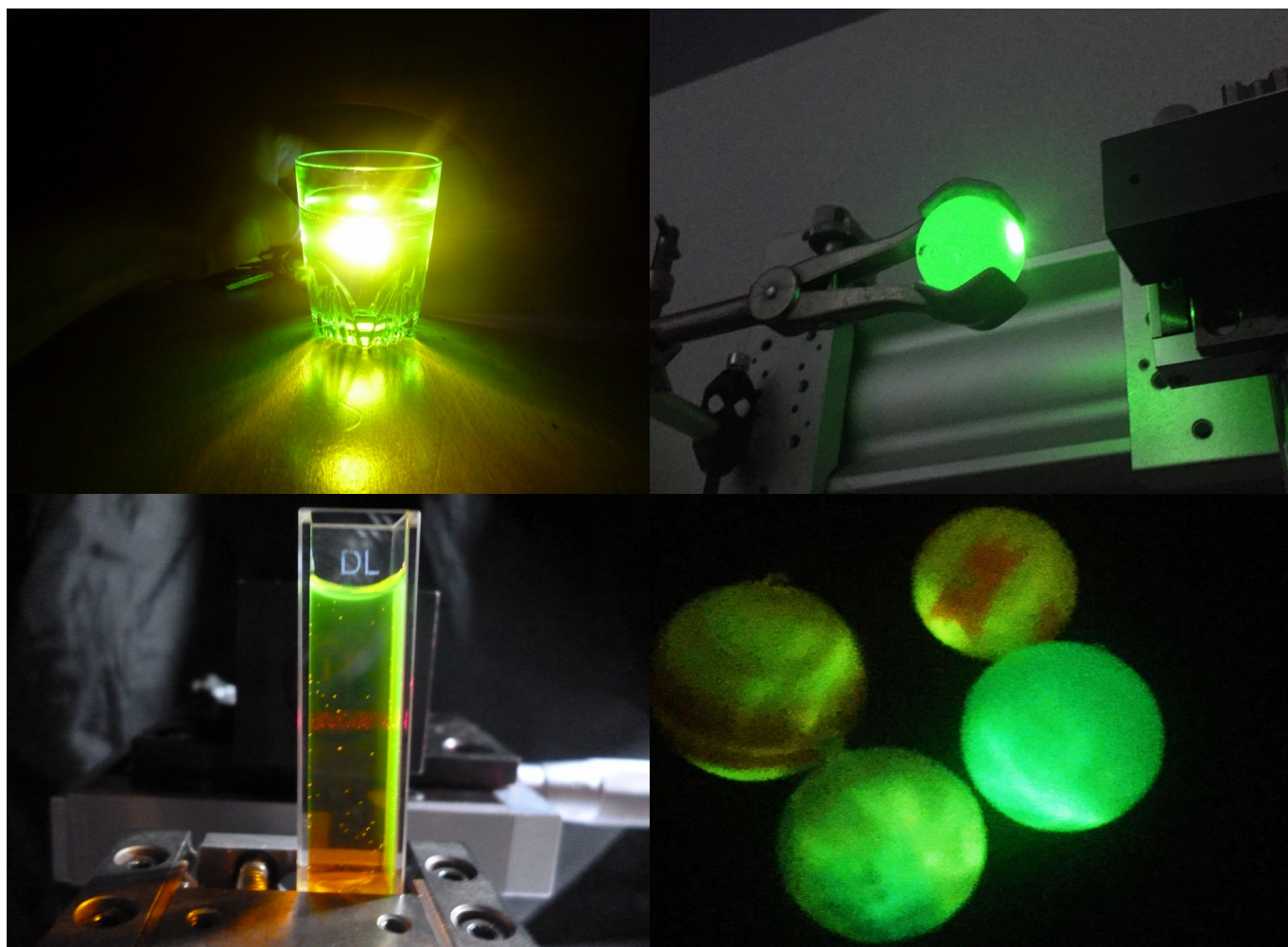


## La fluorescence et la phosphorescence



**Etudiants :**

**Romain Avice**

**Tiphaine Bréant**

**Maëlliss Frusta-Bruot**

**Valeria Petrov**

**Clément Russis**

**Enseignant-responsable du projet : David HONORE**

---

*Cette page est laissée intentionnellement vierge.*

---

Date de remise du rapport :

Référence du projet : *STPI/P6/2016– 23*

Intitulé du projet : La Fluorescence et la phosphorescence

Type de projet : *expérimental*

Objectifs du projet :

Les objectifs de ce projet sont de mettre en évidence les caractéristiques de la fluorescence d'une part, et de la phosphorescence d'autre part.

Nous chercherons, à l'aide de diverses expériences, les facteurs qui influencent ces deux phénomènes et en quelles proportions.

Ces deux phénomènes étant souvent confondus et leurs différences souvent ignorées, les expériences effectuées permettront de les mettre en parallèle et de bien comprendre la complexité de leur processus, qui les rend clairement différenciables.

Mots-clefs du projet : *Fluorescence – Phosphorescence – Émission - Caractéristiques*

## TABLE DES MATIERES

### Table des matières

1.Introduction.....	6
2.Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3.Travail réalisé et résultats.....	8
3.1.Montages.....	8
3.1.1.Le montage optique.....	8
3.1.2.Le montage de la fluorescence.....	9
3.1.3.Montage de la phosphorescence.....	9
3.2.La Fluorescence.....	10
3.2.1.Spectres d'émission.....	10
3.2.2.Le phénomène de Trapping.....	12
3.2.3.Influence de la température sur la fluorescence.....	13
3.3.La phosphorescence.....	15
3.3.1.Expérience n°1.....	15
3.3.2.Expérience n°2 : lentille convergente.....	18
3.3.3.Expérience n°3 : élévation de la température.....	18
4.Conclusions et perspectives.....	19
5.Bibliographie.....	21
6.Annexes.....	23

## NOTATIONS, ACRONYMES

## 1. INTRODUCTION

Nombreux sont ceux qui sont intéressés, fascinés et émerveillés par des corps brillants dans le noir, émettant une lumière « froide », une lumière au caractère éphémère.

On parle ici de deux cas de luminescence: la fluorescence et la phosphorescence. Ces deux phénomènes, bien qu'ils présentent des similitudes, sont différenciables par quelques subtilités.

La fluorescence est le phénomène observé lorsqu'une matière émet de la lumière pendant qu'elle est éclairée par une source lumineuse. La phosphorescence est le phénomène observé lorsqu'une matière continue à émettre de la lumière après avoir été éclairée.

En effet, les molécules concernées possèdent la propriété d'absorber de l'énergie lumineuse (lumière d'excitation) et de la restituer sous forme de lumière (lumière d'émission). Ces phénomènes ne se limitent pas à l'émission dans le spectre visible, mais concernent toute la gamme du spectre électromagnétique, notamment l'émission de rayons X.

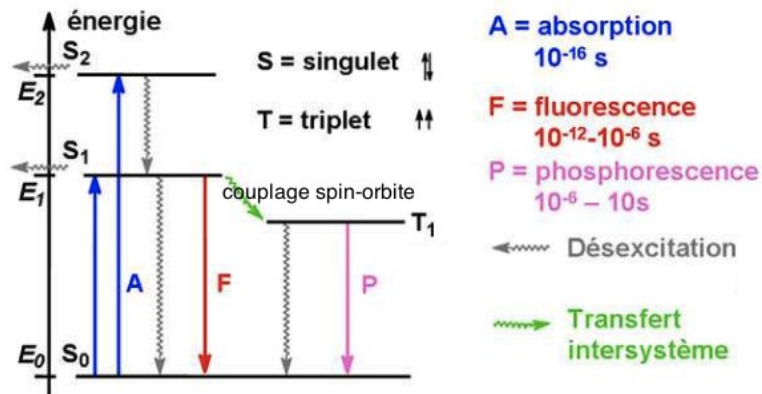
Historiquement, c'est G.G Stokes qui étudia la fluorescence avec assiduité au XIX<sup>ème</sup>. Il donna le nom à ce phénomène, dérivant du nom des cristaux qu'il étudiait (1853). La découverte de la phosphorescence, quant-à-elle, remonte au Moyen-Age.

Il faut savoir que ces phénomènes sont liés à la physique quantique. Le phénomène de fluorescence est défini comme étant une émission lumineuse provoquée par l'excitation d'une molécule (généralement par absorption d'un photon) immédiatement suivie d'une émission photo-luminescente spontanée et rapide.

La rapidité de cette émission est due au respect d'une des règles de sélection de l'émission de photons de la mécanique quantique : la molécule excitée doit rester dans un état singulet.

En effet, nous pouvons associer la stabilité d'une molécule à un état d'énergie fondamental  $E_0$ , correspondant à un niveau  $S_0$ . Lorsque la molécule est excitée (dans ce cas, par absorption de lumière ultraviolette), son état d'énergie (notons  $E_2$ ) atteint un niveau supérieur, que nous notons  $S_2$ . Pour retrouver son état stable, la molécule peut passer directement de  $E_2$  à  $E_0$ , mais peut aussi passer par un état intermédiaire (notons  $E_1$ ) en émettant des photons dans la lumière visible.

Le fonctionnement de la phosphorescence est similaire à celui de la fluorescence. La seule différence réside dans le fait que le retour des molécules à leur état habituel concerne un *passage interdit* (relève de la mécanique quantique). La molécule excitée (niveau d'énergie  $S_2$ ) retourne à son état fondamental  $E_0$  par transition avec un état triplet  $T_1$ , non permis par le modèle quantique, mais qui est rendu possible par le couplage spin-orbite. Cette transition est cependant plus lente que celle du cas de la fluorescence, c'est pourquoi la phosphorescence reste active un certain temps après excitation des molécules.



De nos jours, les applications de la fluorescence sont multiples, notamment dans le domaine scientifique et médical. En effet, ce principe est utilisé, entre autres, dans les microscopes confocaux à balayage laser, les microscopes à fluorescence et les spectrofluoromètres mais il est également présent dans la vie de tous les jours (marquage des billets de banques, gilet de sécurité, capteurs optiques, peintures anti-collision des avions...).

Aujourd'hui, on retrouve également la phosphorescence dans notre quotidien, comme sur les aiguilles de certaines montres, pictogrammes de sécurité en cas de panne de courant, étoiles que les enfants accrochent dans leur chambre pour les voir briller dans le noir, etc.

Afin de comparer et d'étudier au mieux ces deux phénomènes, nous nous sommes demandé dans ce projet, quels sont les facteurs d'influence de la fluorescence et de la phosphorescence ?

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Le sujet étant la fluorescence et la phosphorescence, nous avons décidé de diviser l'équipe initiale de 5 personnes, en deux sous-groupes en vue d'étudier de manière plus efficace les deux aspects du sujet. Ainsi Tiphaine Bréant et Romain Avicé ont traité le phénomène de fluorescence tandis que Clément Russis, Maëlis Frusta-Bruot et Valeria Petrov ont traité celui de phosphorescence.

Pour les parties expérimentales, nous étions organisés de façon à ce que l'un de nous prenne des notes, ainsi que des photos, pendant que les autres manipulaient les outils. Afin de permettre à tous les membres d'équipe de participer à l'expérience, on changeait constamment les rôles.

La rédaction du rapport a fait aussi l'objet d'une division équitable en fonction du travail accompli. En vue de rendre notre travail efficace, nous avons utilisé différents outils de communication.

Le diagramme de Gant associé à l'organisation du projet est en annexe (*annexe 1*).

### 3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

#### 3.1. Montages

##### 3.1.1. *Le montage optique*

Pour notre projet, nous avons utilisé le spectromètre Maya ainsi que le logiciel Spectrasuite. Le spectromètre était relié à un ordinateur par câble USB. Le logiciel ayant une plage de longueur d'onde allant de 200 nm à 1120 nm, cela nous permet de bien analyser la fluorescence et la phosphorescence puisque tout le domaine du visible est couvert.

Pour étudier une source d'émission, une fibre optique est reliée au spectromètre. Une lentille convergente est montée à l'autre bout de la fibre afin de faire converger les rayons de la source d'émission. Un maximum de rayonnement est ainsi capté par la fibre, puis ces derniers sont guidés jusqu'à l'entrée du spectromètre. L'appareil capte alors le rayonnement avant de le disperser spectralement et d'enregistrer la répartition de l'intensité en fonction de la longueur d'onde.

Nous pouvons finalement lire sur le logiciel l'intensité du signal en count en fonction de la longueur d'onde en nanomètre. Afin de ne pas abîmer le matériel optique, nous devons faire attention à ne pas dépasser une intensité d'une valeur de 5000 counts. Pour cela, il est possible de modifier le temps d'acquisition du spectromètre sur le logiciel afin de gérer les pics d'intensités. De plus, il est important de ne pas prendre en compte la lumière ambiante résiduelle dans les spectres obtenus. Le logiciel permet d'éviter cela en faisant le noir. Il suffit alors de cliquer sur le bouton pour faire le noir sur le logiciel avant de commencer une expérience, puis de cliquer sur enlever le noir sur le logiciel, afin qu'il ne prenne pas en compte la lumière résiduelle, mais seulement ce qui nous intéresse dans nos expériences.

Le logiciel nous permet d'enregistrer les données obtenues, cependant aucun format d'enregistrement ne permet d'exploiter directement ces données sous la forme d'un graphe. Nous devons donc enregistrer ces données sous format « txt » avant d'ouvrir le fichier avec libre office calc pour alors obtenir le graphe du spectre obtenu.

Afin d'avoir un maximum d'intensité lumineuse captée par la lentille convergente, nous avons utilisé le principe de retour inverse de la lumière. Tout d'abord, nous avons relié la fibre optique à la lentille convergente servant de détecteur dans nos montages ainsi qu'à une seconde lentille convergente. Nous avons ensuite envoyé un faisceau laser sur la seconde lentille. De cette façon, la lumière est concentrée dans la fibre optique. La lumière traverse la fibre optique et ressort par la deuxième lentille. Nous pouvons alors voir la lumière ressortir par cette lentille. En conséquence nous pouvons approximer la précision de la lentille et vérifier que cette dernière capte suffisamment d'intensité lumineuse pour nos expériences.

Ce montage optique est utilisé à la fois pour l'étude de la fluorescence et à la fois pour celle de la phosphorescence. Cependant, les montages d'étude des deux phénomènes sont différents du fait des matériaux étudiés ainsi que des phénomènes observés. C'est pourquoi deux montages ont été réalisés, nous permettant donc d'étudier la fluorescence et la phosphorescence de façon indépendante.



### **3.1.2. Le montage de la fluorescence**

Dès la 3ème séance, nous avons mis en place un montage afin d'étudier des spectres de fluorescence. Le montage doit respecter plusieurs conditions :

- l'axe formé par le laser et le centre de la cuve doit être perpendiculaire à l'axe formé par la cuve et la lentille
- le montage doit être stable et il doit être facile de changer de laser sans modifier les alignements.

Le montage final est constitué de supports en tout genre dont un qui permet d'obtenir des déplacements micrométriques. La lentille convergente reliée à la fibre optique est vissée face au support micrométrique sur une barre en métal surélevée. Les lasers sont tenus par un support permettant des déplacements rotatifs et sont placés à 90 degrés par rapport à l'axe de la barre en métal. En fait, une cuve en verre d'un centimètre de largeur est coincée dans le support micrométrique au croisement de l'axe de la lentille et de celui du laser.

Du liquide fluorescent est versé dans la cuve. On vérifie ensuite que le laser passe par le centre de la cuve de façon rectiligne, puis on vérifie l'alignement de la cuve par rapport à la lentille.

De plus, des plaques sont réparties tout autour du montage afin de prévenir les éventuelles réflexions du laser par rapport à la cuve.

Il faut savoir qu'il nous a fallu 2 séances avant d'obtenir le montage final. En effet, un premier montage avait été fait. Cependant, ce dernier ne permettait pas une détection optimale du signal d'émission dans la cuve à cause d'un mauvais alignement entre la cuve et la lentille.

Une photo de notre montage est présentée en annexe 2.

### **3.1.3. Montage de la phosphorescence**

Le cœur de ce montage est un rail sur lequel nous avons placé plusieurs platines et différents supports :

- un support muni d'une pince permettant de fixer une source lumineuse (dans notre cas d'étude, un laser)
- un support maintenant une lentille permettant de faire converger les rayons vers la fibre optique
- un troisième support équipé d'une pince tenant un filtre vert
- Un dernier support surmonté d'une pince permettant de maintenir nos différents objets d'études

Une photo du montage est présente en annexe 3.

Nous avons réglé et aligné tous ces composés de manière très précise de façon à pouvoir capter le maximum de rayons phosphorescents de notre objet d'étude (ici une boule creuse phosphorescente). La lentille convergente est donc très proche de l'objet, et le laser est placé derrière la lentille et éclaire directement l'objet d'étude.

La présence du filtre vert sert essentiellement à obtenir des résultats plus précis. En effet, lors d'une acquisition sur le logiciel, nous observions un spectre composé d'un gros pic (qui correspondait à l'intensité de la lumière du laser), et d'une sorte de bosse (qui correspondait à la lumière phosphorescente de la boule). Le pic du laser étant d'une intensité beaucoup plus forte que la bosse, le logiciel se concentrait sur ce fameux pic et l'analyse des données de la bosse étaient d'autant moins précise.

Étant donné que le laser utilisé était bleu (ce choix sera justifié par la suite), nous avons fixé un filtre vert devant la lentille, qui transmettait la lumière verte (couleur de la phosphorescence) et laissait moins passer les rayons rouge et bleu. Le gros pic du laser était donc atténué, et de façon proportionnelle, nous avons plus de précisions sur l'analyse de la lumière liée à la phosphorescence de l'objet.

## 3.2. La Fluorescence

Nous allons vous présenter ici nos 3 expériences principales concernant la fluorescence. Une autre expérience faite sur le pH est en annexe 4.

### 3.2.1. Spectres d'émission

#### Théorie

Pour chaque fluorophore correspond un spectre d'émission et un spectre d'absorption. En fait, les molécules absorbent certaines longueurs d'onde et émettent de la lumière correspondant à d'autres longueurs d'onde. Afin d'observer au mieux la fluorescence, il faut envoyer sur le fluorophore une lumière dont les longueurs d'onde sont proches du spectre d'absorption des molécules. La fluorescence en sera d'autant plus intense. En effet, plus le fluorophore sera excité, et plus il émettra de photons.

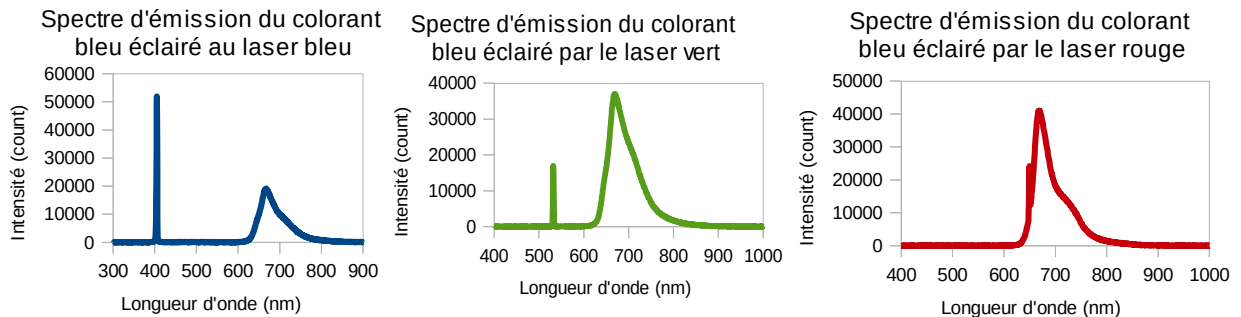
#### Expérience

Nous nous sommes procurés plusieurs matières fluorescentes afin de faire nos expériences : un colorant alimentaire bleu (contenant de la maltodextrine), du schwepes (contenant de la quinine), ainsi que de la fluorescéine. Ces matières sont soit en poudre, soit en liquide.

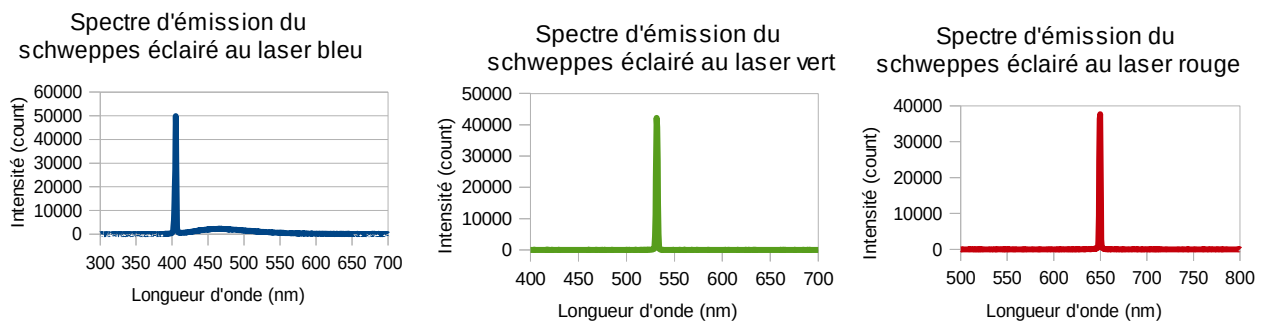
Le but de cette première expérience a été de mettre en évidence le domaine d'absorption de chaque matière fluorescente, afin de pouvoir faire d'autres expériences en sachant quelle matière utiliser avec quel laser.

Nous avons utilisé 3 lasers différents : un bleu à 400 nm, un rouge à 650 nm, et un vert à 532 nm, ainsi que notre montage décrit précédemment.

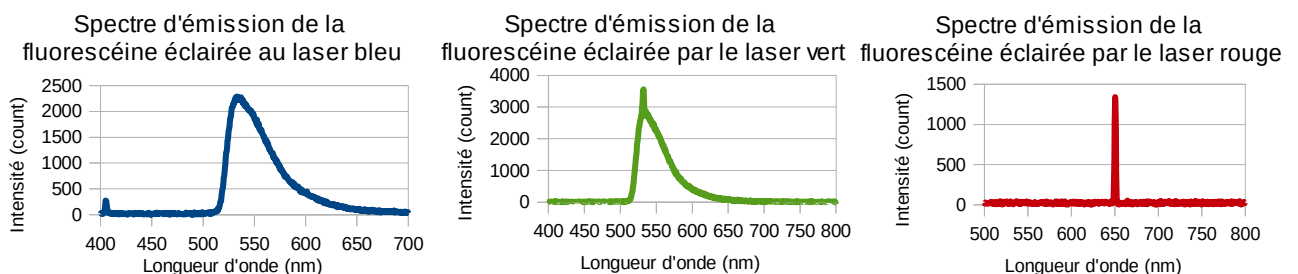
Nous avons éclairé tour à tour chacune des matières avec chaque laser. Pour les matières en poudre, nous les avons diluées dans de l'eau. Puis, à l'aide du spectromètre, nous avons enregistré les spectres d'émissions obtenus. Les pics fins associées à des longueurs d'onde précises correspondent aux longueurs d'onde des lasers utilisés. Le reste correspond à l'émission fluorescente.



Pour le colorant bleu, nous pouvons voir que le pic d'absorption le plus élevé correspond au laser rouge et diminue lorsque l'on va vers le bleu. On peut donc en déduire que le pic d'absorption de la maltodextrine (molécule responsable de la fluorescence du colorant) est proche du rouge, soit autour de 650 nanomètres.



Pour le schweppes, nous ne pouvons observer un début de fluorescence qu'avec le laser bleu. En fait, la quinine (molécule responsable de la fluorescence du schweppes) a une longueur d'onde d'absorption maximale située à 350nm dans les ultra-violets. Il est donc normal de ne pas observer une fluorescence importante avec les lasers que nous utilisons. En conséquence le schweppes n'est plus utilisé dans nos expériences car trop peu sensible par rapport à nos outils.



Pour la fluorescéine, nous avons un spectre très intense du spectre d'émission avec le laser vert. Il faut savoir que la fluorescéine absorbe le plus de radiation à 494nm.

Nous pouvons donc voir qu'une matière fluorescente émet une lumière différente que celle qu'elle reçoit. Nous pouvons envoyer un laser rouge sur la fluorescéine qui nous renverra une lumière verte par exemple.

Grâce à cette expérience, nous savons que nous devons utiliser le laser vert pour la fluorescéine, ainsi que le laser rouge pour le colorant alimentaire bleu.

De plus, ça nous a permis de découvrir un autre phénomène sur la fluorescence : le trapping. En effet, lors de l'étude concernant le spectre d'émission de la fluorescéine, nous avons versé dans la cuve une solution de fluorescéine concentrée, à tel point que tout le laser allant dans la cuve est entièrement absorbé. En fait, nous pouvons voir le laser disparaître au fur et à mesure dans la cuve. Cela est due au fait que le laser rencontre de plus en plus de molécules, qui l'absorbent peu à peu, au fur et à mesure de son passage dans la cuve.

En soit, cela n'est pas nouveau, plus on a de molécules, et plus on aura d'absorption. Cependant, l'intensité de la fluorescence n'est pas aussi forte qu'espérée. On pourrait penser que plus on a de molécules, plus on a une fluorescence importante. Ce n'est pourtant pas toujours le cas, au contraire cette dernière peut même diminuer : c'est le trapping.

### **3.2.2. *Le phénomène de Trapping***

#### Théorie

Le trapping est un phénomène lié à la réabsorption de l'émission fluorescente par les molécules. Il peut être décrit en 3 étapes.

1ère étape : les molécules absorbent des radiations.

2ème étape : elles émettent de la fluorescence.

3ème étape : les molécules voisines reçoivent les radiations fluorescentes et les absorbent à leurs tours.

On répète ensuite ces étapes jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de molécules fluorescentes dans le voisinage. De cette manière, plus on a de molécules voisines autour des premières molécules excitées, plus la fluorescence sera réabsorbée, et moins on aura d'intensité lumineuse au final.

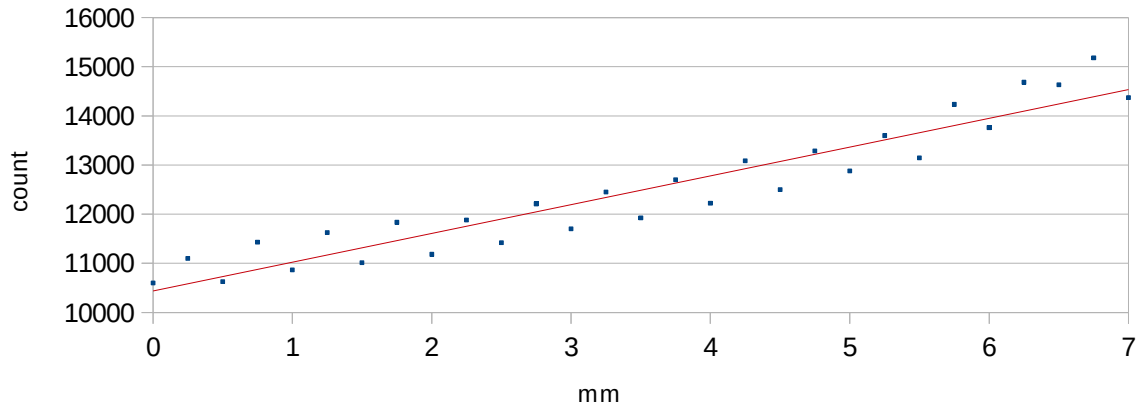
#### Expérience

Le but de cette expérience est de mettre en évidence le phénomène de Trapping, en obtenant l'intensité reçue en fonction de la distance entre la cuve et la lentille.

Afin d'étudier ce phénomène, nous avons utilisé le réglage micrométrique de notre montage. À l'aide de la vis micrométrique liée au support de la cuve, nous pouvons déplacer cette dernière sur l'axe de la lentille. Nous pouvons donc augmenter ou diminuer la distance entre la cuve et le détecteur. De cette façon et en gardant le laser fixe sur le montage, nous pouvons augmenter la distance entre l'axe du laser dans la cuve et le bord de la cuve côté détecteur. Ainsi, on augmente statistiquement le nombre de molécules qu'il y aura entre le laser dans la cuve et le détecteur. En conséquence, nous pouvons observer plus ou moins de trapping. Nous avons choisi d'utiliser le laser vert ainsi que de la fluorescéine. Nous avons mis de la fluorescéine peu concentrée dans la cuve (afin d'éviter une absorption complète du laser).

Tout d'abord, nous avons placé la cuve de façon à avoir le laser à une des deux extrémités de celle-ci. Nous avons pris celle la plus éloignée de la lentille. Puis, on augmente la distance entre la cuve et la lentille de façon à diminuer le nombre de molécules entre le laser et la lentille. Nous avons généré un spectre tous les 0,25 mm. Puis, nous relevons chaque valeur maximale et nous les ajoutons dans un tableur pour obtenir ce graphique :

Intensité reçue de la fluorescéine en fonction de la distance  
ajoutée entre la cuve et la lentille



Nous observons ici une relation linéaire entre l'intensité de la fluorescence et la distance que l'on ajoute entre la cuve et la lentille. Plus on augmente cette distance et plus on a de fluorescence.

L'hypothèse du trapping est donc vérifiée : moins on a de matière fluorescente entre le laser et le détecteur, et plus on a de fluorescence. Cela semble paradoxale, cependant nous avons bien montré que plus on a de molécules et plus on peut avoir une réabsorption de la lumière fluorescente déjà émise auparavant. Une solution concentrée en fluorophore pourra donc absorber plus de lumière mais ne pourra pas forcément réémettre plus de lumière si cette dernière est réabsorbée.

### 3.2.3. *Influence de la température sur la fluorescence*

Théorie :

Après quelques recherches sur la fluorescence, nous sommes rapidement tombés sur le fait que lorsqu'une solution est chauffée, elle émet moins d'intensité qu'à plus faible température. C'est le phénomène de Quenching : la propriété qu'ont certaines substances d'empêcher le phénomène de fluorescence. En effet, lorsqu'un fluorophore excité rencontre une autre molécule (non fluorescente), une dissipation non radiative de l'énergie peut se produire. Cette énergie libérée va avoir comme conséquence, pour le fluorophore un retour à son état fondamental.

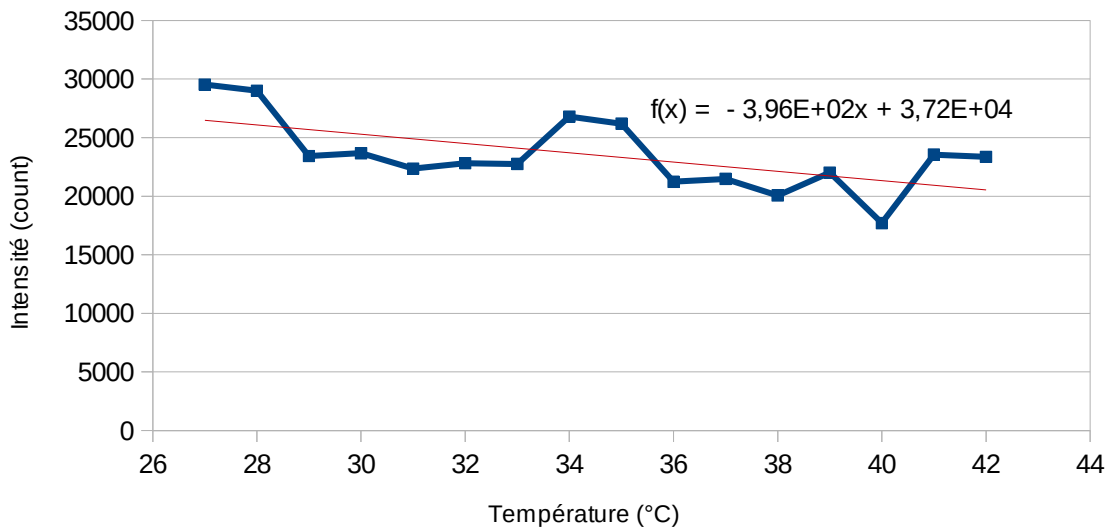
Or lorsqu'on diminue la température, les molécules sont moins agitées, il y a donc moins de collisions, et moins de fluorophores qui pourraient redescendre à leur état fondamental sans émettre une radiation.

Expérience :

Pour cette troisième expérience, notre but a été d'observer l'évolution de l'intensité en fonction de la température. Pour cela nous avons eu besoin de notre montage habituel accompagné d'un appareil pour chauffer l'eau et d'un thermomètre.

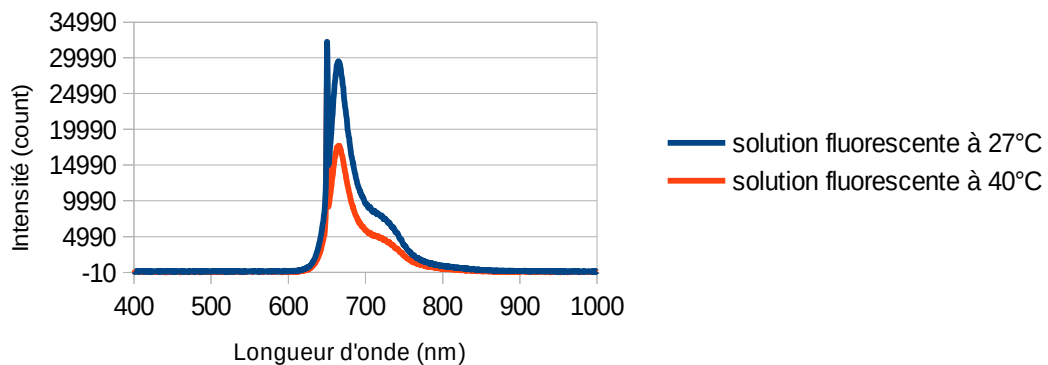
Pour commencer, nous avons récupéré de l'eau chauffée à 96°C dans la cuve et nous y avons ajouté du colorant alimentaire bleu. Puis nous avons placé la cuve sur le montage, et réglé la position du laser. Nous avons utilisé le laser rouge, car c'est celui qui correspond le mieux au domaine d'absorption du colorant. Enfin, tous les degrés, nous avons généré et enregistré le spectre correspondant. Nous avons ensuite regroupé les données en prenant l'intensité maximale émise pour chaque spectre obtenu.

Evolution de l'intensité de la fluorescence en fonction de la température



Sur ce graphique, on peut observer à la fois des augmentations et des diminutions d'intensité. Néanmoins, on peut observer une tendance globale de cette courbe, qui forme une droite avec un coefficient directeur négatif. En comparant le maximum et le minimum, on obtient un écart assez important puisqu'à 27°C, l'intensité est de 29 525 Counts alors qu'à 40°C, l'intensité est de 17 711 Counts. Nous avons d'ailleurs décidé de comparer l'allure de ces deux courbes :

Comparaison entre deux spectres d'émission à deux températures différentes



Cette image illustre bien l'impact de la température sur la fluorescence de la solution. En effet, nous pouvons voir un écart relativement important entre les pics d'intensités du fluorophore à deux températures différentes. Le spectre d'émission de la solution à 27°C est plus intense que celui de la même solution à 40°C.

De cette expérience on peut donc appuyer la théorie suivante : plus la température est élevée, moins l'intensité reçue est forte.

Au delà de ça, nous avons fait une autre expérience consistant à mettre un verre transparent contenant de la fluorescéine à différentes températures dans le noir, puis à l'éclairer avec une lampe de poche dont le spectre est proche de la longueur d'onde d'absorption maximale du fluorophore (voir *spectre d'émission de la lampe de poche*, annexe 4 sur le pH). L'expérience consiste alors à prendre une photo de la fluorescence de la solution à température ambiante, puis de même après avoir mis la solution au réfrigérateur un certain temps, et enfin après avoir chauffée la solution au micro-onde.

Il est apparu alors clairement sur les photos que la solution chauffée donne une fluorescence peu intense par rapport à la solution à température ambiante. Cependant la fluorescence de la solution froide paraît similaire en intensité à la solution à température ambiante. Nous pouvons donc nous demander si il existe un palier de température (en dessous de 20°C) telle que l'intensité de la fluorescence finit par restée constante. Pour cela, il faudrait donc trouver un moyen de refroidir la solution de façon précise.

### 3.3. La phosphorescence

#### 3.3.1. *Expérience n°1*

Nous cherchons à observer et à étudier la façon dont la lumière agit sur les objets phosphorescents selon les longueurs d'onde émisent.

Cette première expérience est une expérience cruciale, puisqu'elle nous a permis de poser des bases importantes pour la suite des expériences liées à la phosphorescence.

Nous avons cherché ici quel était le spectre d'absorption des objets phosphorescents.

Pour ce faire, et à l'aide de notre montage décrit précédemment, nous avons utilisé différents lasers les uns après les autres (rouge, vert et bleu) qui visaient directement une boule phosphorescente.

Après exposition au laser bleu, vert et rouge il en ressort que seul le bleu permet l'émission de lumière phosphorescente car c'est la seule longueur d'onde apportant assez d'énergie à la création de ce phénomène. En effet, la lumière bleue a une plus petite longueur d'onde et une plus haute énergie, apparemment suffisante pour exciter les électrons. Nous avons donc pu observer le phénomène de phosphorescence sur la boule avec le laser bleu et en analyser les mesures obtenues avec une acquisition Spectrasuite.

La phosphorescence observée sur la boule perdura pendant plusieurs minutes.

Un exemple de spectre ainsi qu'un tableau des valeurs d'intensités sont en annexe 5.

Nous pouvons tout d'abord observer pour le spectre avec le laser bleu un tableau de valeurs. Ces valeurs correspondent aux pics d'intensités en fonction de la longueur d'onde. Chaque tableau de résultat correspond, ici, à un spectre enregistré à un instant  $t$ . Pour cette expérience, nous avons enregistré 181 spectres avec le premier pris à l'instant  $t=0$ , et le dernier à  $t=2 \text{ min } 6 \text{ s}$ , on obtient un pas de 0,696 s. Pour l'analyse des résultats nous nous contenterons seulement des 150 premiers spectres.

On analyse d'abord le premier spectre. On observe tout d'abord un premier pic entre 400nm et 411nm de l'ordre de 50 000 (counts) à son maximum, qui correspond tout simplement à la capacité du matériaux à réfléchir instantanément la lumière bleue du laser.

Ce pic là ne nous intéresse pas puisqu'il ne correspond pas à la phosphorescence.

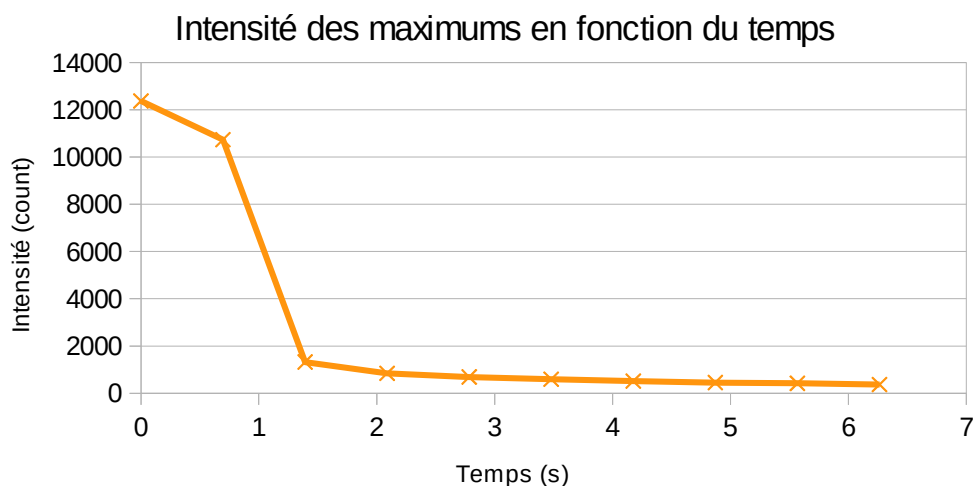
On observe aussi sur le spectre une cloche qui représente la phosphorescence que l'on étudiera.

Concentrons maintenant notre étude du premier spectre sur cet aspect là. On recherche d'abord à savoir où commence notre série de données et quand elle se termine. On décide de considérer que notre série de données commence à la valeur de longueur d'onde 469,06 nm et se termine à 576,02 nm.

On vient ici de définir les limites des données que l'on étudiera tout au long de la phosphorescence. Chaque spectre sera étudié à partir de 469 nm jusqu'à 576 nm, le reste des données sera supposé négligeable puisque pour la très grande majorité elles n'entrent pas en compte dans la phosphorescence (voir annexe 6 pour la délimitation de la série de données étudiée).

Maintenant nous avons défini un intervalle de données à analyser.

Pour commencer, la première analyse va s'effectuer au niveau des extremums de chaque série de données. On va prendre la valeur maximale des premiers spectres pour ensuite pouvoir tracer une courbe qui représente les variations des maximums des données donnant la cloche, en fonction du temps.

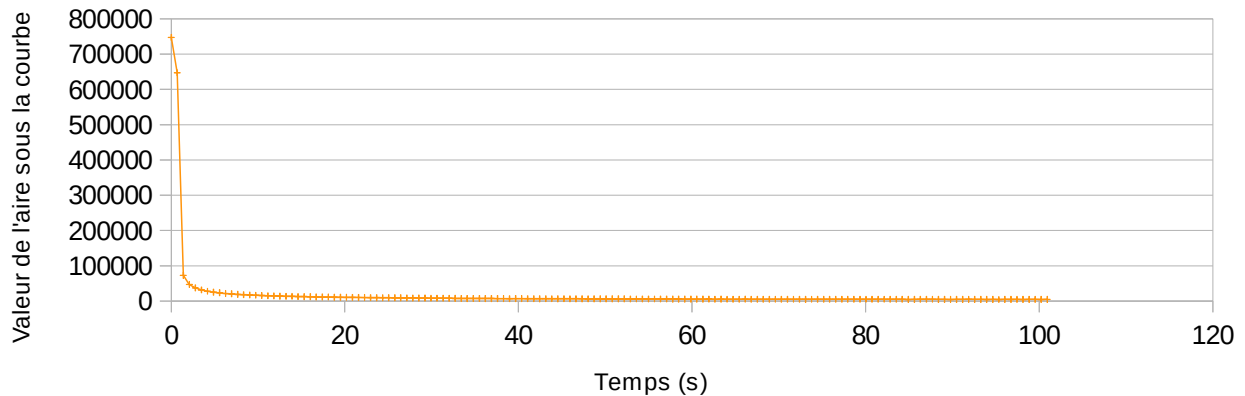


On observe une décroissance rapide due à la forte phosphorescence au début puis, petit à petit, la lumière émise diminue en intensité dans le temps selon une droite de faible coefficient directeur.

Ensuite vient une deuxième analyse. Cette fois nous allons calculer les aires sous la courbe vu précédemment représentant la cloche. Une explication de la méthode de calcul des aires se trouve en annexe 7. Après avoir obtenu les valeurs des aires pour les différents spectres on les reporte dans un nouveau tableau pour obtenir une courbe représentative de l'évolution des aires sous la courbe en fonction du temps.

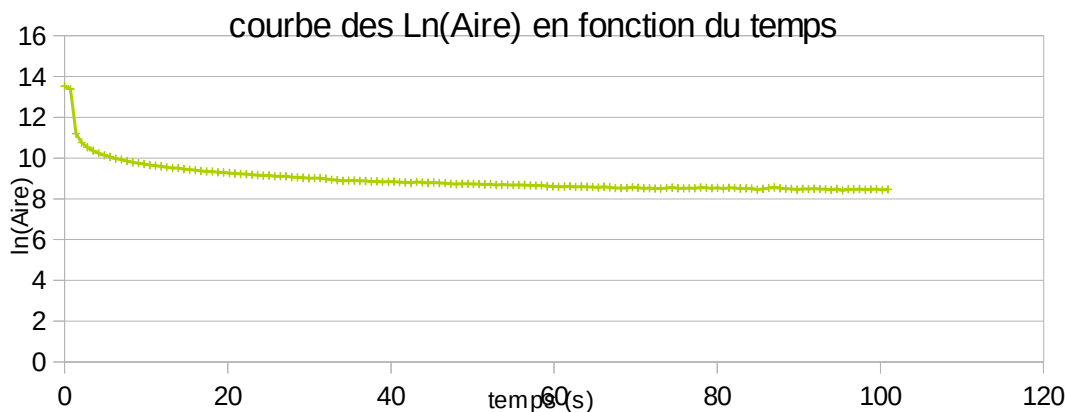


### Aire sous la courbe de chaque spectre en fonction du temps



On observe une décroissance constante après les trois premières valeurs qui descendent rapidement traduisant le comportement de phosphorescence intense lors des premières désexcitations de la molécule.

Nous savons que la phosphorescence suit une loi inverse exponentielle  $I(t)=I(o)*e(-t/tau)$ . Pour vérifier nos résultats on se propose de passer par une courbe de tendance logarithmique ( népérienne et non log. de puissances), si nos valeurs suivent bien la tendance de la loi inverse exponentielle on devrait obtenir une droite.



Après avoir tracé la courbe nous n'obtenons pas une droite donc on peut supposer que les conditions de nos expériences ne nous ont pas permis d'obtenir des valeurs suffisamment rigoureuses pour une analyse approfondie, mais suffisantes pour mettre en avant les facteurs de la phosphorescence. On va donc modéliser une courbe de tendance de puissance pour obtenir une courbe plus rapprochée de ce que l'on attend. L'équation de cette courbe de tendance se retrouve sous la forme suivante :

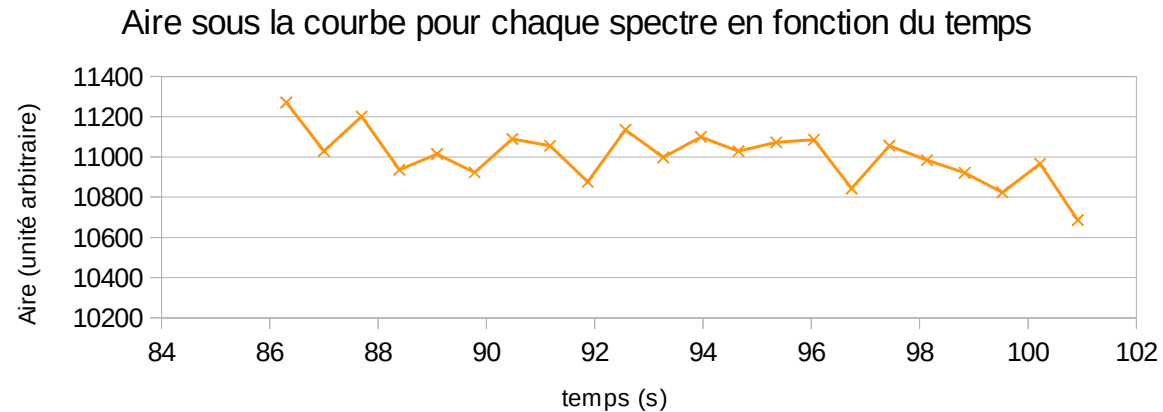
$f(x)=145193,229798872 x^{-0,9748311475}$  (le graphique de cette fonction se retrouve en annexe 8). On observe que cette courbe ne nous donne pas une linéarité dans nos résultats et ne valide donc pas les résultats expérimentaux. Cependant, on observe cela seulement pour nos premières valeurs lors de la décroissance lumineuse rapide, due à l'émission puissante de la phosphorescence lors des premières secondes.

On définit cette expérience comme celle dans les conditions initiales.

### 3.3.2. *Expérience n°2 : lentille convergente*

Pour cette expérience nous avons gardé le montage initial sans le changer, et avons simplement ajouté sur le rail à l'aide de supports, une lentille convergente de distance focale +100. L'utilisation de cette lentille nous permet donc d'obtenir une intensité accrue en notre point de mesure. L'explication du fonctionnement de la lentille est en annexe 9.

Après obtention des résultats, on peut comme précédemment les analyser de la même façon.



C'est après une première analyse des maximums qu'on remarque les premières différences avec la manipulation en conditions initiales.

On s'intéresse désormais aux aires avec des aires plus élevées que celles obtenues dans l'expérience initiale ce qui est normal dû à la proportionnalité des aires avec les intensités. On va s'intéresser ici aux dernières valeurs de spectre pour mettre en avant le phénomène que nous recherchons.

On observe que nos dernières valeurs d'intensité pour les spectre 129 à 150 sont entre 11250 et 10700 counts, ce qui est largement supérieur pour un même temps d'attente après que l'on ai éteint le laser dans les conditions initiales (entre 470 et 5270 counts). On peut supposer d'après nos résultats que l'intensité est un paramètre qui influe sur la phosphorescence autant sur l'intensité de celle-ci que sur la durée de désexcitation.

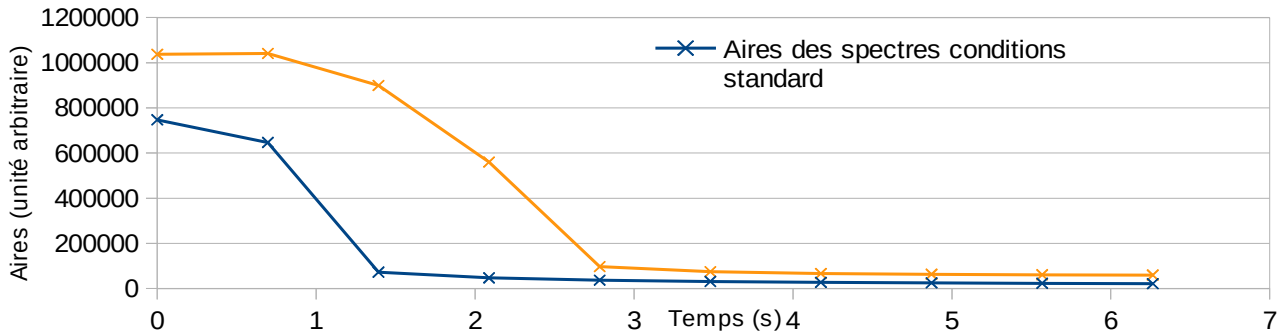
De nouveaux on va analyser seulement les spectres suivant les quinze premières secondes pour obtenir une courbe de tendance. En annexe 10, vous pouvez voir la courbe des aires superposée à la courbe de tendance.

Il en ressort, de nouveau, que nos valeur ne sont pas linéaires. On peut donc en conclure le même résultat que précédemment.

### 3.3.3. *Expérience n°3 : élévation de la température*

Dans cette expérience nous avons préalablement plongé la boule phosphorescente dans un bain d'eau chaude bouillant, puis, après avoir sorti la boule de la cuve, nous l'avons immédiatement exposée au laser pendant une durée d'exposition de 10 secondes, puis nous avons commencé les mesures.

Premièrement, on observe un premier phénomène qui est une hausse de l'intensité initiale. On peut superposer la courbe représentant les intensités pour les conditions standards et celle avec une température plus élevée.



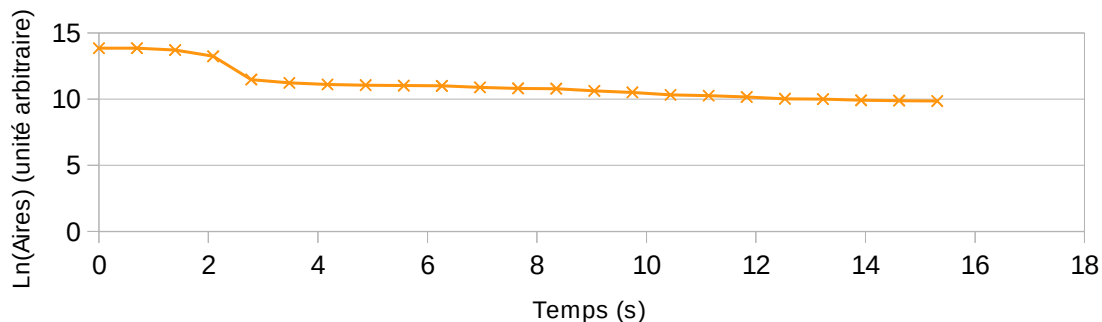
On voit bien que l'intensité initiale est beaucoup plus élevée que dans les conditions standard, mais que celle-ci diminue de la même façon dans le temps, lorsque la température de la sphère phosphorescente diminue.

La température est donc bien un facteur influant de la phosphorescence.

Pour vérifier nos résultats avec la théorie nous avons tracé la courbe de la fonction  $\ln(\text{Aires})$ . On observe qu'à partir de 2,5 secondes, une droite de faible coefficient directeur négatif se forme.

Malgré les premières valeurs ayant une très forte et très rapide décroissance d'intensité, on peut voir qu'une approximation avec une courbe de tendance logarithmique est juste, ce qui confirme nos résultats.

Courbe représentative des  $\ln(\text{Aires})$  en fonction du temps



On peut conclure ici que le facteur température est un facteur qui influe sur la phosphorescence.

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Comparons nos résultats entre phosphorescence et fluorescence. Dans ce projet, plusieurs facteurs d'influence communs ont été testés. Tout d'abord, il a été observé assez rapidement qu'un objet phosphorescent continue d'émettre, pendant une période de temps, un rayonnement après avoir été exposé à un rayonnement excitant. Au contraire, une matière fluorescente cesse d'émettre un rayonnement dès lors qu'on arrête son excitation par rayonnement.

Nous pouvons aussi comparer les phénomènes d'absorption et d'émission liés aux différentes longueurs d'onde utilisées dans nos expériences. De ce point de vue, le phénomène de phosphorescence est très similaire à celui de la fluorescence. En effet, à chaque matériau utilisé correspond un spectre d'absorption et un spectre d'émission. Ainsi, l'intensité de la

fluorescence et de la phosphorescence pour un matériau donné varie selon les longueurs d'onde d'excitation des lasers.

Un autre facteur comparable, celui de la température. D'après nos résultats, plus on augmente la température, moins la fluorescence est intense, et plus la phosphorescence, elle, est intense.

N'ayant eu qu'un seul matériel d'acquisition pour les deux groupes, nous avons dû nous limiter dans le temps pour ce qui est des expériences. C'est pourquoi une première chose que nous aurions aimé faire est d'élargir notre domaine expérimentale. En effet nous avons dû nous limiter à seulement trois expériences majeures pour la phosphorescence. Premièrement nous avons mis beaucoup de temps à bien mettre en œuvre le montage utile à toutes nos expériences. A la suite de l'expérience sur la hausse des températures, une autre expérience sur l'influence des températures plus basses aurait été complémentaire à nos résultats. Malgré des résultats plutôt satisfaisants, nous aurions bien aimé refaire plusieurs fois les expériences pour avoir une idée de la marge d'erreur.

De plus, nous aurions aimé approfondir la théorie concernant le processus de phosphorescence. Pour finir, il aurait été bien d'utiliser plus de matériaux différents, comparer les résultats expérimentaux et s'intéresser un peu plus à la matière source de la phosphorescence ainsi que toute la partie chimique qui s'en suit.

En ce qui concerne la fluorescence, nous aurions aimé mettre en place un protocole permettant d'observer l'intensité de la fluorescence en fonction du pH d'une solution. Malgré un manque de temps pour faire cette expérience, nous avons réussi à faire des photos qui mettent en évidence l'influence du pH sur la fluorescence (voir annexe 4).

Comme décrit dans notre rapport, nous avons aussi réussi à montrer que lorsque la température du fluorophore augmente, celui-ci émet moins d'intensité. Nous nous sommes demandés si lorsqu'on diminue la température (en passant de la température ambiante à des températures négatives), le phénomène prospère ou finie par stagner (ou même s'inverser). Nous pouvons donc imaginer un protocole expérimental où nous mesurons l'intensité émise par la solution en partant d'une solution froide dont la température augmenterait au fur et à mesure en contact de l'air ambiant.

De nos jours, il faut savoir que la phosphorescence est essentiellement utilisée dans des cadres de recherches scientifiques ou de chimie. Ce type de luminescence est beaucoup moins utilisé dans le quotidien que la fluorescence. Néanmoins, la phosphorescence pourrait jouer bien d'autres rôles dans la société du futur, et certains chercheurs lui ont trouvé d'autres applications ingénieuses.

Par exemple, depuis 2013, les Pays-Bas disposent d'une autoroute partiellement phosphorescente (un tronçon long de 500 m) ! Le seul problème est que l'émission de lumière n'excède pas les huit heures. Mais à l'avenir, on peut imaginer une lumière stable et durable, ce qui permettra aux automobilistes de voir parfaitement les lignes, et ce même sans éclairage.

De même, une entreprise britannique a conçu un concept d'allée lumineuse. Les composants du sol phosphorescents captent les UV émis par le soleil durant la journée afin de les réémettre la nuit.

Ainsi, cette production lumineuse constituera à long terme une économie d'énergie urbaine importante.

La phosphorescence et la fluorescence sont donc loin d'avoir fini de nous intéresser !

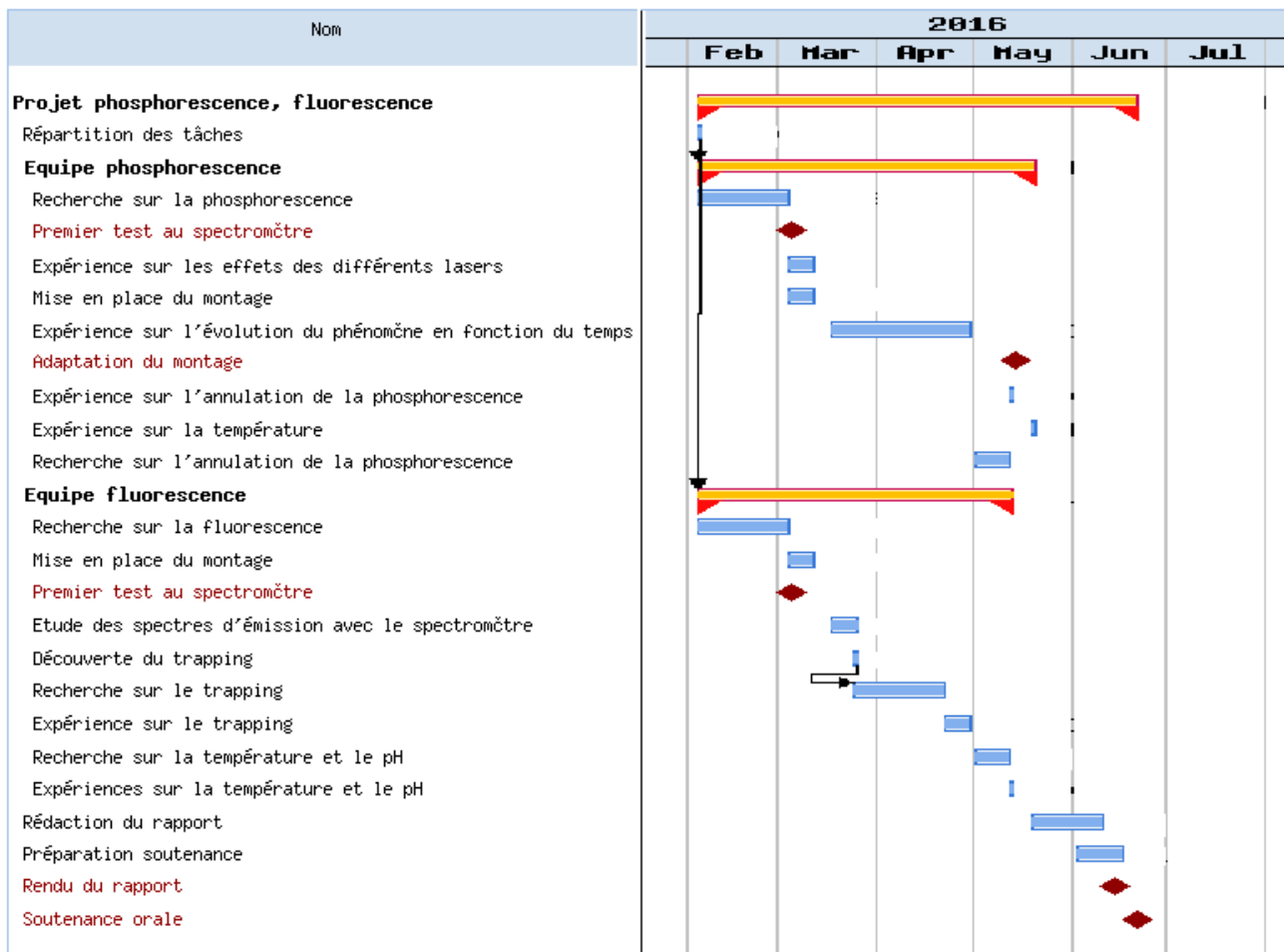
## 5. BIBLIOGRAPHIE

- Phosphorescence de différentes sources de lumière (LED et Laser) - <https://www.youtube.com/watch?v=XO4cMHnUs1g>
- L'utilisation de la fluorescence et de la phosphorescence - <https://www.youtube.com/watch?v=hYzxPAkM4xo>
- Exemples des expériences sur la phosphorescence - <https://www.youtube.com/watch?v=is1VH1yht2w>
- La différence entre phosphorescence et fluorescence - <http://tehnocultura.ro/.../care-e-diferenta-dintre-fluoresce.../>
- La définition et les types phosphorescences - [http://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz\\_efron/143291/%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F](http://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/143291/%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F)>
- L'explication du phénomène de phosphorescence - [https://www.youtube.com/watch?v=62pwykA\\_huU](https://www.youtube.com/watch?v=62pwykA_huU)
- Wikipédia phosphorescence - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphorescence>
- Notions générales sur la fluorescence - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluorescence>
- La description des lentilles optiques - [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille\\_optique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille_optique)
- Lentilles convergentes/divergentes - [https://media4.obspm.fr/public/AMC/pages\\_lentilles-minces/lm-lc-ld.html](https://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_lentilles-minces/lm-lc-ld.html)
- SpectraSuite/Spectrometer Operating Software/ Installation and Operation Manual.
- Document Number 000-20000-300-02-0607; DRAFT 06/18/07
- Le spectre visible - [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectre\\_visible](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectre_visible)
- Les types de laser - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Laser>
- Les propriétés du filtre vert - <http://www.comment-apprendre-la-photo.fr/synthese-soustractive-est-encore-plus-simple>
- Les éléments phosphorescents - [http://www.chimie magique.fr/?page\\_id=297](http://www.chimie magique.fr/?page_id=297)
- explication quenching température <http://tpe-fish-fluorescence.e-monsite.com/pages/la-fluorescence.html>
- [http://jphys.journaldephysique.org/articles/jphys/abs/1968/02/jphys\\_1968\\_29\\_2-3\\_181\\_0/jphys\\_1968\\_29\\_2-3\\_181\\_0.html](http://jphys.journaldephysique.org/articles/jphys/abs/1968/02/jphys_1968_29_2-3_181_0/jphys_1968_29_2-3_181_0.html)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie\\_de\\_fluorescence\\_des\\_rayons\\_X](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_fluorescence_des_rayons_X)
- trapping: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie\\_de\\_fluorescence](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie_de_fluorescence)
- déplacement de Stokes: [https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9placement\\_de\\_Stokes#D.C3.A9finition](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9placement_de_Stokes#D.C3.A9finition)
- loi de beer lambert: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie\\_d%27absorption](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_d%27absorption)
- infos fluorescéine [http://www.lyceepontusdetyard.fr/svt/design44\\_vert/Fluo1.3.xhtml](http://www.lyceepontusdetyard.fr/svt/design44_vert/Fluo1.3.xhtml)
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00287255/document>
- effets du ph: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ac60291a034>
- exposé fluorescence [http://www.heliospir.net/medias/upload/files/15J\\_c\\_Locquet.pdf](http://www.heliospir.net/medias/upload/files/15J_c_Locquet.pdf)
- ph et température: [http://www.lyceepontusdetyard.fr/svt/design44\\_vert/Fluo2.2.xhtml](http://www.lyceepontusdetyard.fr/svt/design44_vert/Fluo2.2.xhtml)
- [http://jphys.journaldephysique.org/articles/jphys/abs/1968/02/jphys\\_1968\\_29\\_2-3\\_181\\_0/jphys\\_1968\\_29\\_2-3\\_181\\_0.html](http://jphys.journaldephysique.org/articles/jphys/abs/1968/02/jphys_1968_29_2-3_181_0/jphys_1968_29_2-3_181_0.html)

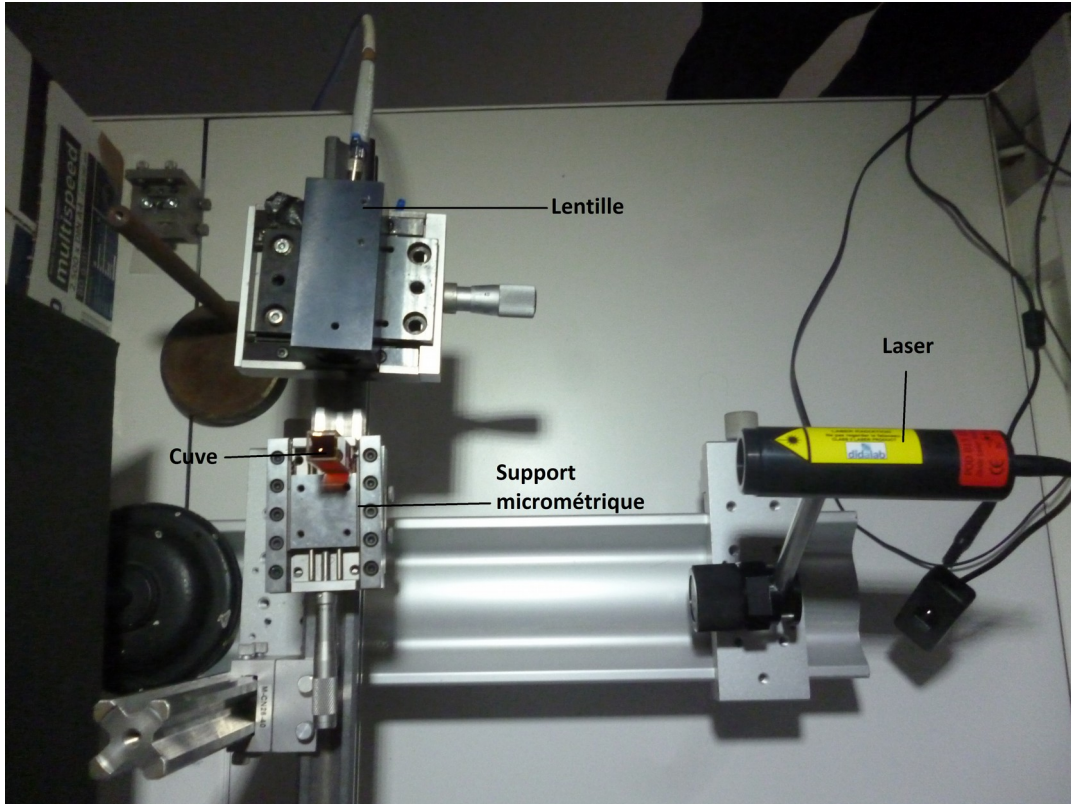
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie\\_de\\_fluorescence\\_des\\_rayons\\_X](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_fluorescence_des_rayons_X)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9placement\\_de\\_Stokes#D.C3.A9finition](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9placement_de_Stokes#D.C3.A9finition)
- [http://www.lyceepontusdetyard.fr/svt/design44\\_vert/Fluo1.3.xhtml](http://www.lyceepontusdetyard.fr/svt/design44_vert/Fluo1.3.xhtml)
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluoresc%C3%A9ine>
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00287255/document>

## 6. ANNEXES

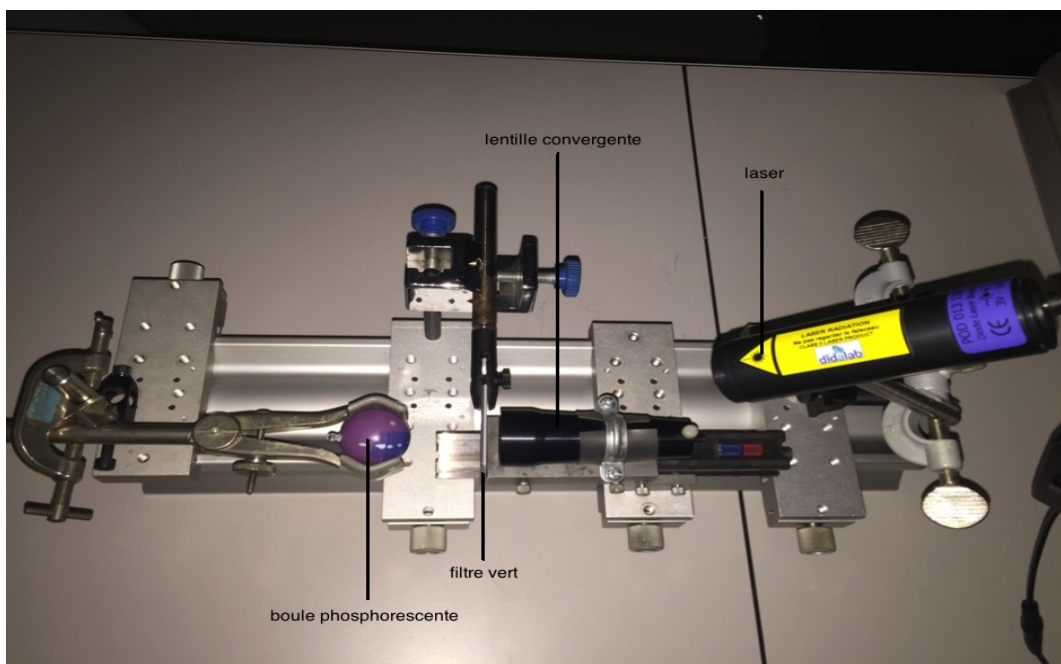
### Annexe 1 : Diagramme de Gant



**Annexe 2 : montage pour la fluorescence**



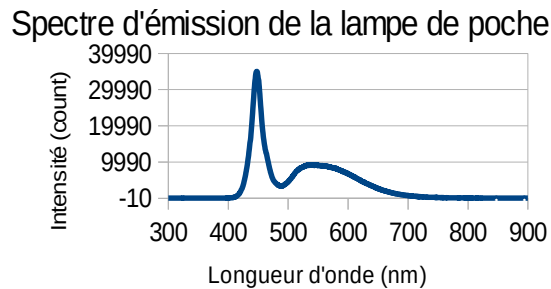
**Annexe 3 : montage pour la phosphorescence**





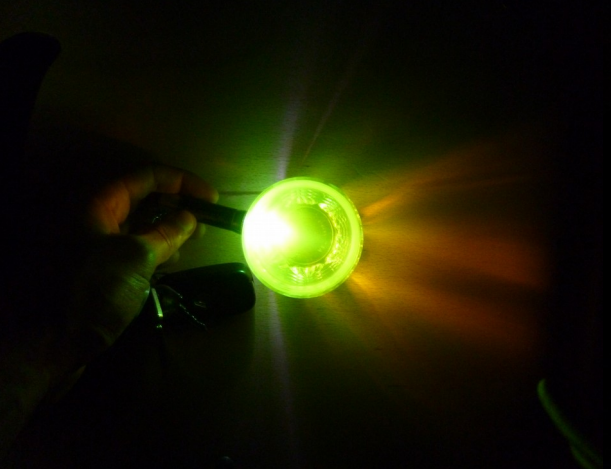

**Annexe 4 : mise en évidence de l'influence du pH sur la fluorescence**

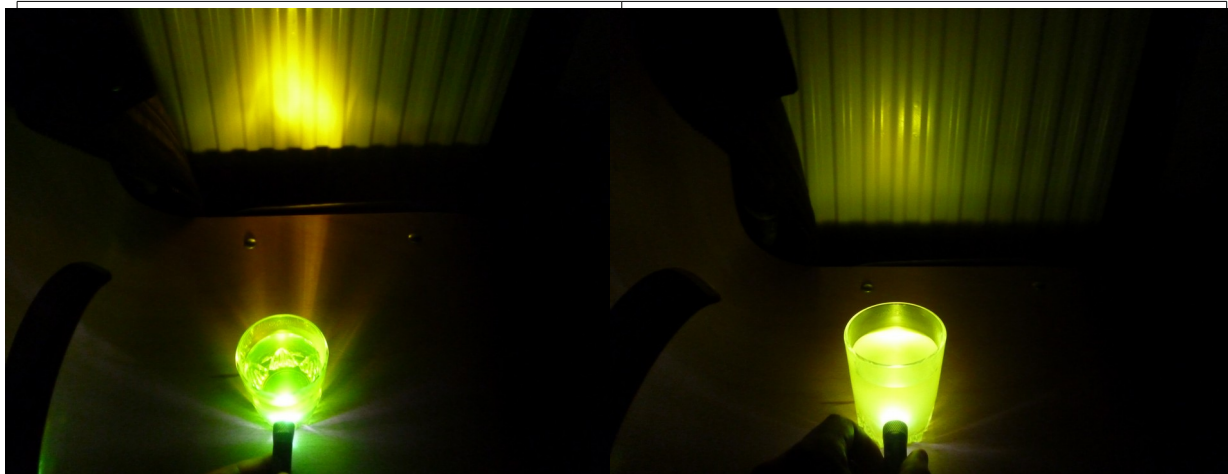
Afin de voir si le pH a une influence sur la fluorescence, nous avons procédé à une expérience relativement simple. Le protocole consiste à verser un peu de fluorescéine dans un verre transparent sur lequel on envoie des rayons lumineux à partir d'une lampe de poche émettant autour de 450 nm (proche de la longueur d'absorption maximal de la fluorescéine à 494nm environ).



Après s'être mis dans le noir, on prend dans un premier temps une photo du verre contenant seulement de la fluorescéine. Puis, nous ajoutons du jus de citron dont le pH est acide (autour de 2) dans le récipient, et nous mélangeons afin d'homogénéiser la solution. Enfin nous reprenons une photo en se mettant dans les mêmes conditions expérimentales que pour la première fois, et nous comparons l'intensité de fluorescence à partir des photos.

Les résultats ci-contre ont été observés :

<i>Verre contenant de la fluorescéine</i>	<i>Verre contenant de la fluorescéine et du jus de citron</i>
	

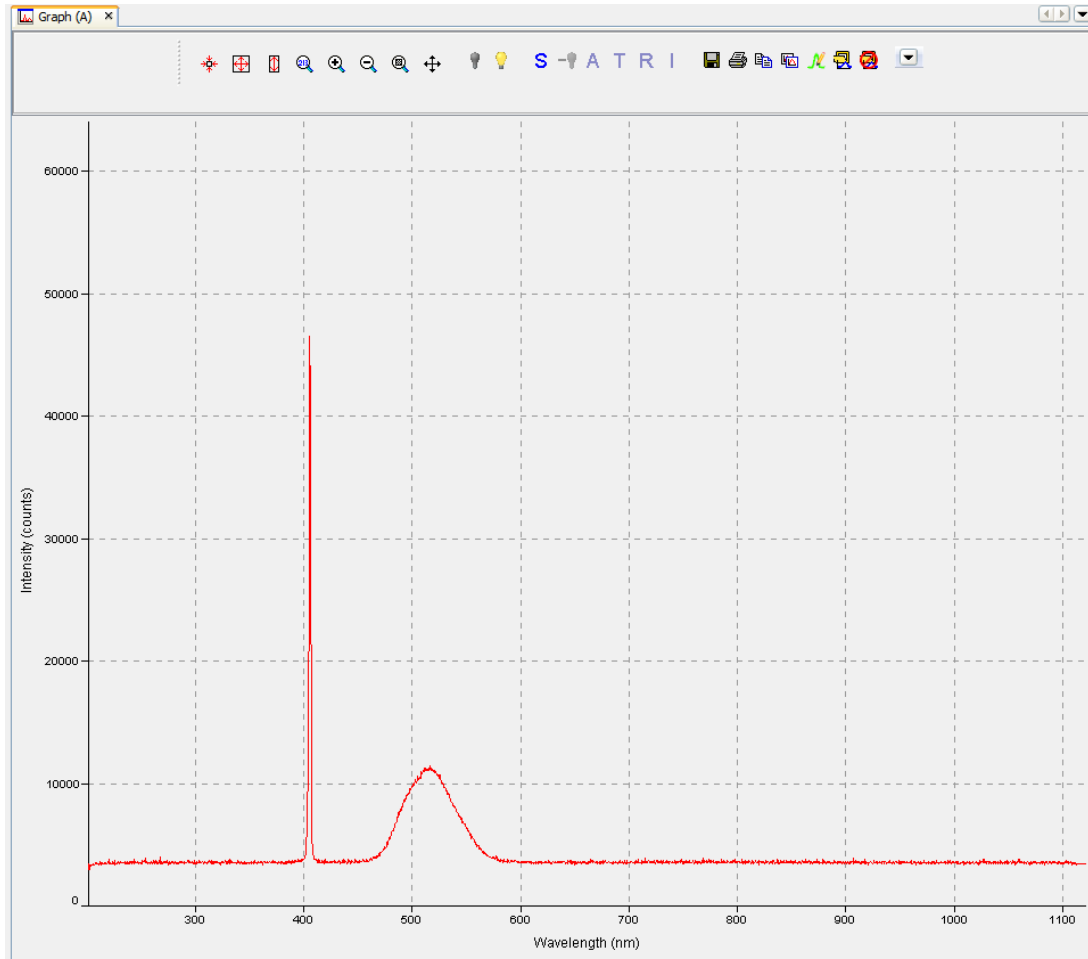


En observant ces images, nous pouvons donc voir que l'intensité de la fluorescence émise est fortement modifiée selon le pH de la solution. Le pH altère donc le rendement quantique du fluorophore et peut avoir un impact direct sur le spectre d'émission. Finalement, dans le cas ci-dessus, diminuer le pH a eu pour effet de diminuer l'intensité de fluorescence.

Cependant, même si ce cas particulier met en évidence l'influence du pH sur la fluorescéine, nous pouvons nous demander comment évolue l'intensité de cette dernière en fonction du pH. Est ce qu'une base ajoutée à la solution augmenterait la fluorescence plutôt que de la diminuer ? Ces interrogations sont légitimes, et des expériences plus précises peuvent être menées. Cependant par manque de temps ainsi que par défaut de matériel plus adapté, aucune autre expérience sur le pH n'a été faite par notre groupe.

### **Annexe 5:**

Voici une première image qui représente tout simplement un spectre type de ceux que nous analyserons dans la suite, avec un premier pique et un second, ce spectre représente l'intensité (en count unité souvent utilisé pour mesurer les radiations ioniques c'est à dire les radiations apportant assez d'énergie pour libérer les électrons de l'atome) pour les longueurs d'ondes (en nm).



## SpectraSuite Data File

```

+++++
Date: Fri May 20 16:24:36 CEST 2016
User: labphys
Dark Spectrum Present: Yes
Reference Spectrum Present: No
Number of Sampled Component Spectra: 1
Spectrometers: MAYP11080
Integration Time (usec): 700000 (MAYP11080)
Spectra Averaged: 1 (MAYP11080)
Boxcar Smoothing: 0 (MAYP11080)
Correct for Electrical Dark: No (MAYP11080)
Strobe/Lamp Enabled: No (MAYP11080)
Correct for Detector Non-linearity: No (MAYP11080)
Correct for Stray Light: No (MAYP11080)
Number of Pixels in Processed Spectrum: 2068
>>>>Begin Processed Spectral Data<<<<<
200,29 -43,00
200,76 7,00
201,24 -5,00
201,71 0,00
202,19 4,00
202,66 18,00
203,14 4,00
203,61 6,00
204,09 1,00
204,56 10,00
205,04 0,00
205,51 0,00
205,98 8,00
206,46 -20,00
206,93 25,00
207,41 16,00
207,88 20,00
208,36 5,00
208,83 20,00
209,30 6,00

```

Nous avons là un tableau de valeurs qui correspond tout simplement à la représentation sous forme de valeurs de la courbe vu au dessus (la tableau n'est pas celui représentatif de la même courbe mais se présente sous la même forme). On peut y voir dans la première colonne les valeurs des longueurs d'onde ( par soucis de place on s'arrête à 209 nm mais il faut savoir que le tableau dans sa totalité va jusqu'à 1121,33 nm). Quand à la deuxième colonne elle correspond aux intensités mesurées. On observe entre chaque longueur d'onde une différence de 0,48 ou 0,47 nm.

**Annexe 6 :**

467,09	147		
468,15	147		
468,6	94		
469,06	103		
469,52	120		
469,98	151		
470,44	130		
470,9	107		
471,35	167		
471,81	155		
472,27	141		
472,73	143		
473,19	128		
473,65	113		
474,1	111		
474,56	155		
475,02	162		
475,48	155		
475,94	172		
476,39	203		
476,85	160		
477,31	128		
477,77	163		
478,23	259		
478,68	203		
479,14	252		
479,6	241		

On observe ici la première valeur que nous allons considérer lorsque nous étudierons les spectres. Chaque spectre comme nous l'avons dit s'étudie sur une série de donnée qui commence ici, nous avons choisi 469,06 nm car cela correspond au début du pique d'intensité de la phosphorescence.

**Annexe 7 :**

Pour chacun des 150 spectres à l'aide d'un macro nous avons calculé les aires sous la courbe représentées par la série de données d'intensité de 469,06nm à 576,02nm. Pour calculer ces aires à chaque spectre nous avons tout simplement regardé le pas moyen entre deux spectre, celui ci variait de 0,47 à 0,48 et avons pris la valeur moyenne 0,475. Cette valeur correspond en fait à la largeur d'un rectangle dont la longueur est la valeur de l'intensité pour chaque longueur d'onde des séries de données de chaque spectre. Ensuite nous avons multiplié la largeur et la longueur avec chaque intensité et enfin avons fait la somme de ces rectangle ce qui nous donne une valeur arrondie de l'aire sous la courbe entre les bornes définies (469 et 576 nm).

Le macro quant à lui s'est fait à l'aide d'un simple logiciel appelé actionaz. Il permet à l'aide de fonctions pré-enregistrés dans le logiciel d'effectuer des actions. Cette automatisation du calcul des aires nous a permis de ne pas se contenter de calculer les 15 premières aires de chaque spectre pour chaque expérience mais de calculer les résultats pour chacun des 150 spectres ce qui accroît énormément la valeur de nos résultats.

Ligne/ID	Action	Commentaire
<input checked="" type="checkbox"/> 001	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 002	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 003	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 004	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 005	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 006	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 007	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 008	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 009	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 010	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 011	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 012	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 013	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 014	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 015	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 016	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 017	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 018	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 019	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 020	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 021	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 022	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 023	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 024	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 025	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 026	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 027	Clic	
<input checked="" type="checkbox"/> 028	Pause	
<input checked="" type="checkbox"/> 029	Touche	
<input checked="" type="checkbox"/> 030	Clic	
	Supprimer	

Éditer action

### Touche

*Simule la pression d'une touche*

Standard
Avancé
Commun
Exceptions

Paramètres d'entrée

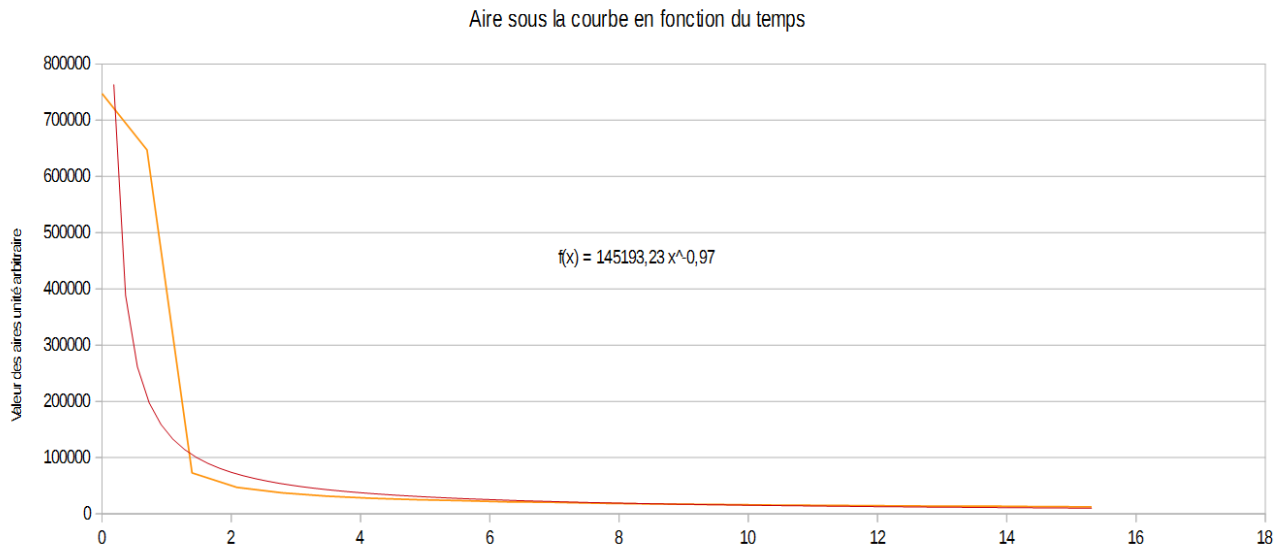
Type :

Pause pression/relâchement :

Par L'équipe d'Actionaz  
Version 1.0.0 (Stable)

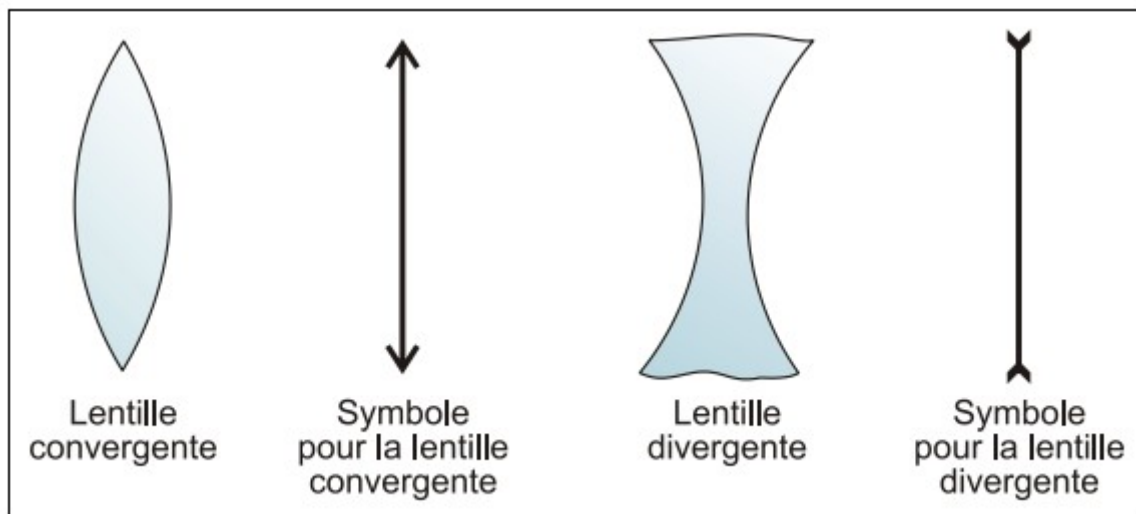
Le macro se présente sous cette forme avec les actions à effectuer. Celles ci ont la possibilité d'être recodées pour être adaptées à certains travaux mais dans notre cas les fonctions de base suffisaient.

**Annexe 8 :**



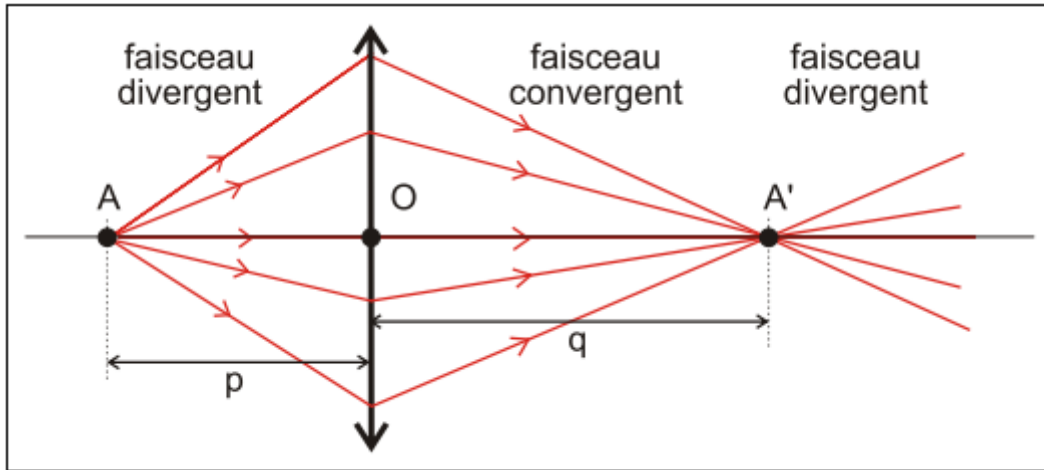
**Annexe 9 :**

Une lentille est constituée par un milieu transparent limité par deux dioptries sphériques de rayons  $r_1$  et  $r_2$ . Si les courbures extérieurs de cette lentille sont à son maximum au centre et plus petites aux extrémités nous avons une lentille convergente.



Nous nous plaçons ici dans le cas d'une lentille mince c'est à dire que nous négligeons l'épaisseur de celle ci. Donc tout rayon incident passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.

Un rayon incident subit donc seulement une réfraction au passage de la lentille (et non deux contrairement à une lentille épaisse).



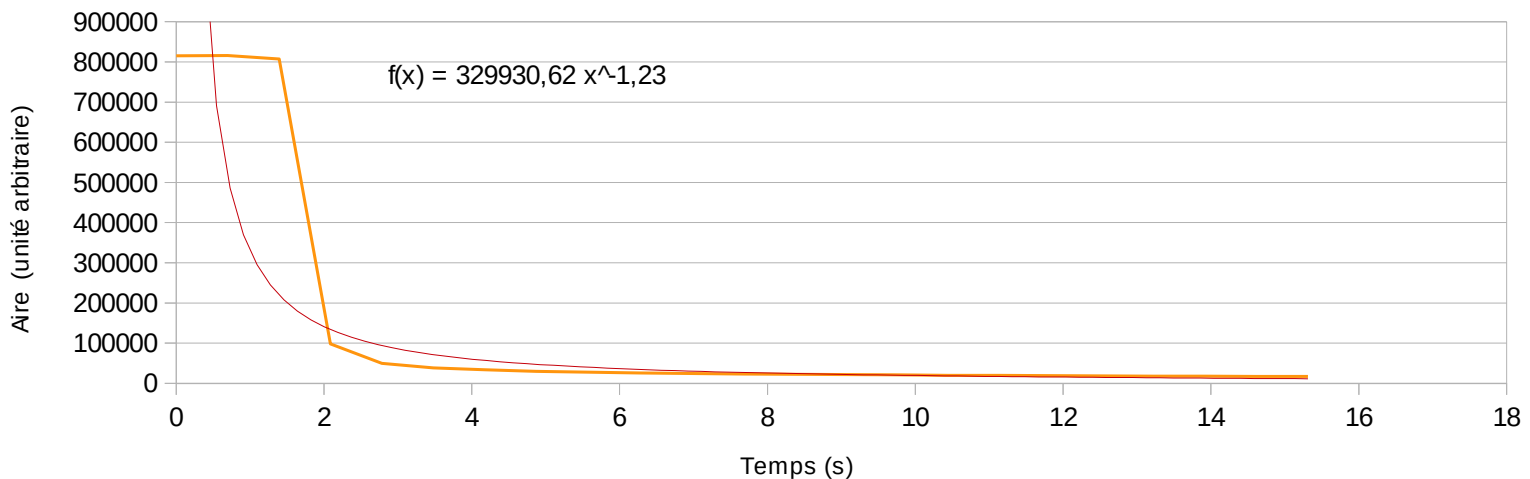
Nous avons dans notre cas une lentille de distance focale +100 cette distance focale correspond à la distance séparant le plan principal (celui de la lentille) au foyer objet.

**Annexe 10 :**

On a donc pris dans les tableaux des spectres les valeurs des spectres des 15 premières secondes.

Voici la courbe représentant les aires pour chaque spectre en fonction du temps pour l'expérience avec une intensité accrue du à la lentille et sa distance focale. Ces aires sont en fonctions du temps. (courbe jaune).

Aire sous la courbe pour chaque spectre en fonction du temps



Par dessus nous avons recherché une courbe de tendance et de nouveau nous observons que polynomiale, de puissance ou logarithmique nos courbes de tendances ne nous permettent pas d'obtenir des résultats linéaire.