiques ayant des longueurs d'onde entre 400 et 700-750 nm, même s'il nous parvient à tout instant et autour de nous une multitude d'ondes électromagnétiques, dont sont donnés quelques exemples sur la figure 02^[3] ci-dessous.

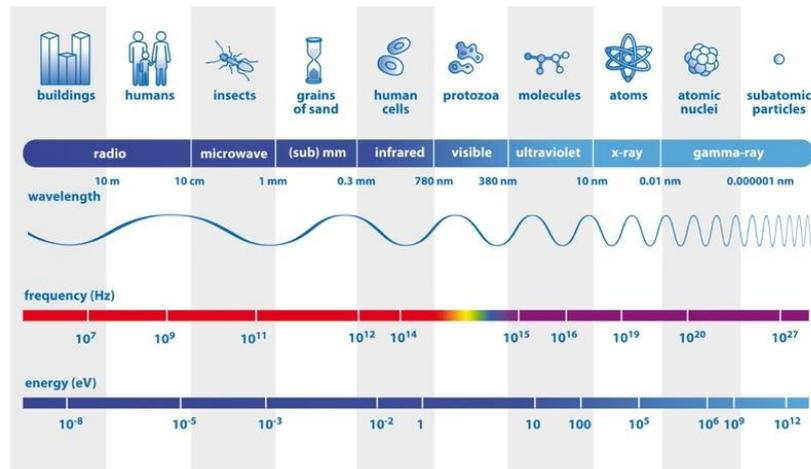


figure 2 : Sensation colorée d'une longueur d'onde^[3]

Par exemple, un pull bleu absorbe les longueurs d'onde non associées au bleu et réfléchit celles correspondant au bleu. La lumière bleue réfléchie stimule les cônes S de notre œil, et notre cerveau interprète cette stimulation comme la perception de la couleur bleue.

La couleur pour un objet éclairé va dépendre de trois éléments : d'abord la source lumineuse qui l'éclaire ; l'objet en soi, qui va absorber certaines couleurs de la source lumineuse et en renvoyer d'autres ; l'œil humain, qui va percevoir ces ondes renvoyées par l'objet et qui va interpréter les phénomènes^[3].

3.2. Définition physiologique de la couleur

Lorsqu'une onde électromagnétique atteint la rétine au fond de notre œil, il se produit un phénomène photochimique. En effet, la rétine de l'œil humain est composée de deux cellules photosensibles : les cônes et les bâtonnets^[3].

Les humains ont une vision trichromatique, utilisant trois types de cônes pour percevoir une large gamme de couleurs. Ces trois types sont :

- Cônes S : Sensibles aux teintes de bleu et violet.
- Cônes M : Sensibles aux teintes de vert.
- Cônes L : Sensibles aux teintes de rouge et orange.

Ces cônes sont responsables de la vision en couleur en cas de lumière de forte intensité, tandis que les bâtonnets permettent une vision en environnement de faible intensité lumineuse^[3]. Néanmoins, ils ne permettent pas la perception des couleurs.

3.3. Définition chimique de la couleur

Une molécule ou un atome contient un certain nombre d'électrons, comportant des énergies différentes que l'on peut classer. Si la différence d'énergie entre deux niveaux électroniques est égale à celle du photon que la molécule ou l'atome reçoit, il peut alors se produire une transition électronique entre les deux niveaux, c'est-à-dire le passage d'un électron à un niveau d'énergie plus élevé^[3].

Dans le cas où les énergies de transition engagées correspondent au domaine visible par l'œil : parmi toute la lumière que reçoit alors la molécule, seule une partie correspondant à ces transitions sera absorbée, le reste sera réfléchi et percevable par notre œil. Chaque molécule ou atome étant différent en termes de structure électronique, il en résulte que les transitions seront différentes, et donc les interactions avec la lumière seront différentes^[3].

3.4. Définition de la colorimétrie

La colorimétrie est l'ensemble des techniques permettant de mesurer l'intensité de couleurs des corps. Elle est nécessaire pour spécifier et quantifier les couleurs, mais permet aussi de relier les mesures physiques effectuées sur la lumière aux perceptions colorées^[4].

On associe deux principes majeurs à la colorimétrie : la synthèse additive reposant sur l'addition de couleur et la synthèse soustractive sur la soustraction de couleur.

L'addition de couleur consiste à combiner plusieurs sources colorées dans le but d'obtenir une lumière unique. La synthèse additive utilise trois sources lumineuses RGB. L'addition de ces trois lumières donne la lumière blanche. L'absence de lumière donne du noir^[5].

La soustraction de couleur consiste à supprimer différentes parties du spectre de la lumière blanche pour obtenir les nuances d'une gamme. En affaiblissant certaines parties du spectre, les colorants en laissent d'autres prépondérantes, qui déterminent la couleur résultante^[6].

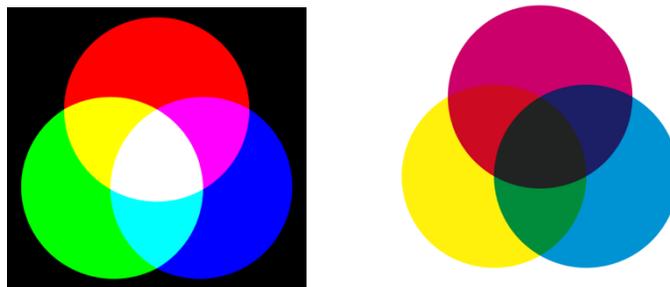


figure 3 : Illustration de la synthèse additive et soustractive^{[1][2]}

4. LE SPECTROSCOPE

4.1. Qu'est-ce qu'un spectroscope

Le spectroscope est un instrument d'optique qui disperse les différentes couleurs de la lumière d'un objet, puis les enregistre sous la forme de données informatiques pour faciliter leur exploitation. Chaque couleur est identifiée par sa longueur d'onde^[7].

Dans un spectroscope, on dispose en entrée d'une fente très étroite pour que la pureté du spectre de la lumière voulue soit la meilleure. Les raies d'absorption sont alors les plus nettes possibles^[7].

Par exemple, la figure 04 présente le spectre de la lumière du Soleil montré à la fois comme une image colorée et aussi comme une courbe qui trace l'intensité du spectre en fonction de la longueur d'onde en nanomètres. Ces courbes peuvent par exemple être utilisées par les astronomes pour analyser en détail la lumière des étoiles^[7].

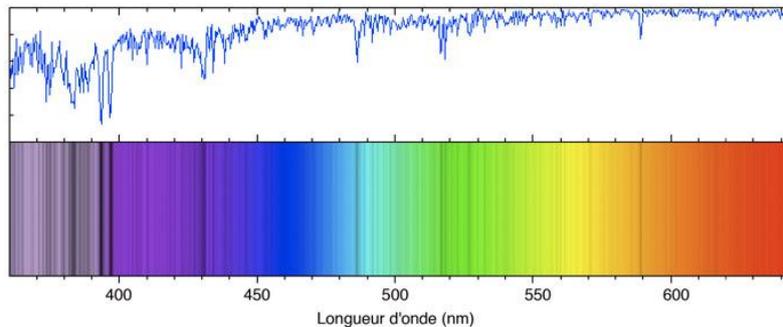


figure 4 : Spectre lumineux de la lumière du Soleil^[7]

Il existe plusieurs types de spectroscopie. On liste les spectroscopies^[8] : infrarouge ; ultraviolet/visible (UV/Vis) ; à résonance magnétique nucléaire ; Raman ; à rayons X.

Cependant, dans le cas de notre projet, nous nous concentrerons sur la spectroscopie UV/Vis car la lumière visible que nous observons se situe dans ce domaine.

Pour un spectroscope à réseau, on liste le matériel suivant : une fente, une lentille convergente, un réseau diffractant puis un capteur CCD (voir annexe).

Le spectroscope à réseau repose sur le principe de diffraction. Une plaque de verre appelée réseau et comportant un grand nombre de stries parallèles, plusieurs centaines, est placée dans le montage optique. Chacune des stries donne des images de diffraction pour les différentes longueurs d'onde^[10].

4.2. Qu'est-ce qu'un spectroscope

Le spectroscope que nous utiliserons est le Maya 2000 pro de chez OceanView. C'est un spectroscope à réseau. En pratique, la lumière est d'abord captée par une lentille convergente (voir montage en annexe). Elle est ensuite acheminée jusqu'au capteur par le biais d'une fibre optique, qui permet la transmission instantanée de la lumière.

Ce spectroscope nous permet de mesurer l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde. Il présente les mesures sous une interface spécifique (voir annexe).

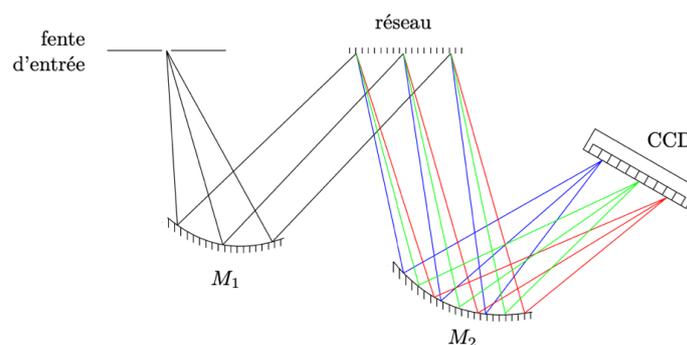


figure 5 : Schéma du trajet de la lumière dans un spectroscope à réseau

Le fonctionnement à l'intérieur du capteur est similaire à la figure 05.

On peut d'ailleurs retrouver ce positionnement dans le capteur (voir annexe).

5. DÉCOMPOSITION DES COULEURS

L'objectif de cette manipulation est d'observer les différentes couleurs composant les teintures de feutres du commerce. Nous utiliserons deux méthodes : une première en faisant tremper des bandes de papier filtre dans de l'eau et une deuxième en ajoutant du vinaigre blanc dans l'eau.

Pour la première méthode, nous avons d'abord découpé des bandes de filtre à café puis tracé un trait de couleur à 2 cm de l'extrémité de celles-ci avec un feutre à l'eau. Ensuite, nous avons plongé l'extrémité du filtre dans un récipient rempli d'eau, de manière à ce que la ligne de couleur ne soit pas directement immergée. Nous avons laissé l'eau remonter par capillarité¹ jusqu'à ce qu'environ les deux tiers du papier soient mouillés, puis nous avons retiré la bande de papier filtre et laissé sécher. Nous avons ensuite réitéré l'expérience, mais cette fois-ci en ajoutant du vinaigre dans l'eau.



figure 6 : Décomposition des couleurs présentes sur les bandes de filtre à café

Lors de ces deux expériences, nous avons pu observer une différence de vitesse de capillarité. Effectivement, la décomposition des couleurs sur les bandes de papier filtres trempant dans du vinaigre, composé d'acide acétique, était bien plus rapide et plus nette que lorsque celles-ci trempaient dans de l'eau.

L'acide acétique est un solvant plus puissant que l'eau, ce qui explique la décomposition rapide et nette des couleurs. De plus, la chromatographie² dépend de l'équilibre

¹ vitesse à laquelle un liquide se déplace dans un matériau poreux en raison du phénomène de capillarité.

² processus observable lorsque les couleurs se séparent.

entre les interactions des solutés (pigments de couleurs) avec la phase stationnaire (le papier filtre) ainsi que la phase mobile (l'eau ou le vinaigre)^[11].

Ainsi, les pigments de couleur se déplacent à des vitesses différentes en fonction de leur affinité pour la phase mobile. L'acide acétique dans le vinaigre interagit différemment avec les pigments de couleur par rapport à l'eau, ce qui affecte la vitesse à laquelle les couleurs se décomposent et se séparent^[12].

De plus, d'autres facteurs comme la force de cohésion ou la force d'adhésion du liquide influent sur la vitesse de capillarité. Par exemple, l'acide acétique dans le vinaigre augmente la force d'adhésion entre le vinaigre et le papier filtre.

6. ANALYSE DE COULEUR AU SPECTROSCOPE

6.1. Expérience de l'émetteur Tri-Led RGB

L'objectif de cette manipulation était de comprendre le fonctionnement d'un pixel d'écran de manière simplifiée.

Pour cette expérience, nous avons utilisé un dispositif composé d'un émetteur Tri-LED RGB, avec un montage fixe et stable facilitant son utilisation durant nos séances.

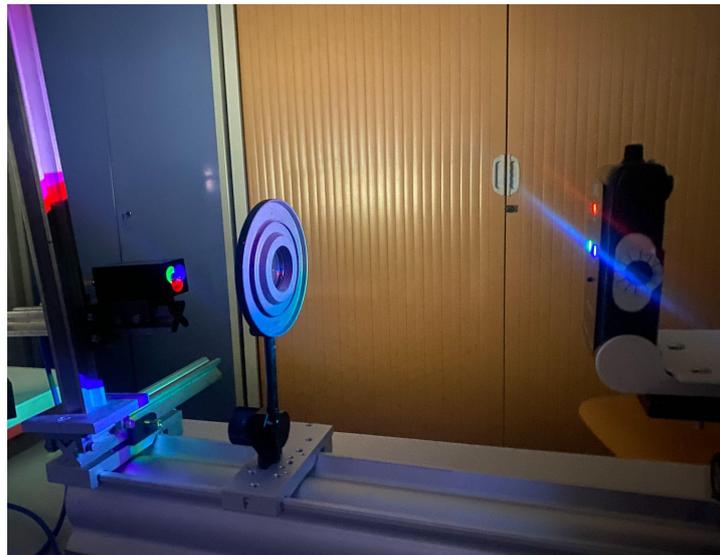


figure 7 : Montage optique de l'expérience du Tri-Led RGB

Le montage comprend une lentille convergente permettant de focaliser les trois faisceaux des diodes en un point précis, correspondant à la lentille du spectroscope, qui nous permettra d'analyser le spectre de la lumière obtenue.

Avant de commencer l'expérience, nous avons gradué les 3 potentiomètres sur 8 niveaux d'intensité lumineuse puis analysé l'intensité lumineuse des diodes en fonction des graduations pour vérifier leur relation de proportionnalité.

Pour cela nous avons reporté les mesures dans un tableur. Les profils obtenus ont montré une tendance linéaire, confirmant ainsi que l'intensité des diodes est proportionnelle aux graduations (voir annexe).

Nous avons ensuite fait varier les intensités des diodes afin d'obtenir différentes couleurs. L'observation des couleurs émises a été réalisée à l'œil nu, tandis que leur spectre d'émission a été analysé à l'aide du logiciel Oceanview. Pour affiner notre analyse, nous avons utilisé une courbe de transmission XYZ représentant la définition normée d'une façon de quantifier la couleur, jouant le rôle de filtre pour notre spectre^[13].

À titre d'exemple, nous avons examiné la couleur jaune.

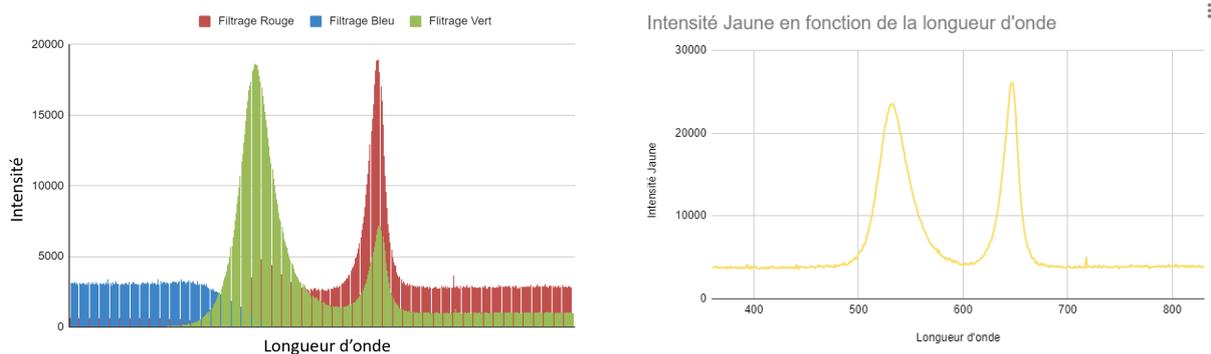


figure 8 : Intensité lumineuse de chaque composante de la couleur jaune issue de l'émetteur

Les longueurs d'ondes correspondant à chaque intensité ont été saisies, et le filtre de chaque couleur a été appliqué en les multipliant avec notre spectre (explications en annexe). Cette approche nous a permis de constater que les pics d'émission étaient situés dans les bandes verte et rouge, ce qui confirme que la couleur jaune est composée de ces deux couleurs. On remarque donc que les deux graphiques ont des allures similaires ce qui nous conforte dans notre démarche.

De plus, après avoir appliqué nos filtres, nous avons calculé les trois composantes X, Y et Z, ce qui nous permet de positionner notre échantillon dans le diagramme chromatique. Les valeurs obtenues pour ces composantes ($X=0.44$; $Y=0.40$; $Z=0.16$) correspondent effectivement à celles associées à la couleur jaune, confirmant l'exactitude de notre analyse chromatique comme nous pouvons le voir sur la figure 9 ci-contre.

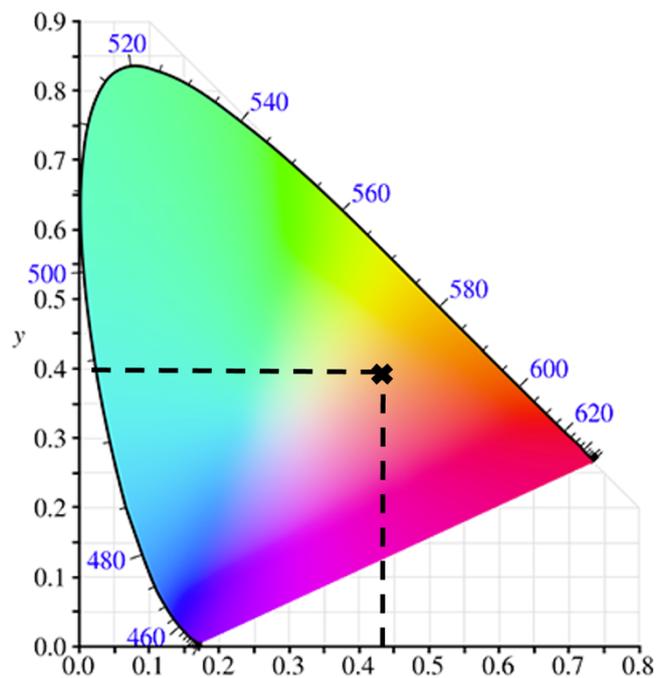


figure 9 : Diagramme de chromaticité xy de l'espace xyz CIE^[22]

Nous avons aussi constaté que toutes les couleurs ne sont pas réalisables avec ce dispositif, car l'émetteur tri-led RGB est limité dans ses variations lumineuses. Par conséquent, nous n'avons pas pu obtenir des nuances comme le bleu nuit ou le marron. Cependant, nous avons réussi à produire des couleurs "basiques" telles que le jaune, le magenta, le cyan, le violet ou encore le rose.

6.2. Expérience de l'émetteur Tri-Led RGB

Pour cette expérience, nous avons utilisé un montage composé du spectroscope Maya 2000 Pro^[14] d'OceanView relié à l'ordinateur, dans une pièce obscure.

Sur notre téléphone, nous avons ensuite ouvert sur internet un site de générateur de couleur RGB^[15]. Ainsi nous pourrions régler les couleurs que nous allons analyser.

Nous avons d'abord commencé par l'analyse des couleurs primaires, puis nous avons analysé des couleurs que nous avons choisies arbitrairement en faisant varier les niveaux de rouge, vert et bleu.

Remarque : On constate que sur les analyses des couleurs d'un écran LCD Apple, le niveau d'intensité de rouge n'est pas homogène comme le bleu ou le vert. Ce phénomène est présent sur tous les écrans Apple que nous avons pu analyser, qui étaient tous des écrans LCD. (Un exemple est disponible en annexe).

Pour remédier à ce phénomène, nous utiliserons un téléphone de la marque Samsung qui ne présente pas ce phénomène, mais des intensités lumineuses homogènes.

Analyse des résultats :

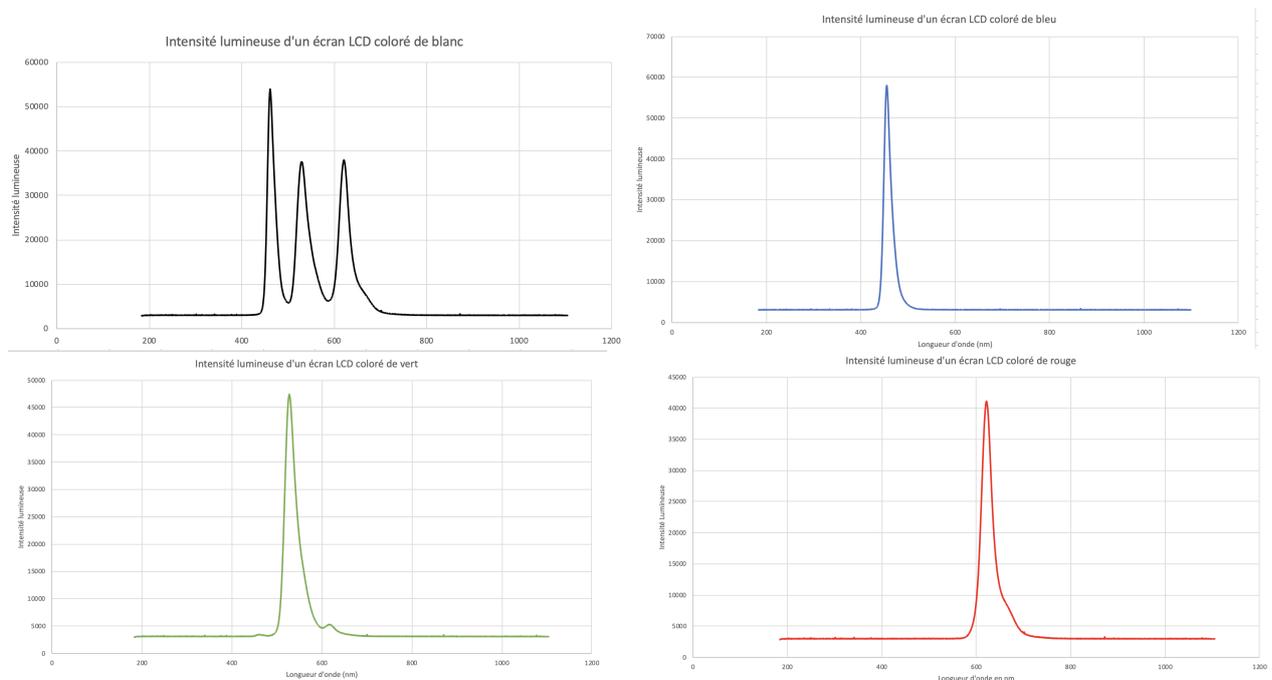


figure 10 : Spectres lumineux des couleurs blanche, bleue, verte et rouge issues d'un écran LCD coloré

Avec ces spectres, on remarque le phénomène suivant : la lumière blanche émise par l'écran du téléphone est en réalité une combinaison de lumières rouge, verte et bleue.

L'écran LCD d'un téléphone fonctionne sur le principe de l'addition de couleur (cf. Colorimétrie).

Derrière un pixel coloré d'un écran LCD se trouvent différents éléments.

La figure XX montre le fonctionnement de l'affichage de couleurs sur un écran LCD. D'abord, la source lumineuse. En effet, dans un écran LCD, celle-ci provient d'un banc de

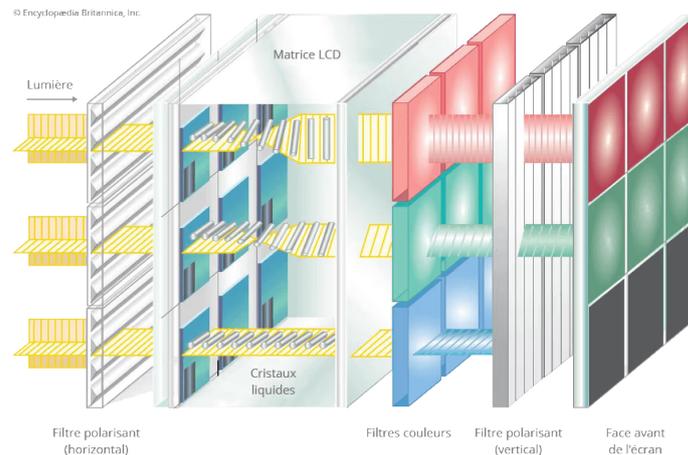


figure 11 : Composition et fonctionnement d'un écran LCD coloré^[16]

rétro-éclairage qui couvre toute la surface derrière l'écran. La lumière obtenue est donc blanche et d'intensité lumineuse constante^[16].

Un pixel peut être divisé en 9 sous-pixels : 3 sous-pixels rouges, 3 verts et 3 bleus. C'est pour cela que l'on parle d'addition de couleurs. En fait, pour afficher un pixel coloré, on « allume » certains pixels rouges verts ou bleus, qui par addition forment la couleur souhaitée^[16].

À noter qu'un pixel n'est pas unicolore mais nous ne le voyons cependant que d'une seule couleur. Cela est dû au fait que nos yeux et notre cerveau ne peuvent différencier 2 éléments distincts qu'à partir du moment où ces 2 éléments sont plus grands que 0,02 à 0,04 mm en moyenne. Toutefois, la taille moyenne d'un pixel est de 0,25 mm mais les sous pixels sont environ 10 fois plus petits qu'un pixel. Cela explique qu'on ne puisse pas les différencier.

Pour régler la luminosité du pixel, on utilise un ensemble appelé matrice LCD^[16]. Elle est composée de polariseurs et de cellules de cristaux liquides (voir figure XX). S'il n'y avait pas les cellules de cristaux liquides, aucune lumière ne serait transmise car les polariseurs sont en configuration croisée^[17]. Ce sont donc ces cellules qui contrôlent la luminosité voulue sur le pixel. En fonction de l'intensité lumineuse souhaitée, un certain courant est appliqué aux électrodes sur les bords des cellules. Ceci va changer l'orientation des cristaux et donc de la polarisation de la lumière. Ainsi, par application de la loi de Malus : $I = I_0 \cos^2(\theta)$, l'intensité lumineuse sera contrôlée en sortie du polariseur vertical.

À travers ces expériences, nous avons pu comprendre comment sont construites les images renvoyées par un écran et le fonctionnement d'un pixel d'écran coloré.

Nous avons d'abord pu comprendre le fonctionnement colorimétrique de l'addition de couleur grâce à nos observations sur l'émetteur Tri-Led RGB, puis son fonctionnement physique, depuis les analyses par le spectroscope. Par ces manipulations, nous avons finalement pu apporter des conclusions sur le fonctionnement d'un écran de téléphone. Nous avons également pu mettre en avant le fonctionnement du cerveau quand il perçoit une image.

7. ADDITION DES COULEURS PAR PERSISTANCE RETINIENNE

L'objectif de cette manipulation est de démontrer le principe de l'addition des couleurs primaires.

Pour cette expérience, nous avons utilisé un système de disque rotatif sur lequel nous avons collé différents disques de papiers. Ces disques sont composés de triangles de différentes couleurs uniformément répartis (voir annexe). Ainsi, nous avons commencé par exercer une rotation manuelle du disque à vitesse maximale afin d'observer les couleurs résultant de l'addition des couleurs primaires.

Lors de la rotation du disque, nous avons observé que les triangles de différentes couleurs semblent fusionner pour créer une couleur uniforme à l'œil humain. Par exemple, l'addition de bleu et de rouge a créé une couleur perçue magenta. Cela démontre que les couleurs que nous percevons sont souvent le résultat de la combinaison et donc l'addition de plusieurs couleurs différentes.



figure 12 : Capture de la couleur perçue lors de la rotation du disque

Le phénomène observé est dû à la persistance rétinienne, où l'œil humain ne distingue plus les triangles individuels à haute vitesse, percevant à la place une couleur unifiée résultant de l'addition des couleurs^[18].

Pour capturer ces phénomènes, il est essentiel de régler correctement les paramètres de l'appareil photo, notamment la durée d'exposition. Celle-ci définit l'intervalle de temps pendant lequel l'obturateur de l'appareil photo reste ouvert pour capturer la lumière. Une durée d'exposition plus longue permet de capturer une plus grande quantité de lumière^[19].

En effet, une exposition longue va permettre à l'appareil photo de capturer l'effet de la persistance rétinienne.

Pour le montrer, nous avons alterné les durées d'exposition entre 1/8, 1/20 et 1/80 et nous avons observé que les temps d'expositions plus longs permettent une fusion complète des couleurs, tandis que des expositions plus courtes montrent des triangles distincts.



figure 13 : Capture photo des couleurs perçue en fonction de la durée d'exposition

De plus, nous avons également fait varier la taille des triangles de couleurs. Nous concluons de nos essais que les petits triangles fusionnent plus efficacement à haute vitesse puisque les transitions des couleurs sont plus fréquentes, tandis que des grands triangles restent distincts. En exemple, nous avons pris en photo la synthèse de couleur cyan avec des tailles de triangle et des durées d'exposition différentes (voir annexe).

Ainsi, cette expérience a démontré l'application du principe de l'addition des couleurs primaires pour former une gamme étendue de teintes. Les réglages de l'appareil photo, en particulier la durée d'exposition, jouent un rôle crucial dans la capture précise des couleurs résultantes^[19].

8. SPECTRE D'EMISSION D'UNE LAMPE A GAZ

L'objectif de cette manipulation est de déterminer la composition atomique du gaz présent dans nos anciennes lampes à vapeur de gaz.

Le montage et le protocole sont les mêmes que pour l'expérience de l'analyse des couleurs du téléphone. Toutefois à la place du téléphone, on allume une lampe à gaz en face du capteur.

Concernant l'exploitation de nos résultats expérimentaux, nous allons analyser les différentes courbes obtenues sur OceanView pour plusieurs lampes à gaz. Ainsi nous allons calculer les différences entre plusieurs niveaux d'énergies et les comparer aux résultats théoriques.

On trouvera les diagrammes des niveaux d'énergies du Sodium et du Mercure^[20] en annexe, ainsi que les résultats de nos acquisitions.

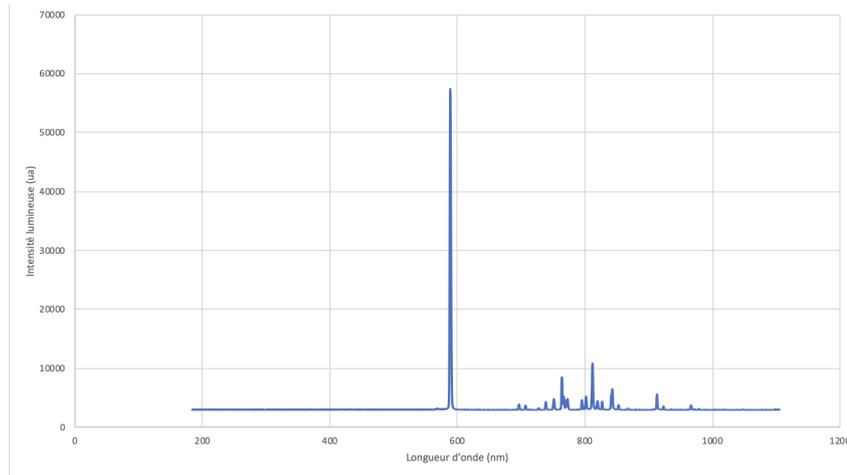


figure 14 : Spectre lumineux de la lumière émise d'une lampe à vapeur de sodium

Commençons par l'analyse de la courbe d'une lampe à vapeur de sodium. Sur notre acquisition, nous constatons un pic à la longueur d'onde $\lambda = 605.33 \text{ nm}$.

Cependant, le spectroscope présente un défaut par un décalage de longueur d'onde sur nos mesures. Nous avons donc effectué une calibration de nos résultats (voir annexe).

On obtient alors $\lambda_{\text{corrigé}} = 588,01 \text{ nm}$.

Selon la relation de Planck, l'énergie d'un photon est reliée à la relation^[21] : $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

Donc ici, nous avons à $\lambda = 588.01 \text{ nm}$, $E = 3.38 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.11 \text{ eV}$. De plus, nous constatons que dans le cas du sodium : $E_1 - E_0 = 2.11 \text{ eV}$.

Nous trouvons donc que l'énergie du photon reliée à ce pic de longueur d'onde correspond à l'énergie nécessaire à un passage de niveau d'énergie inférieur du sodium.

Lorsqu'un atome passe d'un état d'énergie E_{initial} , à un état d'énergie inférieur E_{final} , il se désexcite en libérant de l'énergie sous forme de photons^[21] d'énergie $E = E_{\text{initial}} - E_{\text{final}}$. De plus, chaque photon est unique et peut être associé à un atome en particulier.

Dans notre cas, les électrodes apportent de l'énergie en continu au gaz de la lampe. En se désexcitant pour maintenir son état stable, il émet des photons lumineux qui après acquisition au spectroscope sont d'énergie $E = 2.11 \text{ eV} = E_1(\text{sodium}) - E_0(\text{sodium})$. On peut donc en conclure que le gaz de la lampe est du sodium gazeux, c'est donc une lampe à vapeur de sodium, ce qui correspond bien à l'indication du fabricant.

Nous pouvons faire de même pour une lampe à vapeur de mercure.

Nous observons des pics d'intensité aux longueurs d'onde suivantes : (voir annexe)

- | | | |
|--|----|---|
| A) $\lambda_{\text{corrigé}} = 404.229 \text{ nm}$ | | $E_A = 3.073 \text{ eV} \rightarrow$ correspond à $E_5 - E_1 = 3.08 \text{ eV}$ |
| B) $\lambda_{\text{corrigé}} = 434.212 \text{ nm}$ | et | $E_B = 2.86 \text{ eV} \rightarrow$ correspond à $E_5 - E_2 = 2.86 \text{ eV}$ |
| C) $\lambda_{\text{corrigé}} = 544.946 \text{ nm}$ | | $E_C = 2.28 \text{ eV} \rightarrow$ correspond à $E_5 - E_3 = 2.29 \text{ eV}$ |
| D) $\lambda_{\text{corrigé}} = 577.604 \text{ nm}$ | | $E_D = 2.151 \text{ eV} \rightarrow$ correspond à $E_6 - E_4 = 2.16 \text{ eV}$ |

On peut observer de légères différences mais elles restent négligeables. La lampe que nous avons analysée est donc une lampe à vapeur de mercure, ce qui correspond bien aux indications du fournisseur.

9. CONCLUSION

En conclusion, ce rapport présente une étude de la colorimétrie et de la spectroscopie, associant recherches théoriques et présentation d'expériences expérimentales.

Dans un premier temps, nous avons pu apporter une définition complète de la couleur, ainsi que la description et le fonctionnement d'un spectroscope.

Après avoir établi différents protocoles et les avoir réalisés, nous avons apporté des observations et des conclusions sur différents sujets, en particulier sur le fonctionnement d'un pixel coloré d'écran LCD et de la visualisation concrète de l'addition de couleur.

Chaque membre a contribué activement aux différentes étapes du projet, de la création de protocole à leur exécution, ainsi qu'à l'analyse et l'interprétation des résultats.

Ce projet nous a permis à tous de mettre en pratique des connaissances théoriques que nous développons à l'INSA. En nous confrontant à des expériences pratiques, nous avons pu approfondir notre compréhension des concepts découverts à travers nos recherches bibliographiques et voir leur application au cours d'une expérience.

De plus, nous avons acquis de nouvelles compétences en travaillant avec d'autres élèves, le travail de groupe étant au centre du projet. Il a été intéressant d'apprendre à s'organiser et à travailler avec d'autres élèves travaillant sur des expériences différentes, associant la mise en commun d'informations et le respect de chacun sur les délais que nous nous étions fixés.

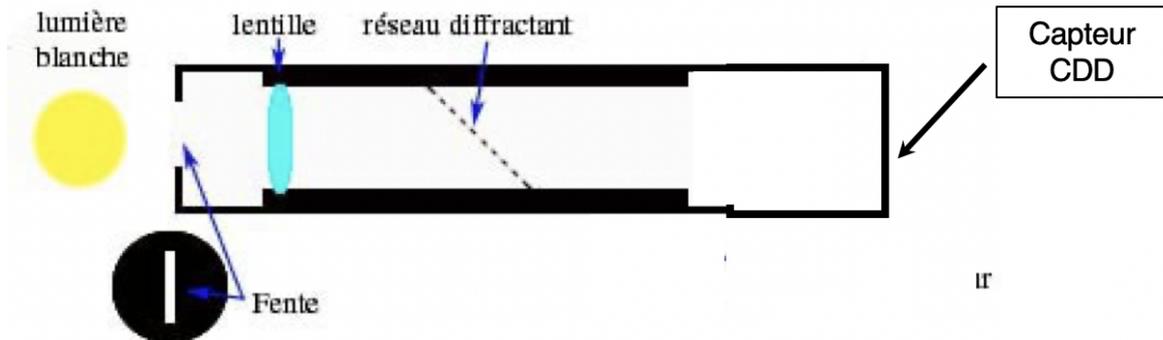
Bien que nous étions nombreux sur ce projet et que nous ayons eu le temps d'avoir une large vue d'ensemble de notre sujet, nous aurions beaucoup apprécié pouvoir approfondir notre compréhension du sujet, par exemple par l'étude d'écrans OLED ou encore par la réalisation de l'expérience du prisme afin d'observer la décomposition de la lumière en ses différentes couleurs constitutives.

10. BIBLIOGRAPHIE

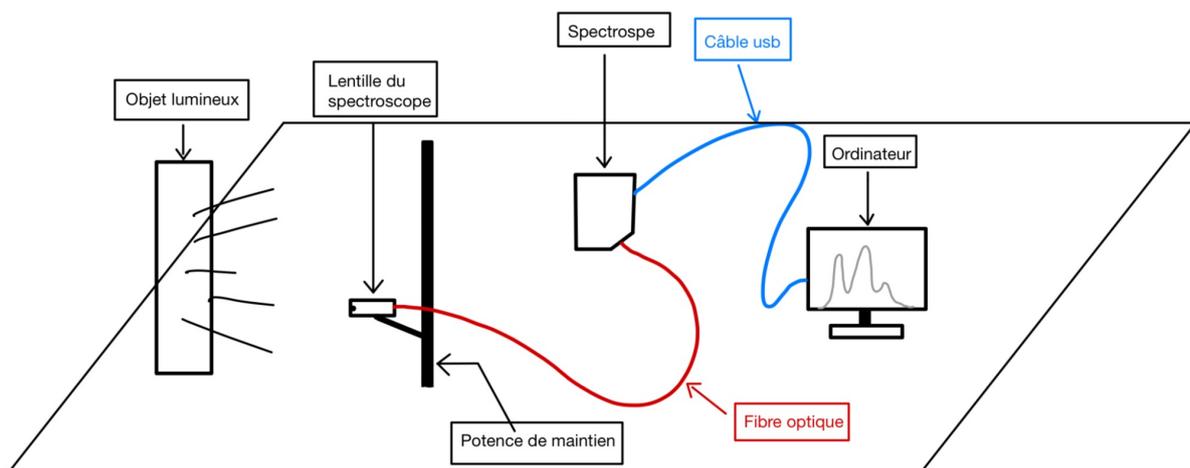
- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie> (valide à la date du 11/06/24)
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Colorim%C3%A9trie> (valide à la date du 11/06/24)
- [3] <http://chimie-et-arts.ens-lyon.fr/index.php/la-couleur/> (valide à la date du 11/06/24)
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Colorim%C3%A9trie> (valide à la date du 11/06/24)
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Synth%C3%A8se_additive (valide à la date du 11/06/24)
- [6] https://fr.wikipedia.org/wiki/Synth%C3%A8se_soustractive (valide à la date du 11/06/24)
- [7] <http://www.obs-hp.fr/lumiere/page7.html> (valide à la date du 11/06/24)
- [8] <https://www.platypustech.com/fr/5-types-de-spectroscopie> (valide à la date du 11/06/24)
- [9] <https://www.lesbonsprofs.com/cours/les-capteurs-ccd/#:~:text=Le%20capteur%20CCD%2C%20ou%20le,constituant%20principal%20de%20l'i%20magemum%C3%A9rique.> (valide à la date du 11/06/24)
- [10] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-spectrographe-16110/> (valide à la date du 11/06/24)
- [11] <https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-016-0595-2> (valide à la date du 11/06/24)
- [12] [Séparation des couleurs par chromatographie - 1,2,3 Couleurs ! Expériences scientifiques et boutique sur la couleur \(123couleurs.fr\)](#) (valide à la date du 11/06/24)
- [13] [Le petit guide de l'acidité des vinaigres \(latoucheheloise.com\)](#)(valide à la date du 04/06/2024)
- [13] <https://f-legrand.fr/scidoc/docmml/sciphys/optique/ciexyz/ciexyz.html> (valide à la date du 11/06/24)
- [14] <https://photos.labwrench.com/equipmentManuals/2273-1476.pdf> (valide à la date du 11/06/24)
- [15] https://toutimages.com/generateur_nr_2.htm (valide à la date du 11/06/24)
- [16] <https://www.son-video.com/guide/comprendre-les-technologies-d-affichage-tv-lcd-led-et-oled> (valide à la date du 11/06/24)
- [17] <https://moodle.insa-rouen.fr/course/view.php?id=198> (valide à la date du 11/06/24)
- [18] [Persistence rétinienne — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#) (valide à la date du 11/06/24)
- [19] [La durée d'exposition, comment la régler. - Initiation-Photo](#) (valide à la date du 11/06/24)
- [20] <https://sordalab.com/RESSOURCES/documents/FR/GOYASPEC - TP1.pdf> (valide à la date du 11/06/24)
- [21] <https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Fsun5wave.htm#:~:text=La%20formule%20E%20%3D%20h%CE%BD%20%3D%20hc,plus%20le%20photon%20est%20%3%A9nergique.> (valide à la date du 11/06/24)
- [22] <https://www.tempsdepause.ch/services/services/stages-formations/couleur/diagramme-de-chromaticite/> (valide à la date du 11/06/24)

11. ANNEXES

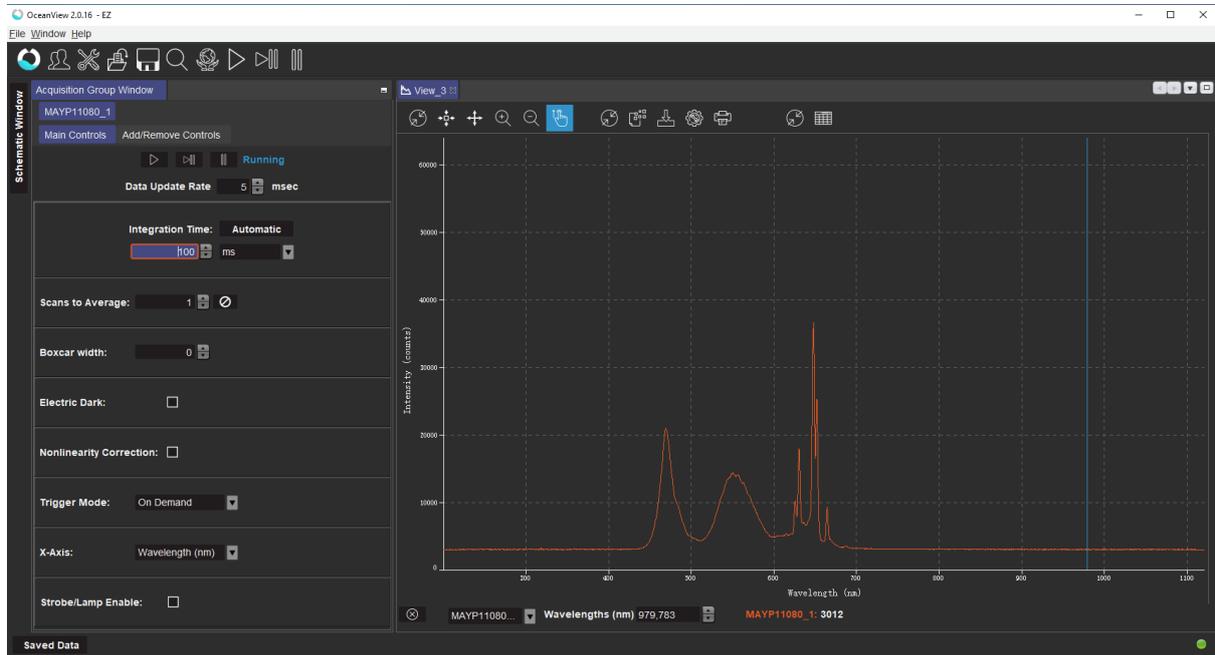
Annexe n°1 : Disposition des composants d'un spectroscopie à réseau diffractant



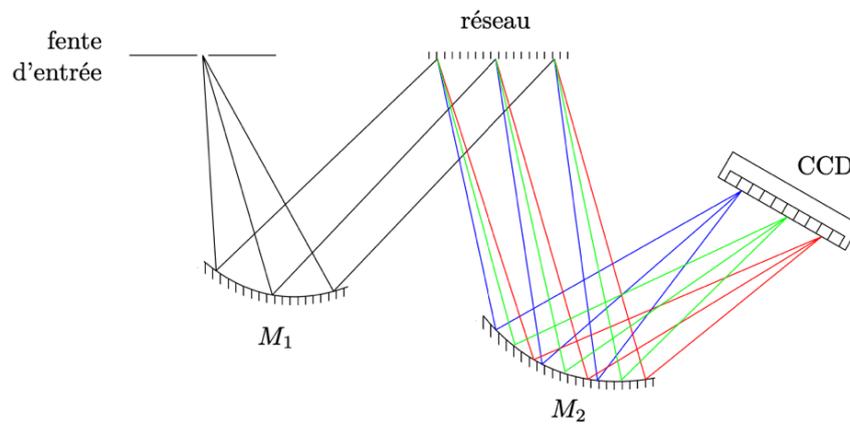
Annexe n° 2 : Disposition du montage pour l'utilisation du spectroscopie

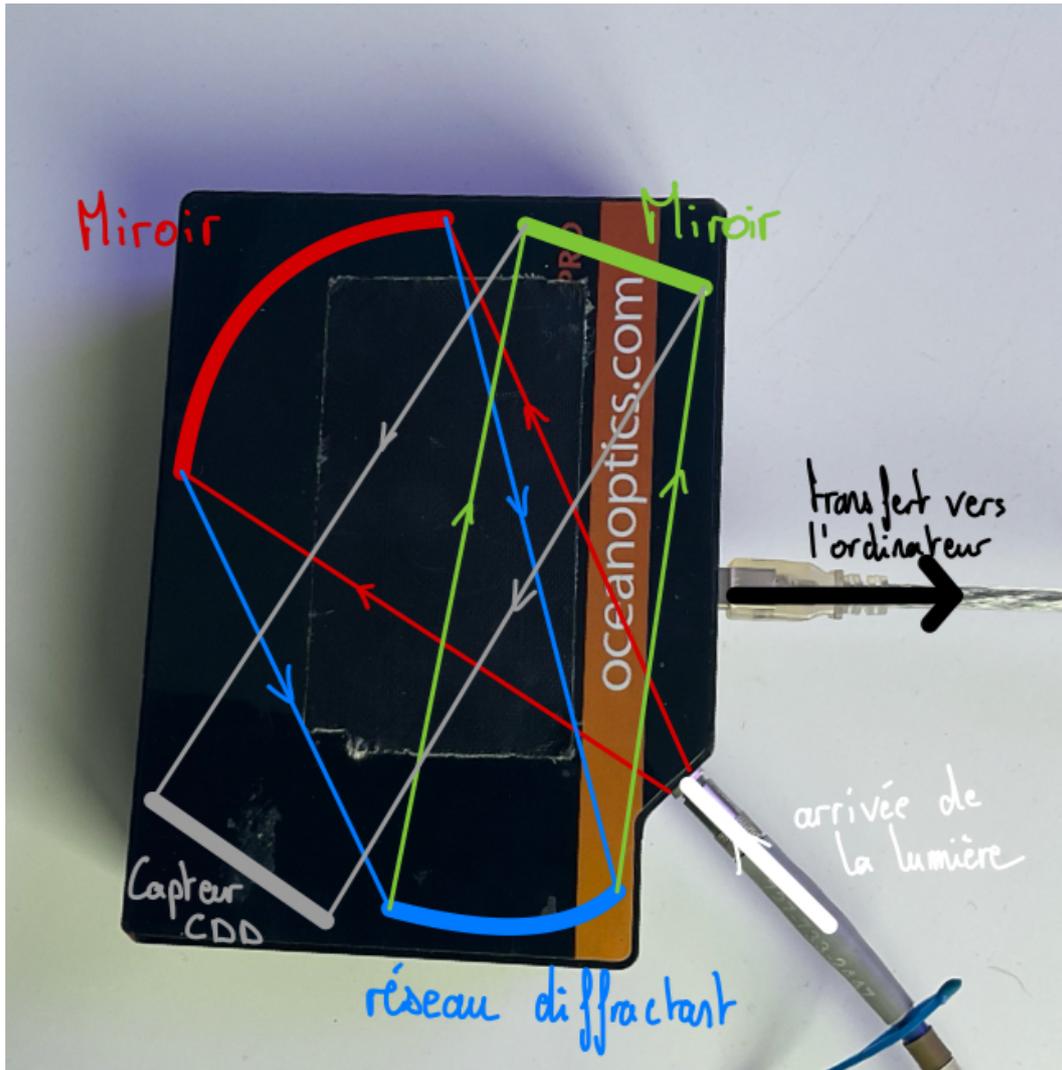


Annexe n° 3 : Interface d'acquisition OceanView

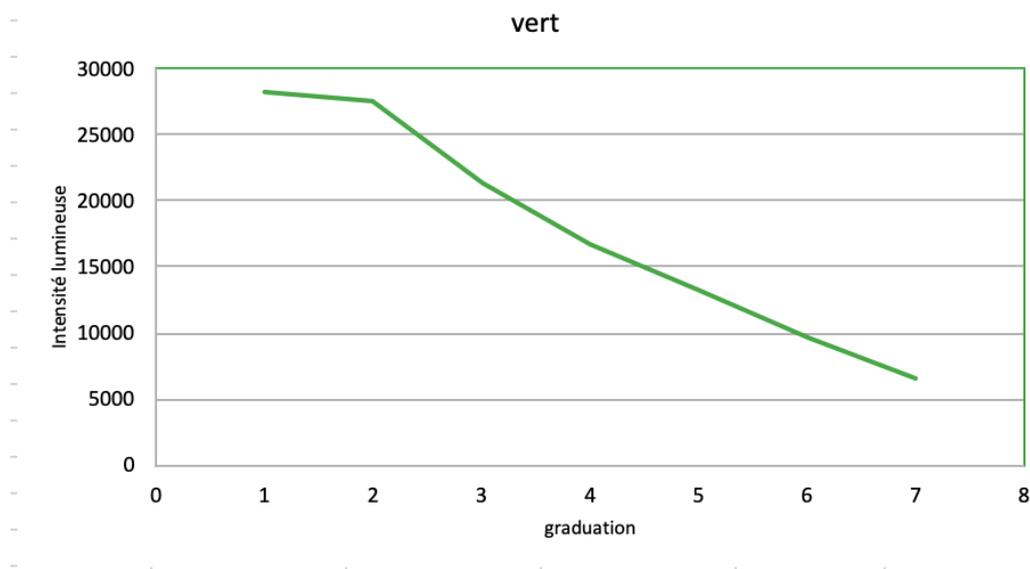


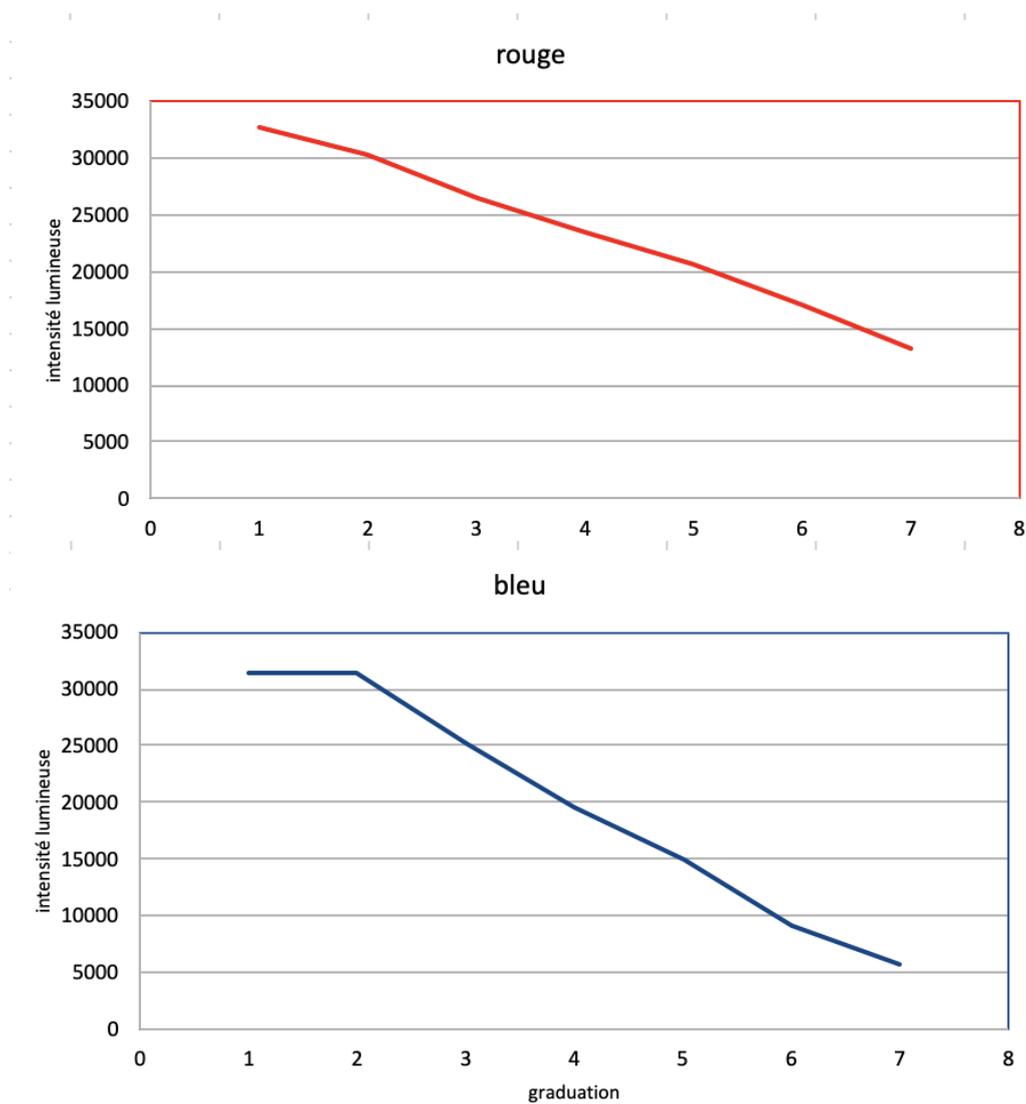
Annexe n° 4 : Trajet du faisceau lumineux dans le spectroscopie





Annexe n° 5 : Profil de l'intensité lumineuse des diodes en fonction des graduations

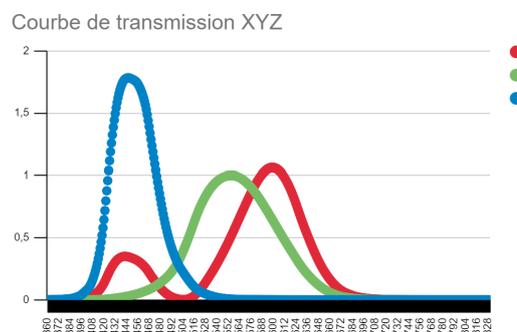




Annexe n° 6 : Utilisation des courbes de transmission

Pour commencer nous avons réalisé une recherche pour trouver les valeurs correspondantes à la courbe de transmission XYZ. Une fois trouvé il a fallu exploiter les valeurs afin de comprendre réellement leur utilisation et la méthode d'application sur notre spectre de couleur enregistré sur OceanView.

Ensuite pour rendre exploitable les données récoltées nous avons vérifié que la somme des valeurs d'intensité des couleurs RGB nous donnait le même nombre. Dans notre cas, nous avons trouvé environ 106. Après avoir récolté cette information pour nous assurer que les données étaient cohérentes, nous avons converti l'intensité des courbes de transmission en pourcentage. Pour cela, nous avons tout simplement

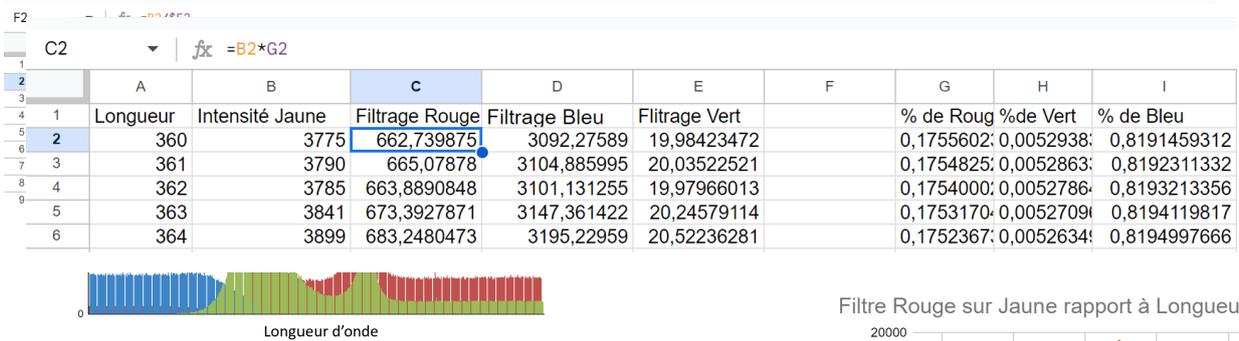


pris par exemple chaque valeur de la colonne Rouge et l'avons divisé par la somme de toutes ses intensités à la même longueur d'onde.

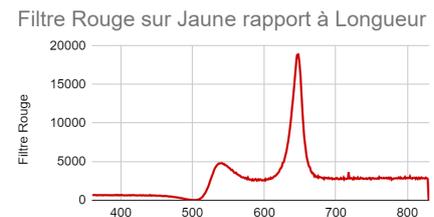
Nous avons donc obtenu des valeurs nous permettant de filtrer nos spectres. Pour cela, nous avons tout simplement multiplié chaque entité du spectre que nous voulions analyser avec les valeurs obtenues précédemment. Pour expliciter la démarche prenons l'exemple du spectre jaune comme vue dans le rapport et appliquons-lui le filtre rouge.

On peut alors modéliser les valeurs calculées dans un graphique en fonction des longueurs d'onde et reproduire ce fonctionnement avec le vert et le bleu.

Pour vérifier nos résultats visuellement, nous avons décidé de regrouper les trois courbes de filtrage RGB afin de voir si cela correspondait bien à notre spectre de base.

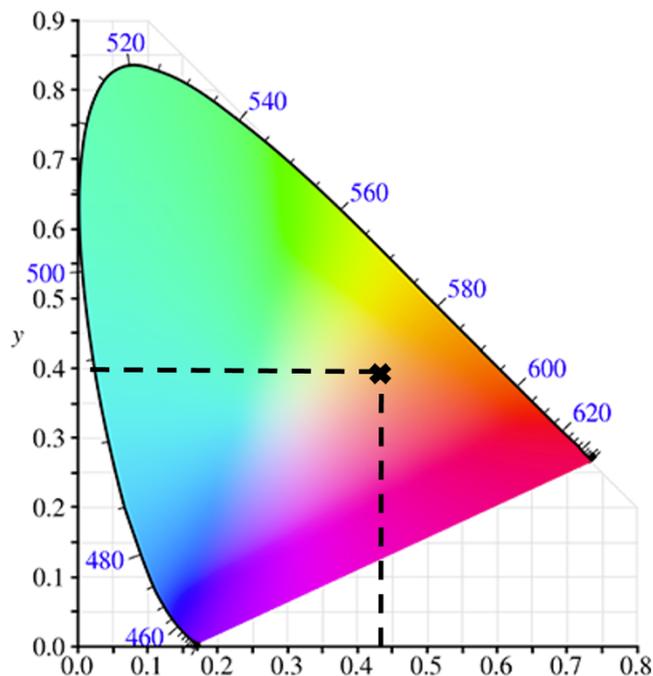


On remarque donc que les deux graphiques ont des allures similaires ce qui conforte bien notre démarche.



S Intensité jaune	3006222
S Filtre R	1315858,746
S Filtre B	487331,6085
S Filtre V	1195274,646
X	0,4377117677
Y	0,397600259
Z	0,1621076582
Somme	0,9974196849
	donc presque 1

Pour finir, le but de cette méthode est de trouver les coordonnées représentant notre couleur d'origine dans le diagramme de chromaticité. Pour cela nous avons donc sommé indépendamment l'intensité du spectre et les valeurs après le filtrage de celui-ci. Nous avons ensuite réalisé un rapport entre les deux pour chaque couleur RGB afin de trouver notre X (avec le rouge), nôtre Y (avec le

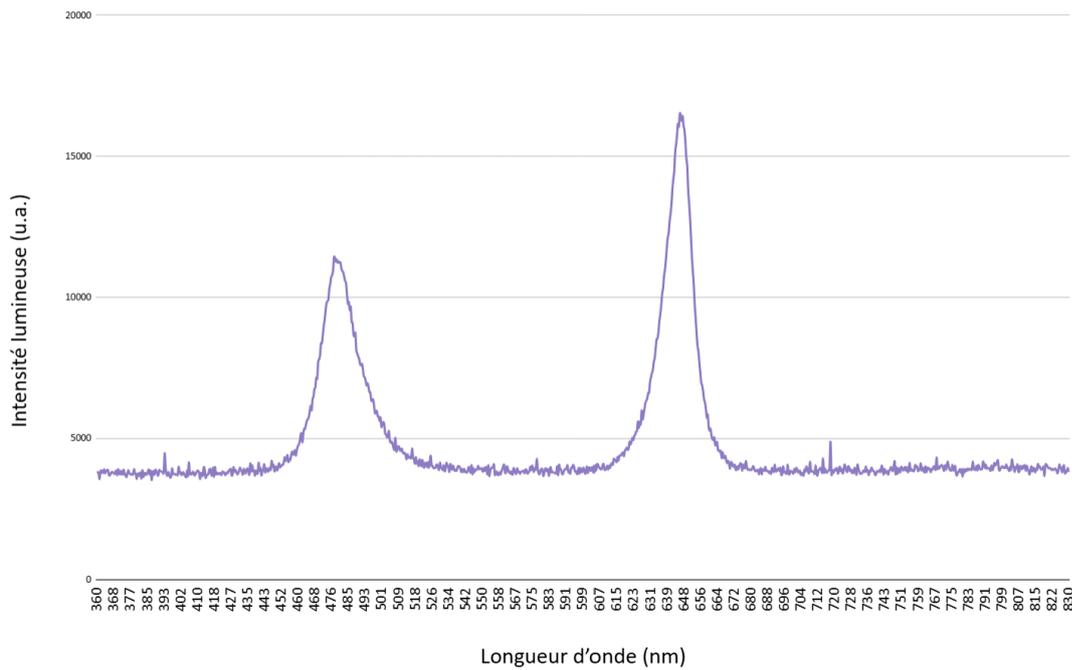


vert) et notre Z (avec le bleu). De plus, nous les avons sommés pour vérifier que l'addition des trois nous donnait bien 1.

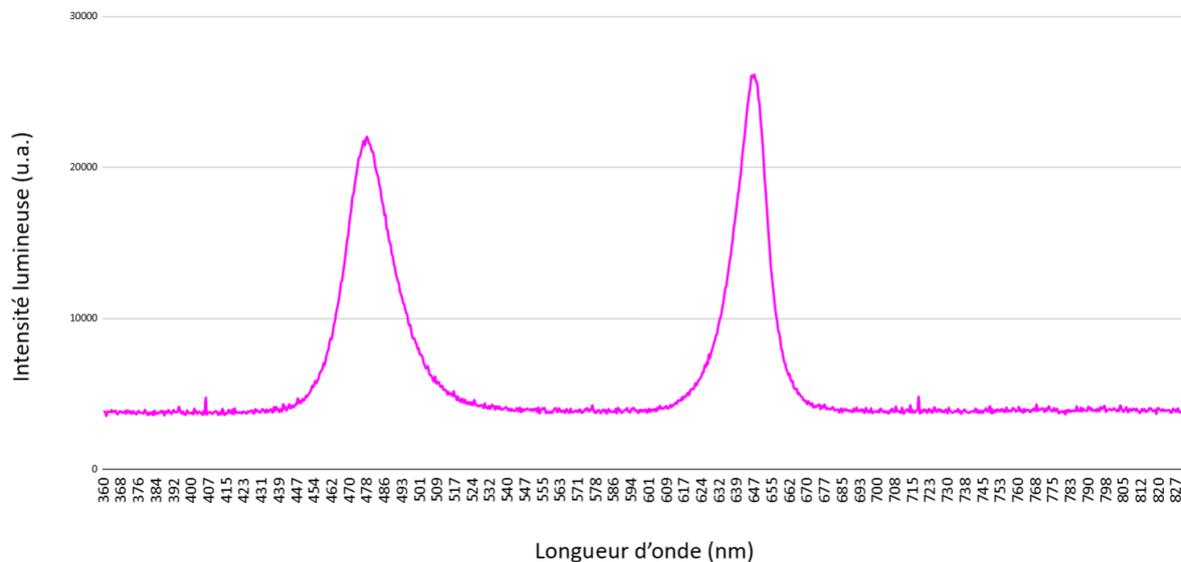
Ainsi, nous avons plus qu'à reporter ses coordonnées dans le diagramme de chromaticité pour analyser la véracité de notre méthode

Annexe n°7 : Spectre des différentes couleurs de l'expérience de l'émetteur Tri-LED RGB

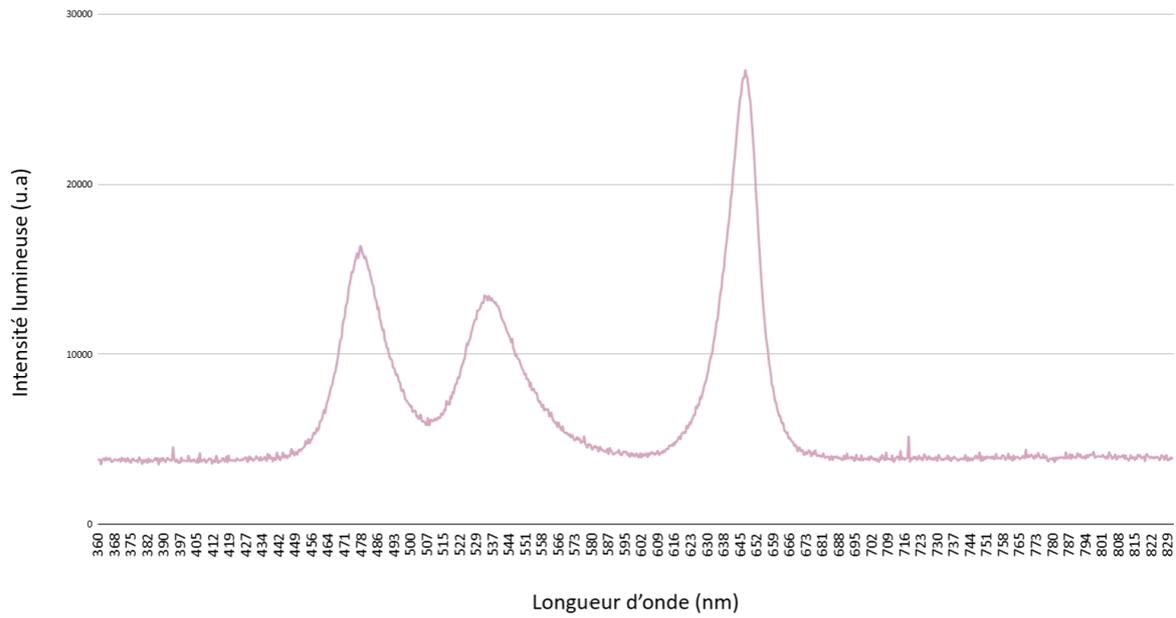
Spectre lumineux du Violet



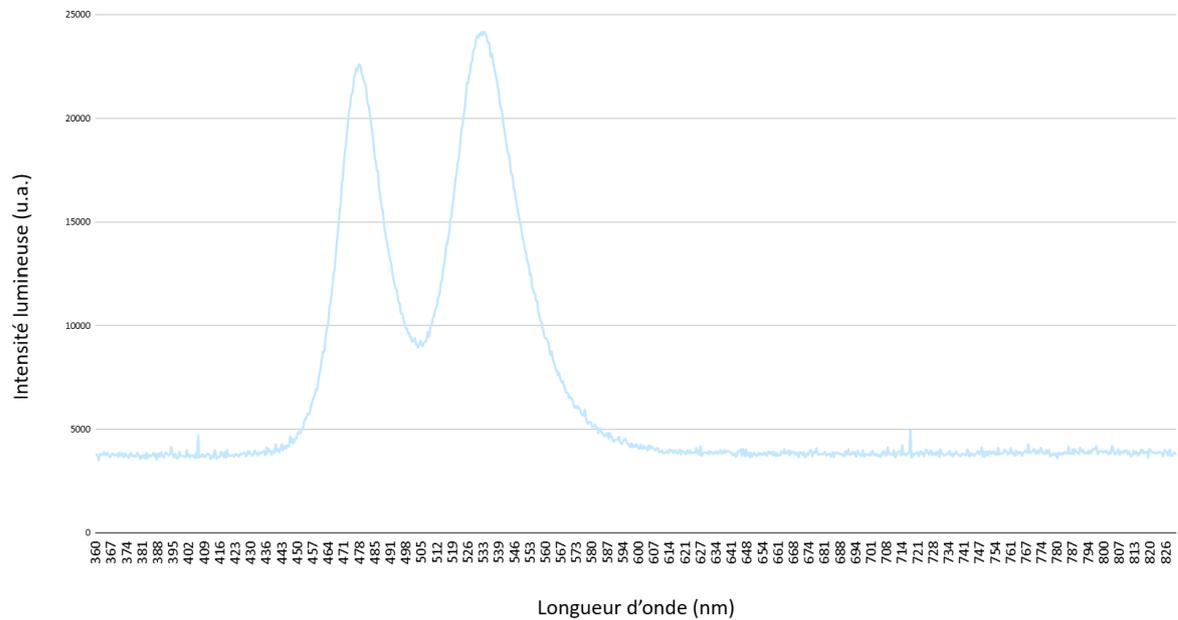
Spectre lumineux du Magenta



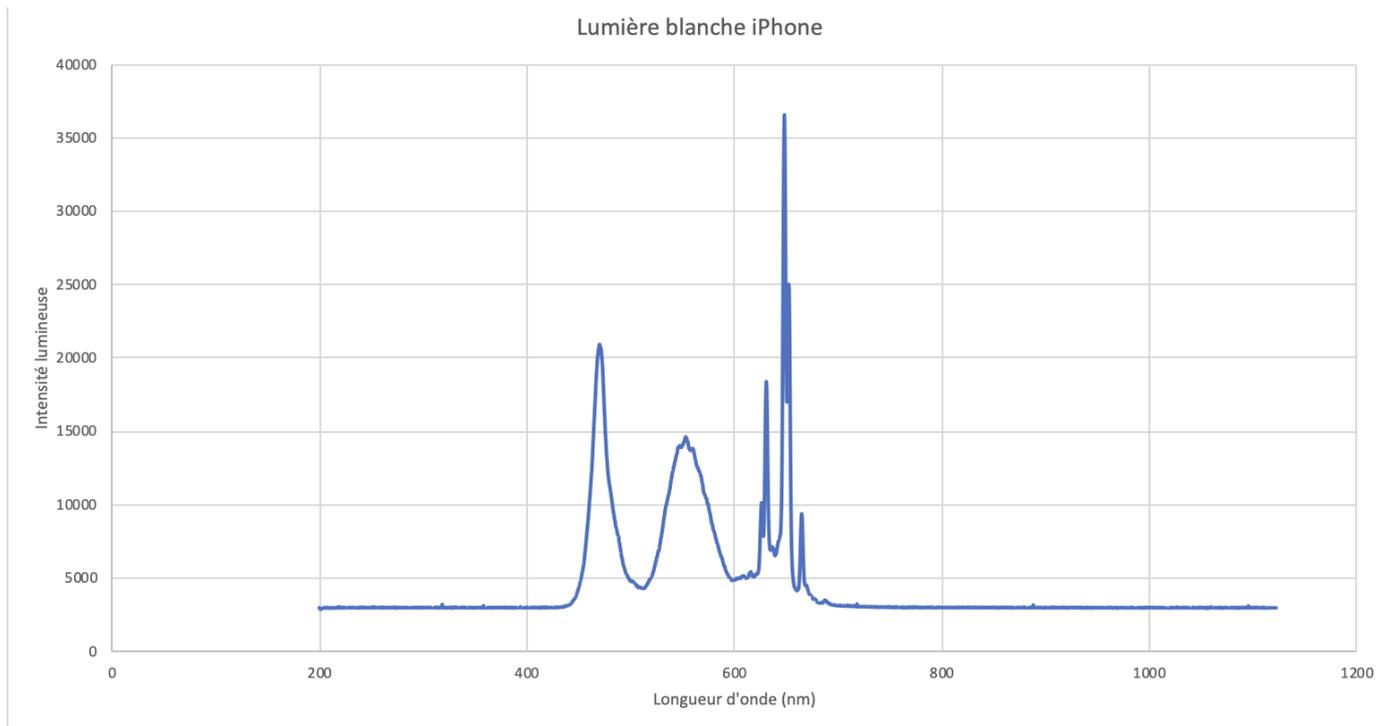
Spectre lumineux du Rose



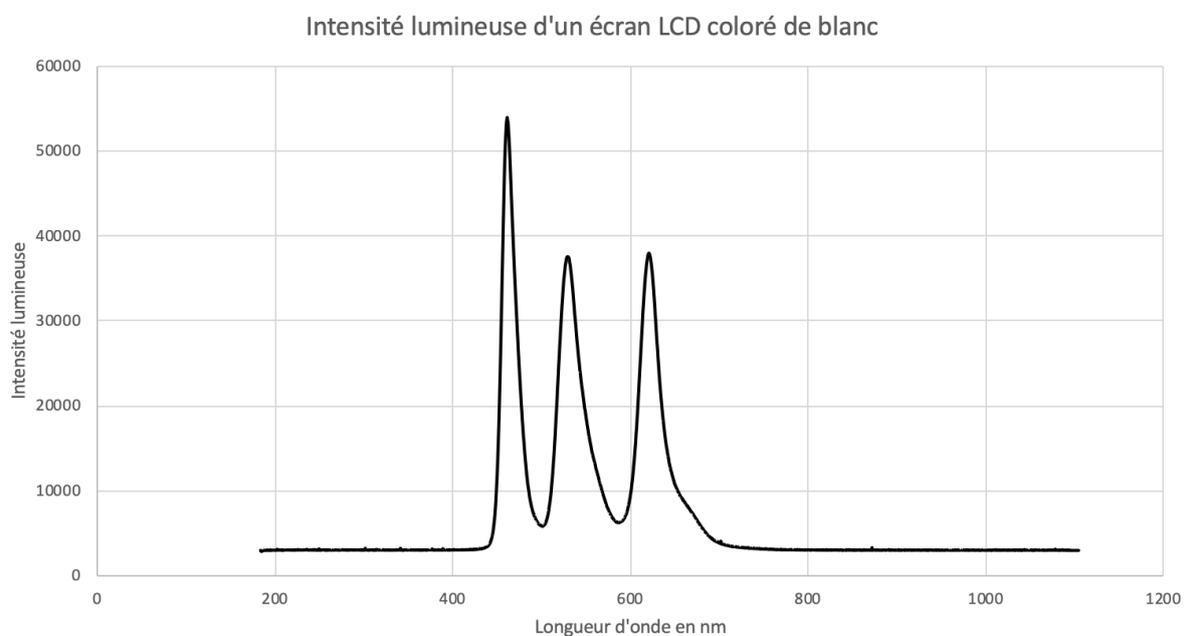
Spectre lumineux du Cyan

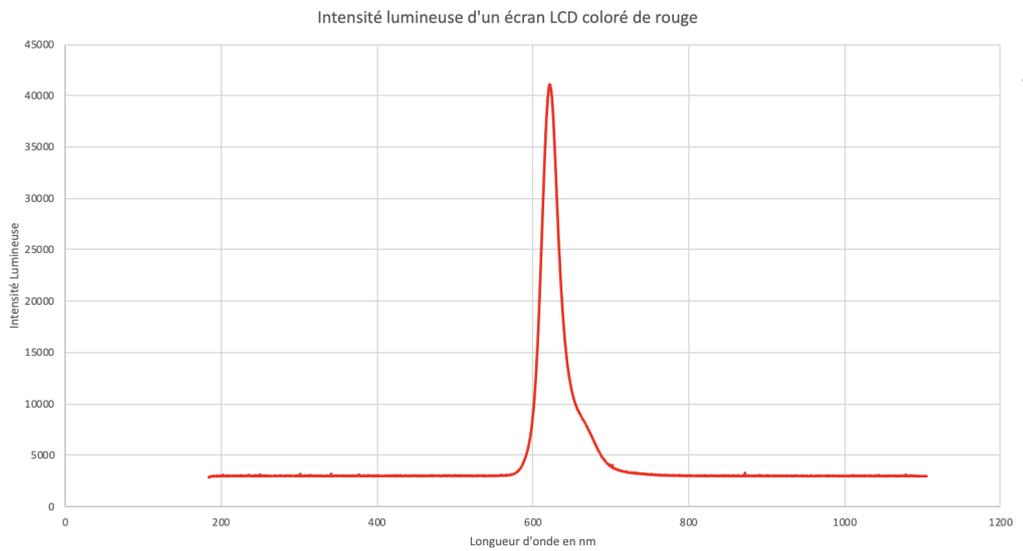
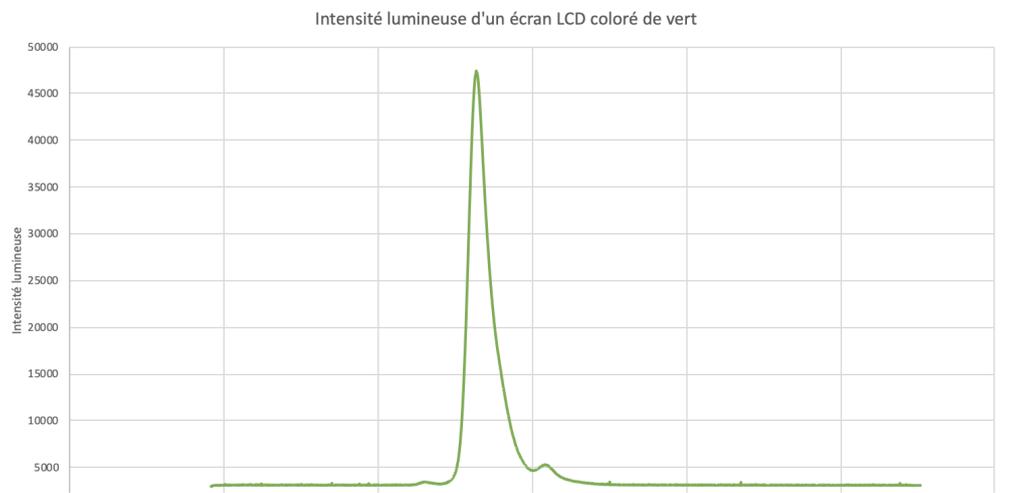
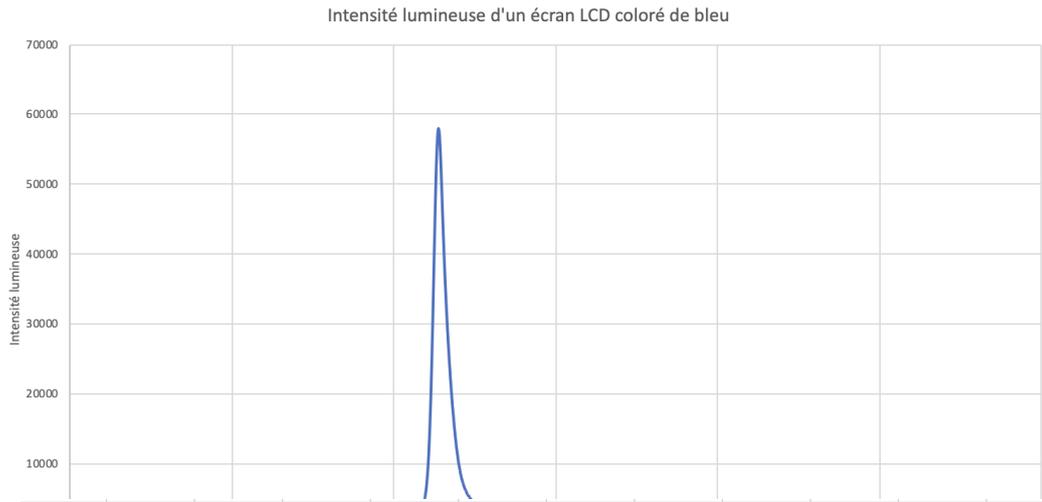


Annexe n° 8 : Intensité lumineuse de la couleur blanche sur écran LCD iPhone



Annexe n° 9 : Spectres des couleurs : blanc ; rouge ; vert ; bleu, émises d'un écran LCD



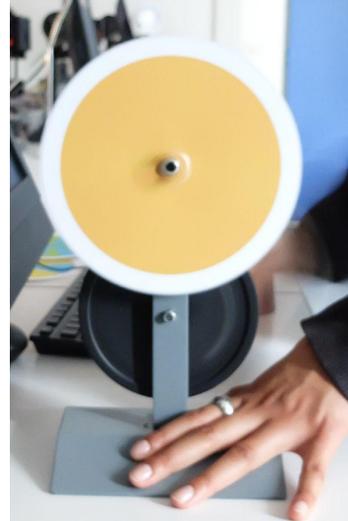


Annexe n° 10 : Compositions des disques de triangles colorés

Nous avons donc réalisé les expériences avec plusieurs disques de couleurs différentes:



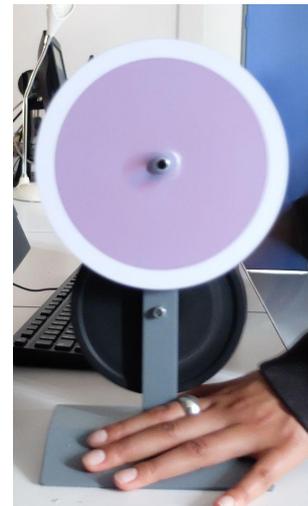
Le disque



Le résultat



Le disque



Le résultat

Annexe n° 11 : Capture de la synthèse du cyan avec plusieurs durées d'exposition et tailles de triangles



1 / 8 (PETIT TRIANGLE)



1/20(PETIT)



1/80 PETIT



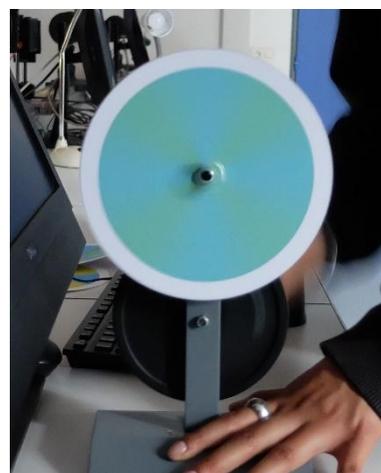
1/80
GRAND



1/20
GRAND



1/20
GRAND



1/8
GRAND

Annexe n° 12 : Diagramme des niveaux d'énergie du sodium

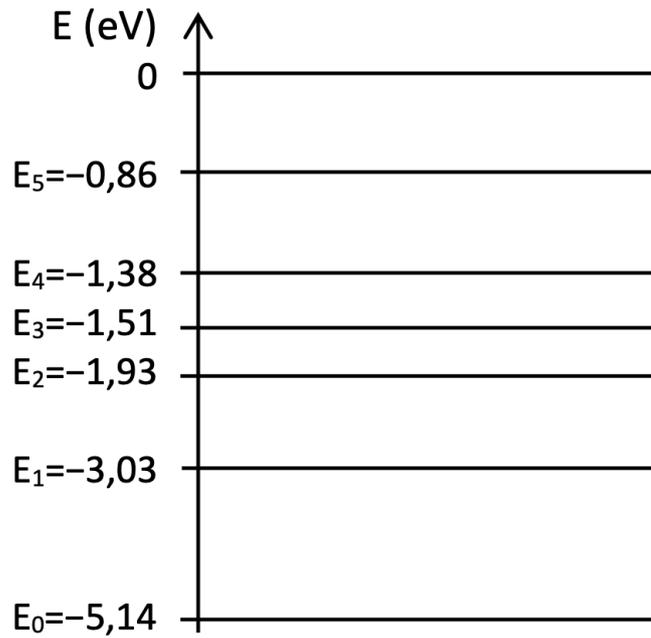


Diagramme de niveaux d'énergie du sodium

Annexe n° 13 : Diagramme des niveaux d'énergie du mercure

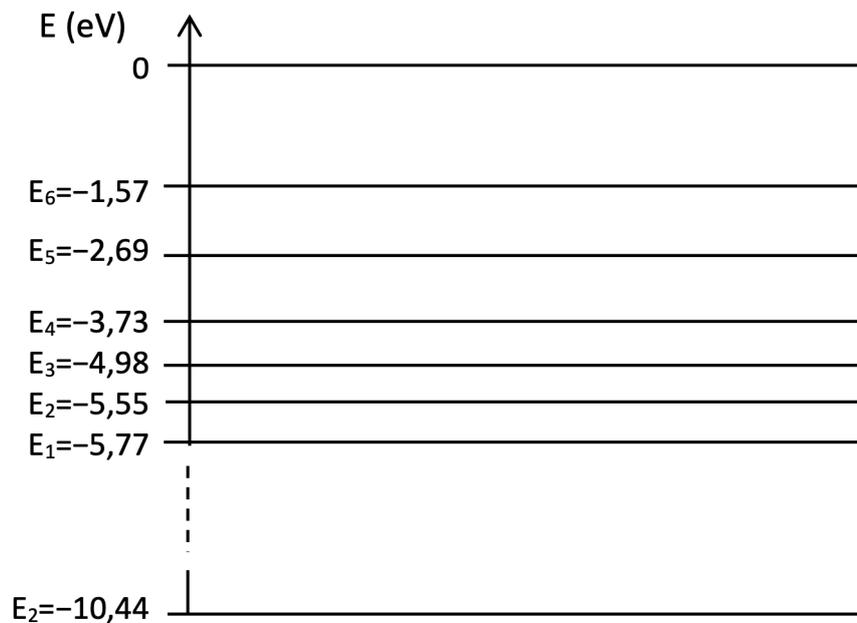
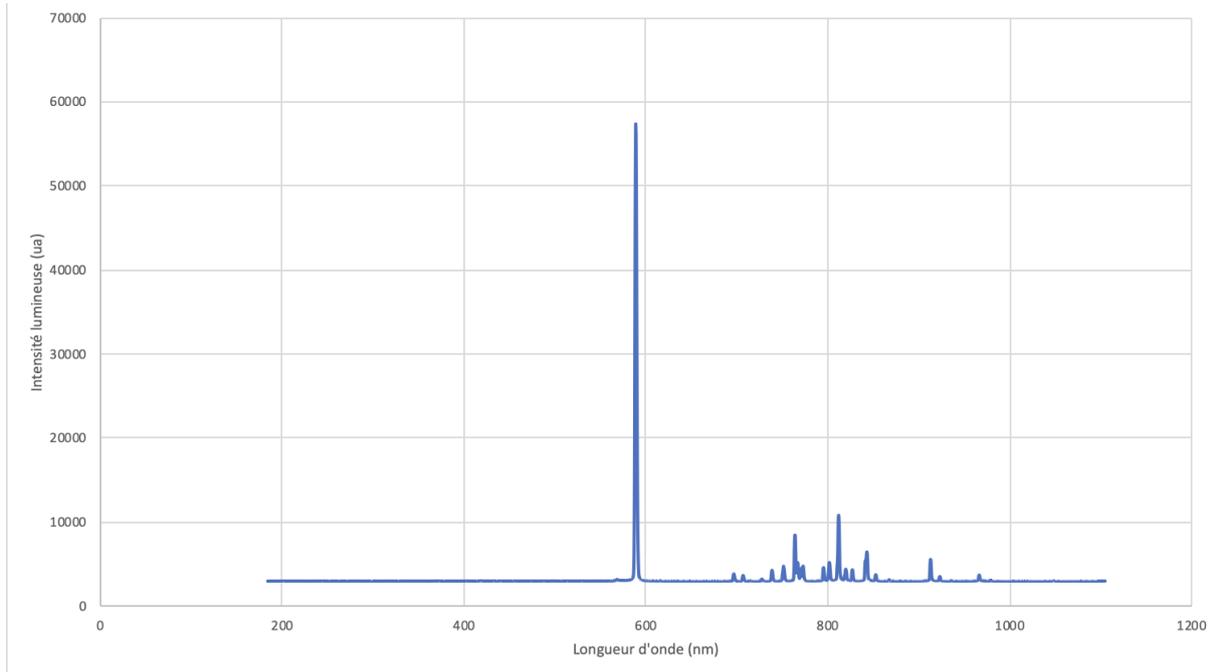


Diagramme des niveaux d'énergie du mercure

Annexe n° 14 : Spectre de la lumière émise par la lampe à vapeur de sodium



Annexe n° 15 : Spectre de la lumière émise par la lampe à vapeur de mercure

