

EMISSION ET ABSORPTION DE LA LUMIERE

I EMISSION

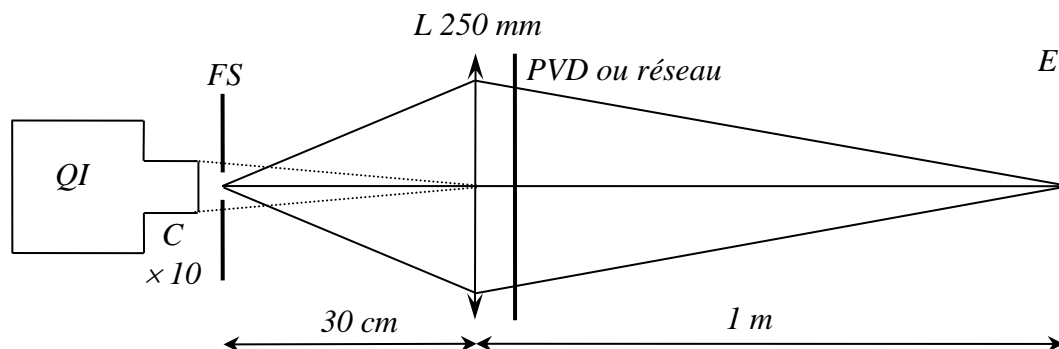
I.1 Par échauffement thermique

C'est le mode d'émission des lampes à incandescence ordinaires ou des Quartz-Iode. Leur fonctionnement est basé sur l'émission lumineuse d'un corps chauffé à haute température. Les matériaux employés (tungstène, carbone) émettent un rayonnement voisin de celui du corps noir. Le spectre est continu et s'étend au-delà du visible, notamment dans l'infrarouge (cf. [1], p.2).

I.1.1 Spectre d'une lampe Quartz-Iode

Montage :

[1], p.225



Spectre visible :

On peut le montrer à l'aide d'un PVD (prisme à vision directe).

Spectre IR :

Une bonne partie du spectre de ce genre de lampe se situe dans l'infrarouge. On peut le montrer en déplaçant le long du spectre projeté sur l'écran une photodiode type OSD 5 T polarisée en polarisation inverse ($U_{alim} = 12 V$, R_{mesure} à adapter). Il faut soigner le montage optique pour avoir un signal maximum (l'image du filament de la QI doit notamment être focalisée sur la lentille de projection). On doit constater que le signal aux bornes de R au-delà du visible du côté des grandes longueurs d'ondes est plus fort que dans le rouge. Pour tenir compte de plus grande sensibilité de la photodiode dans l'infrarouge, on peut repérer à l'aide d'un filtre interférentiel une longueur d'onde dans le rouge, placer la photodiode à cet endroit et mesurer le signal après avoir enlevé le filtre interférentiel. On recherche ensuite le maximum de signal dans l'infrarouge et on compare le rapport des signaux à celui des sensibilités de la photodiode en prenant pour l'infrarouge sa sensibilité maximale (consulter la datasheet de la photodiode).

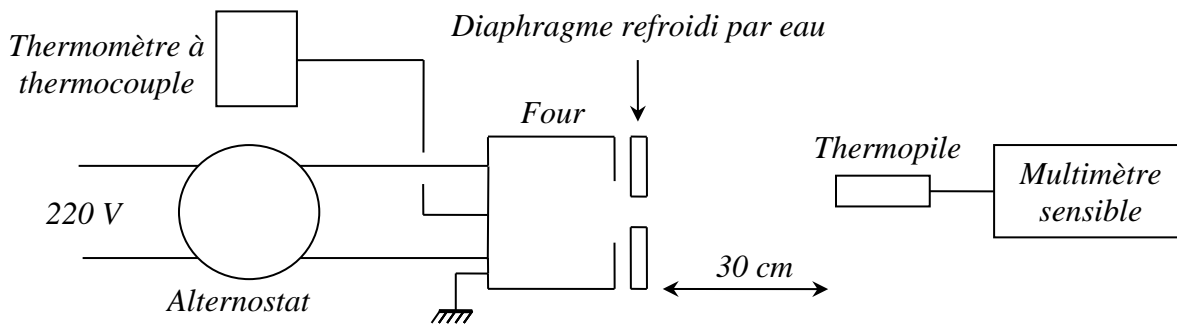
I.1.2 Vérification de la loi de Stéphan

Les sources thermiques émettent un rayonnement proche de celui du corps noir (on rappelle qu'un corps noir est un corps absorbant l'intégralité du flux incident et qui, à l'équilibre, réémet un flux total égal au flux incident). On propose de vérifier la loi de Stéphan qui reliant l'exitance de la source à sa température absolue :

$$M(T) = \sigma T^4$$

Montage :

[1], p.103



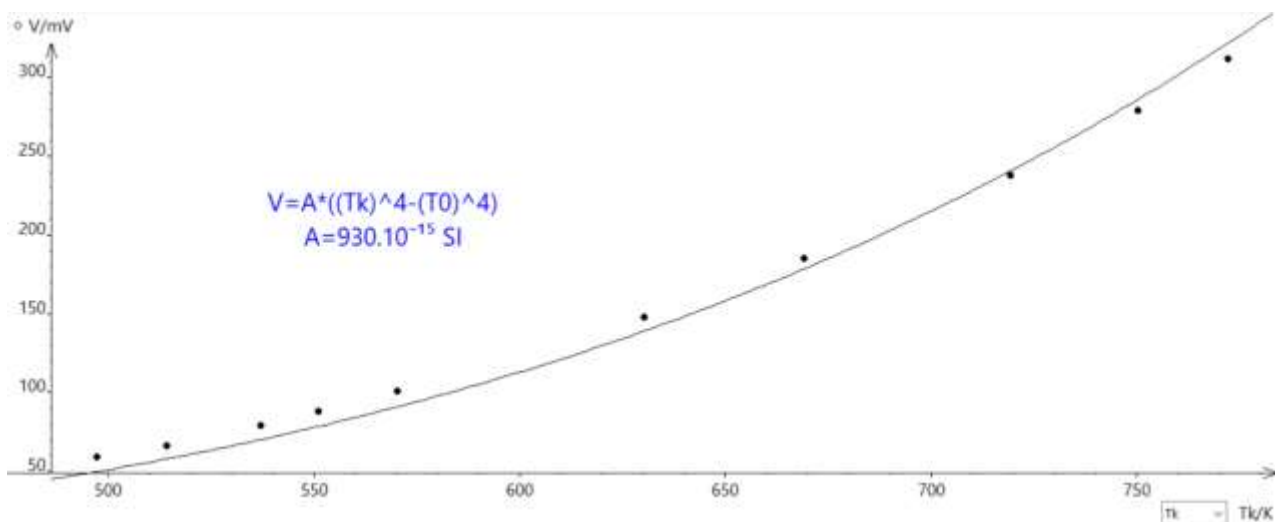
Cette manipulation est longue et délicate. Le signal de la thermopile est faible ($\approx 100 \mu\text{V}$) donc il faut un multimètre sensible et allumé depuis suffisamment longtemps pour qu'il soit stable. Le diaphragme doit être accolé au four et l'alignement four-diaphragme-thermopile doit être soigné. Le débit d'eau doit être suffisant pour que le diaphragme soit efficacement thermostaté (ce point est crucial) et il faut minimiser les lumières parasites entrant dans la thermopile (on peut éclairer la thermopile avec une lampe pour s'en convaincre).

Mesures :

On note la température T_0 à l'arrière de la thermopile, on alimente le four avec une tension comprise entre 200 et 220 V puis on note la tension aux bornes de la thermopile pour des températures de four comprises entre 100 et 500 °C par palier de 50°. L'exitance mesure le flux total rayonné dans un demi-espace par unité de surface de la source donc il faut un détecteur à réponse spectrale plate d'où le choix de la thermopile. Si Σ_f est la surface de l'orifice libre du four et Ω l'angle solide sous lequel cet orifice voit la thermopile, le flux reçu est $\Sigma_f \sigma T^4 (\Omega/2\pi)$. Le détecteur n'est sensible qu'à la différence de température entre le four et l'ambiante (cf. [1], p. 78) donc si R est sa sensibilité, le signal aux bornes de la thermopile vaut :

$$V = R \Sigma_f \sigma (T^4 - T_0^4) \frac{\Omega}{2\pi}$$

L'expérience doit donc permettre de vérifier que la proportionnalité de V à $T^4 - T_0^4$. Voici à titre indicatif le résultat d'une série de mesures :

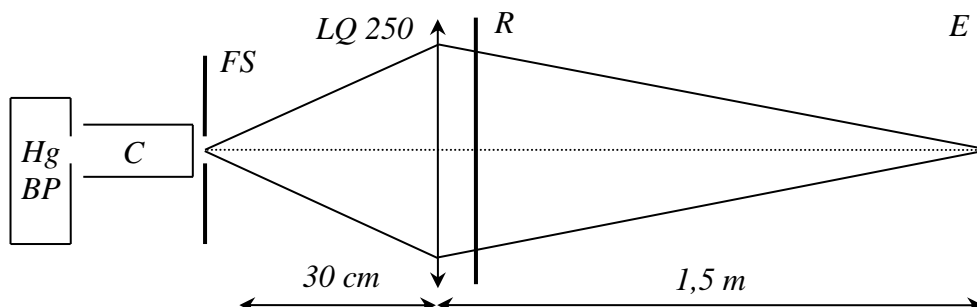


On constate que l'accord entre les mesures et la modélisation est loin d'être optimal. On peut être tenté de retrouver la constante de Stefan mais c'est peu pertinent vu le résultat obtenu.

I.2 Par décharge dans les gaz

I.2.1 Spectre d'émission d'une lampe

On peut étudier dans cette partie le spectre d'une lampe à vapeur de Mercure ou d'Hydrogène. Ces expériences sont présentées dans le montage sur la spectrométrie optique. S'y reporter pour plus d'informations. Pour la lampe à vapeur de mercure, on peut aussi montrer qu'elle a des raies dans l'UV à l'aide du montage suivant :



Réseau : 4000 ou 8000 traits/inch (1 inch = 2,54 cm)

On utilise une lentille en quartz pour améliorer la transmission dans cette zone spectrale¹. Les UV peuvent être mis en évidence à l'aide d'un écran fluorescent ou plus simplement à l'aide d'une feuille de papier très blanche². On peut recouvrir la moitié de l'image du spectre sur l'écran pour voir la différence avec ou sans la feuille.

I.2.2 Estimation d'une largeur de raie

Cette étude est aussi faite dans le montage sur la spectrométrie optique.

I.3 Emission induite

Les processus étudiés jusque-là sont des processus d'émission spontanée. Les lasers, eux, mettent à profit l'émission induite donc on peut s'intéresser à certaines de leurs caractéristiques. Un chapitre complet leur est consacré dans la référence [1] → s'y reporter pour des idées de manipulations.

II ABSORPTION

II.1 Absorption par un liquide

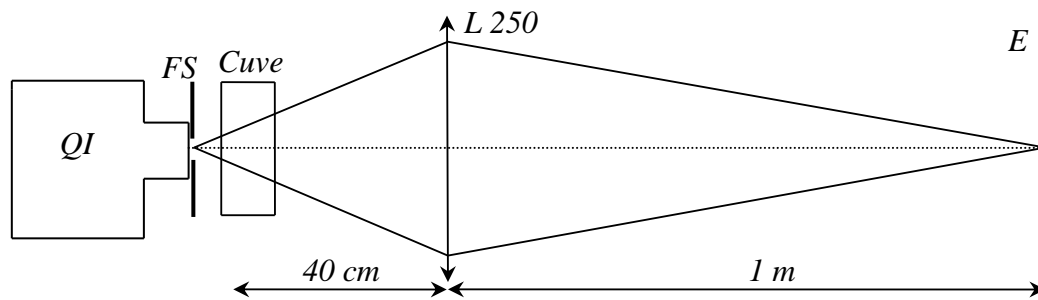
On étudie le spectre d'absorption d'un colorant en solution, le permanganate de potassium en concentration faible (cf. [2], p. 131).

II.1.1 Visualisation directe du spectre

Le spectre peut s'observer à l'aide d'un PVD. On ajoute très progressivement quelques cristaux de $KMnO_4$ dans une cuve pleine d'eau distillée en homogénéisant la solution. Si la concentration est assez faible, on observe 5 bandes d'absorption dans la zone centrale (région verte) du spectre visible. Quand on augmente la concentration, la structure en bandes disparaît. La substance absorbe dans le vert et un peu dans le bleu. Au bout d'une certaine concentration \approx seul le rouge est présent d'où la couleur de $KMnO_4$.

¹ Se reporter à [1], p. 12-13 pour plus de précision sur le comportement des verres.

² Le papier contient des azurants optiques qui renforcent sa « blancheur » en absorbant le proche UV et en le réémettant dans le visible (comme dans les lessives).



II.1.2 Utilisation d'un spectromètre fibré

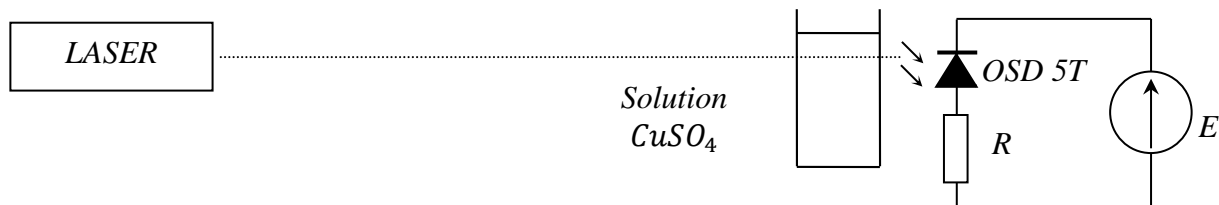
On peut faire une étude quantitative à l'aide d'un spectromètre fibré, type Spectrovio. La manipulation ne présente pas de difficulté particulière. On commence par faire un « noir » (enregistrement sans aucune lumière), puis un « blanc » avec une cuve pleine d'eau distillée éclairée par la source et on termine par un enregistrement avec la solution de permanganate. On combine les trois pour obtenir le spectre de $KMnO_4$ et on peut vérifier le résultat obtenu en consultant la référence [2], p. 131.

II.1.3 Loi de Beer-Lambert

Pour une substance absorbante, l'intensité lumineuse transmise I est de la forme $I = I_0 e^{-\alpha l c}$ où l est l'épaisseur de solution traversée, α un coefficient proportionnel à la section efficace d'absorption et c la concentration de la solution. Pour simplifier l'analyse des résultats on raisonne en termes de densité optique (grandeur adoptée par les spectroscopistes car additive) :

$$D = \ln \frac{I}{I_0} = \alpha \cdot l \cdot c$$

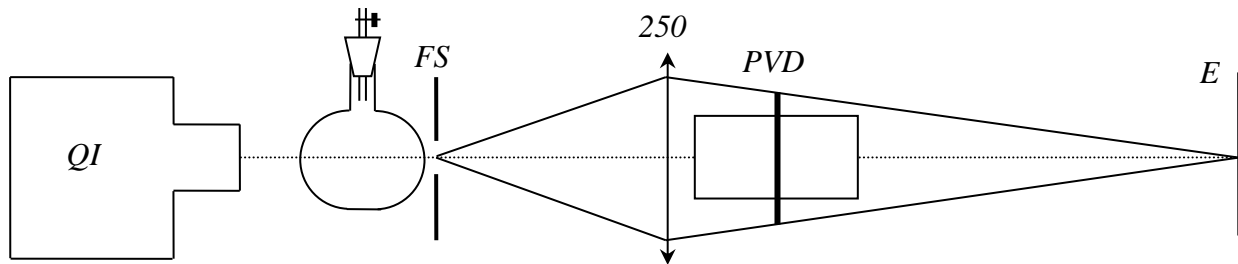
Manipulation :



On utilise ici du $CuSO_4$ car il absorbe dans le rouge donc on peut utiliser comme source un laser type He-Ne. La longueur d'onde à laquelle on travaille est alors bien définie et le signal est assez fort. On peut mettre en évidence l'influence de l'épaisseur traversée et/ou de la concentration. Il faut des solutions pas trop concentrées et bien homogènes et les faces des cuves doivent être parfaitement propres. On note la tension V_0 aux bornes de la résistance R avec une cuve pleine d'eau. On mesure ensuite V pour différentes concentrations dans des cuves de même longueur, et on calcule les densités par la relation $D = \ln (V/V_0)$ puisque V est proportionnel à I avec la photodiode polarisée en inverse. On vérifie alors que le rapport des densités correspond au rapport des concentrations (les écarts deviennent vite importants si on manipule mal). Pour l'influence de l'épaisseur, on peut associer plusieurs cuves en parallèles, mesurer V_0 avec une cuve remplie d'eau distillée puis deux cuves et refaire ensuite les mêmes mesures avec la solution de $CuSO_4$.

II.2 Absorption par un gaz

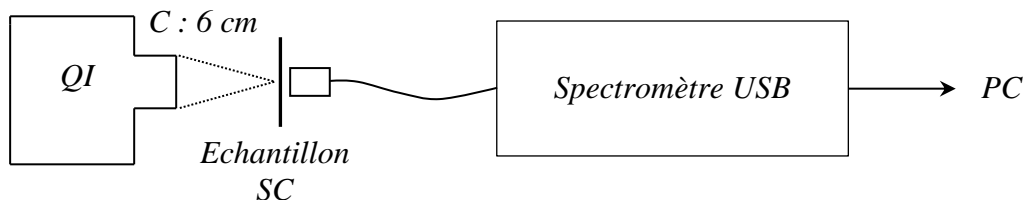
Suivant le matériel disponible, on peut montrer le spectre d'absorption de I_2 ou NO_2 .

Montage :

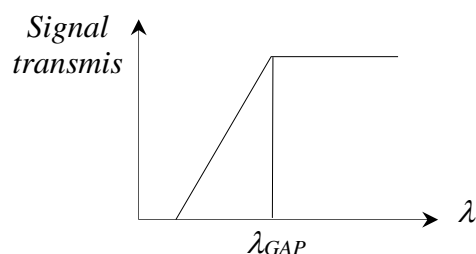
Pour I_2 , on chauffe du di-iodé solide dans un ballon avec un léger vide pour éviter son oxydation à l'air. On observe plusieurs bandes d'absorption grâce au PVD. Pour NO_2 , on place des morceaux de cuivre dans le ballon et on ajoute de l'acide nitrique via une ampoule à décanter (il faut une ampoule à retour pour éviter les surpressions). Des vapeurs rousses de NO_2 se forment et au fur et à mesure de leur apparition et le bleu puis le vert disparaissent.

II.3 Détermination optique du gap d'un semi-conducteur

Un semi conducteur est transparent lorsque les photons ont une énergie insuffisante pour exciter des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction et devient opaque lorsque les photons ont une énergie qui dépasse ce seuil. On propose ici de mesurer le Gap d'un semi-conducteur présentant une transition directe (se reporter au montage « Métaux Semi conducteurs » pour plus de précision sur le sujet). On dispose de deux échantillons de sélénure de zinc dopé au manganèse d'aspect « orange » déposés sous forme de mince pellicule sur plaque de verre. On peut déduire de cette couleur une estimation du gap de ces semi-conducteurs.

Montage :

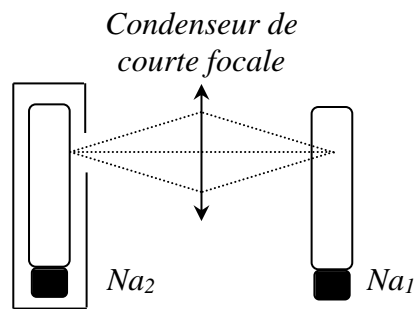
La manipulation ne pose pas de problèmes particuliers. On utilise la fibre optique fournie avec le spectromètre pour collecter la lumière et on observe le spectre avec et sans l'échantillon pour prendre en compte la réponse spectrale de la source et celle de l'appareil. On obtient alors la fonction de transmission de l'échantillon dont l'allure est schématiquement la suivante :

**III COMBINAISON ABSORPTION-EMISSION****III.1 Résonance optique du sodium**

On éclaire une vapeur de sodium avec une lampe à vapeur de sodium et on observe la diffusion résonante des atomes.

Montage :

[2], p. 132



La vapeur qu'on excite est celle d'une lampe sans son carter qu'on laisse allumer pendant 15 mn avant l'expérience (sinon le sodium est solide à température ambiante dans l'ampoule). On peut couvrir la lampe excitatrice Na_2 et le condenseur pour que les rayonnements incidents ne gênent pas l'observation. Si on coupe l'alimentation de la lampe Na_1 , elle apparaît encore légèrement lumineuse, comme s'il y avait une brume dans l'ampoule. C'est un phénomène de diffusion élastique. Il y a absorption par résonance de la lumière reçue par la lampe Na_2 et réémission isotrope. On peut vérifier qu'il n'y a pas ce phénomène si on éclaire la vapeur avec une autre lampe (Hg par exemple),.

Remarque :

Ce phénomène ne se produit pas avec deux lampes à vapeur de mercure car les raies dans le visible correspondent à des transitions entre états excités. Elles ne trouvent donc pas (ou très peu) d'atomes dans l'état inférieur pour induire une résonance alors que pour le sodium, l'état inférieur de la radiation principale est l'état fondamental fortement peuplé :

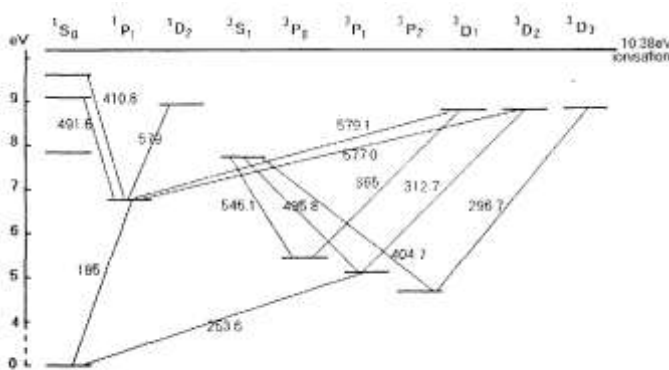


Schéma des états excités du Mercure

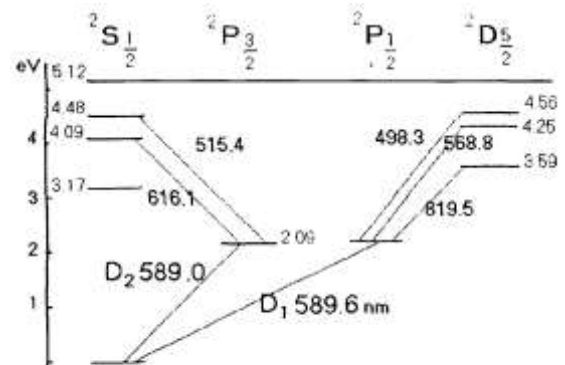


Schéma des états excités du Sodium

III.2 Réémission avec changement de longueur d'onde

On étudie ce phénomène de fluorescence avec de la fluorescéine (on peut aussi utiliser de la rhodamine ; cf. [1], p. 225 et [3], p. 259 et 263). Ce phénomène se distingue du précédent par la différence entre les longueurs d'ondes absorbées et celles qui sont réémises.

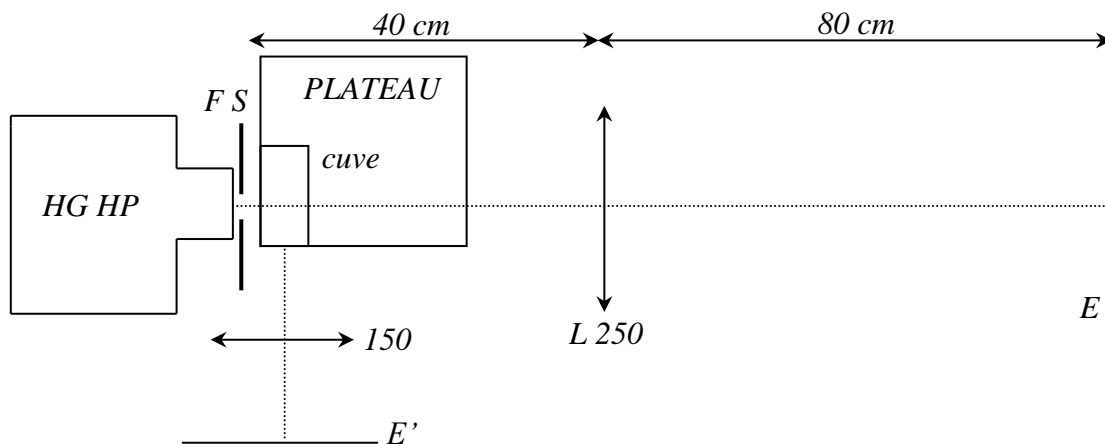
III.2.1 Mise en évidence du phénomène

La fluorescéine absorbe le bleu et réémet dans le vert. On peut le montrer en éclairant par une lampe blanche (QI) une solution de fluorescéine et en observant les différences entre la lumière transmise et la lumière diffusée avec un spectromètre USB. On peut aussi faire l'observation avec un filtre bleu, jaune et rouge et regarder les conséquences en notant que le photon excitateur doit avoir une énergie supérieure au photon réémis.

III.2.2 Spectre d'absorption, d'émission

Montage :

Le montage proposé permet l'observation simultanée du phénomène d'absorption (suivant l'axe optique) et de réémission (perpendiculaire à l'axe optique) :



Suivant le spectre que l'on veut observer, on place un PVD après l'une ou l'autre des lentilles. La source est une lampe à vapeur de mercure car la fluorescéine absorbe l'UV (et une QI n'en émet pas beaucoup). On prend une lampe pression car elle possède un spectre continu en plus du spectre de raies. La cuve doit être propre pour minimiser la lumière diffusée et on ajuste sa hauteur de façon à avoir la moitié du spectre direct avec fluorescéine, l'autre moitié sans. On place l'axe optique de transmission près du bord de la cuve pour avoir un maximum de lumière dans le spectre transverse.

Observations :

On observe le spectre direct avec la cuve remplie d'eau dans un premier temps, puis avec la fluorescéine. On en déduit le domaine spectral dans lequel la fluorescéine absorbe. On peut modifier la quantité de fluorescéine dissoute pour observer l'effet de la concentration. On regarde ensuite le spectre de réémission. Le phénomène étant peu lumineux, on a intérêt à recouvrir la partie directe du montage avec un drap noir. On en déduit le domaine spectral dans lequel la fluorescéine réémet.

Bibliographie :

- [1] : Sextant : Optique expérimentale
- [2] : Duffait : Expériences d'optique - Agrégation de physique
- [3] : Françon : Expériences d'optique physique