

TP 15 : Spectroscopie optique

Objectifs

- Utiliser un goniomètre (réglages, lecture du vernier).
- Utiliser un goniomètre muni d'un réseau pour mesurer des longueurs d'ondes.
- Mesurer des longueurs à l'aide d'un montage de type spectromètre nécessitant un étalonnage.

Liste du matériel à votre disposition

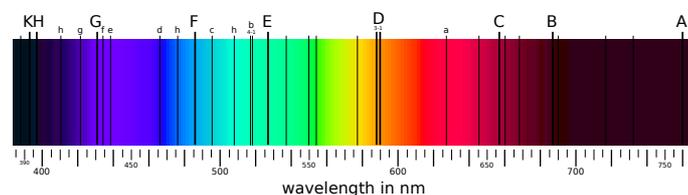
- Goniomètre.
- Lampes spectrales diverses.
- Réseaux.
- Lentille convergente.
- Écran avec papier millimétré.
- Règle, mètre.
- Fente (pour source).

I Introduction

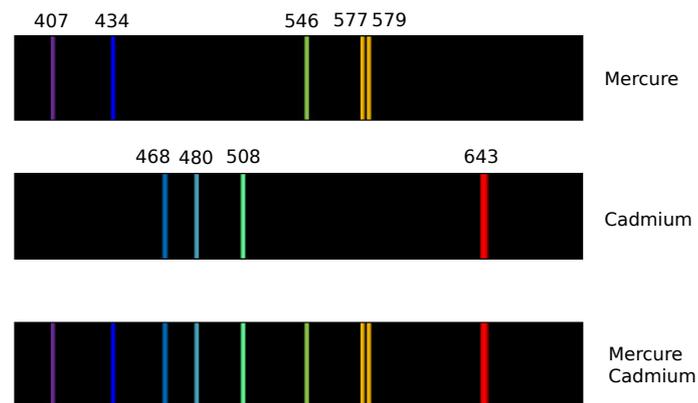
La spectroscopie (ou spectrométrie) optique est l'étude du spectre d'un rayonnement lumineux. Le premier spectre précis fut produit par Fraunhofer vers 1814 à l'aide du premier réseau de diffraction, qu'il mit au point lui-même pour l'occasion. La lumière analysée était celle du Soleil, qui contient des milliers de lignes d'absorption dû à l'absorption de son rayonnement par les gaz constituant la couronne solaire.

Un spectromètre (ou spectroscopie) est toujours constitué d'une fente source, d'un élément dispersif (un réseau), et d'un moyen d'observation ou de mesure (vernier d'un goniomètre, capteur CCD, mesure sur une feuille de papier...).

Nous allons voir deux exemples ici dans les parties II et III.



Spectre d'absorption de la lumière solaire. Seule quelques raies d'absorption sont représentées.



Exemples de spectres d'émission de lampes à vapeur.

II Mesure absolue de longueurs d'onde à l'aide d'un spectro-goniomètre

L'annexe décrit le fonctionnement et les réglages du goniomètre.

On utilise ici une lampe spectrale à vapeur de sodium (Na). Le sodium produit une raie jaune intense, qui est en réalité un doublet (deux raies) de longueurs d'onde 589.0 nm et 589.6 nm.

On souhaite mesurer cette longueur d'onde (ou les deux si on parvient à les distinguer) à l'aide d'un goniomètre équipé d'un réseau.

On utilise la méthode du minimum de déviation, qui est assez fiable car elle nécessite de mesurer des angles entre l'ordre 0 (qui est facilement repérable) et l'ordre p considéré (facilement repérable également). A contrario, une méthode qui consisterait à mesurer directement θ_p est moins précise car nécessite de repérer la normale au réseau, ce qui n'est pas évident.

Le minimum de déviation par un réseau a été étudié dans l'exercice IV du TD du chapitre 3. On s'y référera pour comprendre le protocole.

1.a – Réglage :

Régler le goniomètre en suivant les étapes indiquées dans l'annexe.

À l'issue de ces réglages, vous devez voir l'ordre 0, et les raies correspondant aux autres ordres.

1.b – Mesures :

Repérer une raie. Tourner le réseau : ceci déplace la raie. Trouver l'orientation du réseau pour laquelle la déviation de la raie est minimale (on la voit "faire demi-tour"). Ne plus toucher au réseau, et mesurer alors l'angle entre l'ordre 0 et la raie en question : cette angle correspond au minimum de la déviation.

Faites chacun cette mesure, et noter chacun la valeur de l'angle que vous trouvez : en comparant vos résultats ceci donne une idée de l'incertitude. Prenez la moyenne et noter l'écart entre les deux valeurs extrémales trouvées par les différents membres du groupe.

1.c – Exploitation :

Retrouver dans votre TD la formule qui relie le minimum de déviation, la longueur d'onde, et le pas du réseau. Le pas des réseaux utilisés correspond à $N = (160 \pm 5)$ traits par mm, soit $a = 6.2 \pm 0.3 \mu\text{m}$.

Déduire de votre mesure la valeur de λ .

La formule de propagation des incertitudes associée est

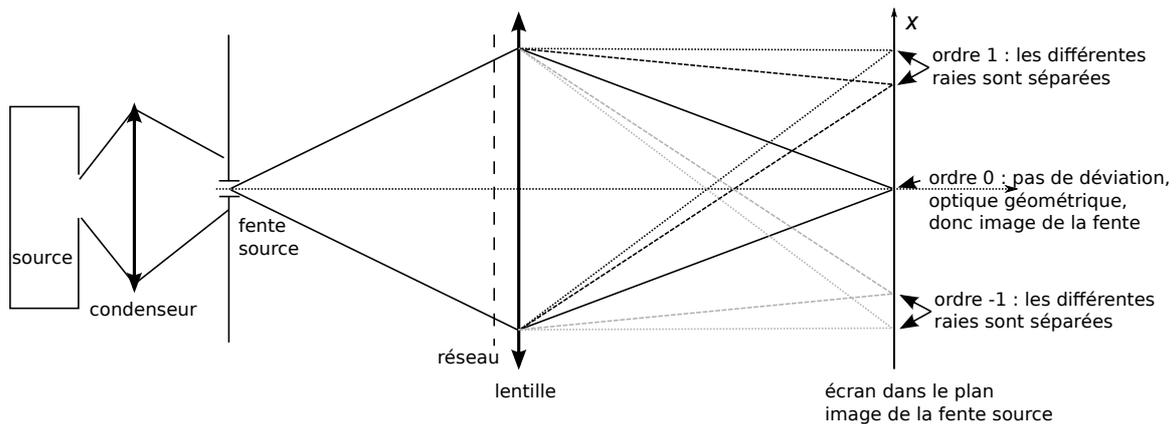
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta D_m}{2 \tan \frac{D_m}{2}} + \frac{\Delta a}{a},$$

avec a le pas du réseau.

Comparer avec la valeur tabulée.

III Mesure de longueurs d'onde avec un dispositif de type spectromètre nécessitant un étalonnage

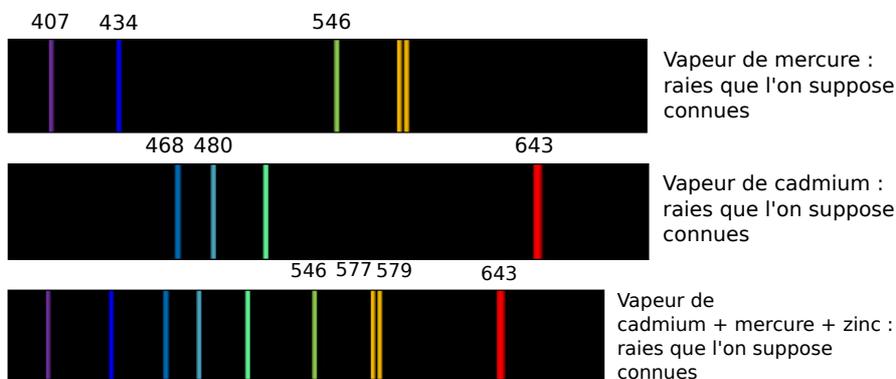
On utilise ici un montage qui permet de projeter le spectre d'une source. Le schéma est le suivant :



Dans la mesure où les angles sont petits, on peut montrer que la position $x(\lambda)$ sur l'écran d'une raie de longueur d'onde λ suit une loi affine, du type $\lambda = a \times x(\lambda) + b$.

Si on connaît la valeur d'au moins deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 , et qu'on mesure leurs positions x_1 et x_2 sur l'écran, on peut en déduire les coefficients a et b .

Chaque poste utilise une lampe de type différent. On donne les raies de références sur les figures ci-dessous.



2.a – Réglages :

Le réglage se fait d'abord sans le réseau.

Bouger la lentille de projection pour qu'elle fasse sur l'écran une image nette de la fente source.

Le condenseur doit éclairer le plus possible la fente source, afin que la figure sur l'écran soit la plus lumineuse possible.

Placer ensuite le réseau. On peut le tourner sur lui-même pour avoir un ordre 1 le plus net possible.

On peut ouvrir la fente pour avoir plus de lumière, mais pas trop car ceci élargi les raies et on perd en précision.

Obtenir sur l'écran un spectre raisonnable.

2.b – Mesures :

Reproduire vos observations sur votre compte rendu. On placera une feuille de papier sur l'écran d'observation, car ceci permet de voir plus de raies (dans le violet).

Relever sur la feuille la position des raies. Puis retirer la feuille.

D'une part, mesurer alors à la règle la position $x(\lambda)$ de chacune des raies.

D'autre part, en comparant aux spectres fournis dans l'énoncé, identifier chacune des raies (noter sa couleur, noter sa longueur d'onde si elle est donnée sur le spectre de l'énoncé).

2.c – Exploitation :

Comme expliqué plus haut, on a théoriquement une loi du type $\lambda = a \times x(\lambda) + b$.

Sur Régressi, tracer, pour les raies dont on suppose connue la longueur d'onde (donc celles indiquées sur la figure correspondant à votre lampe spectrale), λ en fonction de x .

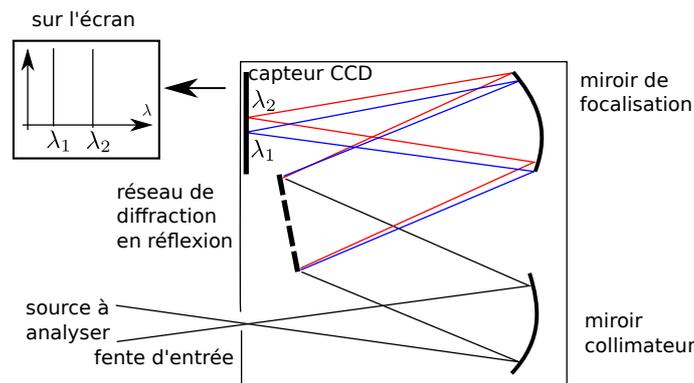
Faire une régression linéaire.

On obtient alors une droite. On peut déduire, par lecture graphique de cette droite, la longueur d'onde des raies inconnues connaissant leur position.

Le faire, et voir si ceci correspond aux valeurs attendues.

Remarque : Pour la lampe mercure-cadmium-zinc, on pourra vérifier si les raies inconnues appartiennent au mercure, ou cadmium, ou sinon au zinc.

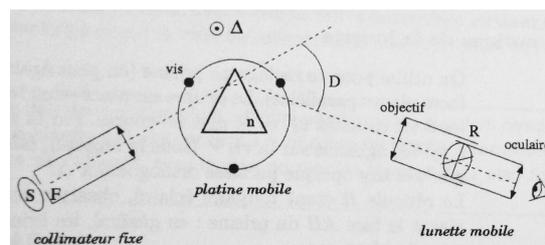
Remarque : Le montage utilisé ici mime le fonctionnement d'un spectroscopie commerciale, voir ci-dessous :



Principe d'un spectroscopie commerciale. On reconnaît, comme sur le montage effectué ici en TP : la fente source, le réseau qui disperse, et un moyen de mesurer la position des pics (capteur CCD à la place d'un écran). Un tel spectromètre a besoin d'être étalonné, tout comme nous l'avons fait pour notre écran.

IV Annexe : réglage du goniomètre

IV.1 Description



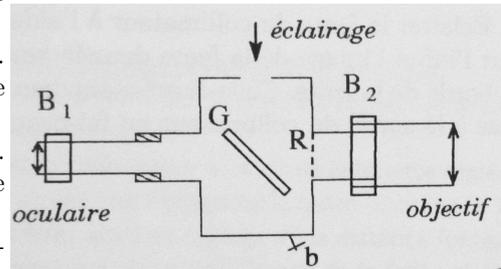
Un goniomètre est destiné à la mesure d'angles. Il se compose essentiellement :

- D'un collimateur qui, à partir de la source de lumière étudiée, est réglé pour produire un faisceau de lumière parallèle. Il est fixe. Côté source se trouve une fente qui laisse passer la lumière. Une molette permet de régler l'objectif, de sorte que le faisceau produit en sortie soit parallèle (voir réglages).

D'une lunette de visée à l'infini. Elle est mobile pour pouvoir analyser la lumière en fonction de l'angle. Elle doit être réglée pour que l'image de la fente se forme à la croisée du réticule. Elle se compose d'un objectif, d'un oculaire et d'un réticule. L'oculaire doit permettre à l'observateur de voir nettement le réticule, et donc de faire des pointés précis.

- L'ensemble oculaire-réticule est mobile par rapport à l'objectif. L'ensemble de la lunette peut aussi pivoter par rapport à un axe (Δ') orthogonal à (Δ).

Enfin, sur certains modèles on peut placer une lame semi-réfléchissante inclinée à 45° et allumer un éclairage interne, éléments utiles lors des réglages.



- D'une platine ou plateforme, qui peut tourner, et qui supporte l'élément dispersif (prisme ou réseau). Des vis permettent d'ajuster l'horizontalité de la platine (voir réglages).

On note (Δ) l'axe de rotation de la platine et de la lunette.

IV.2 Réglages

Réglage de la lunette

- **Réglage de l'oculaire** (voir la croix nette) : mettre la bague de réglage de l'oculaire dans une position éloignée, jusqu'à ce que le réticule (la croix) soit flou. (Attention toutefois à ne pas sortir l'oculaire!) Puis le réenfoncer jusqu'à voir à nouveau nette le réticule. L'oculaire en donne alors une image nette. Rq : ce réglage dépend de la vue de l'utilisateur.
- **Réglage de la lunette à l'infini** : régler la lunette pour qu'elle donne une image nette d'un objet à l'infini. On peut pour cela pointer un objet éloigné dans la salle (ou utiliser la méthode par autocollimation avec un miroir si on souhaite être plus protocolaire).

Réglage du collimateur

Éclairer la fente du collimateur à l'aide d'une lampe spectrale. Observer à travers la lunette (qui est réglée sur l'infini) l'image de la fente produite par le collimateur. Agir sur la molette du collimateur jusqu'à ce que cette image soit nette. Le collimateur produit alors une image de la fente qui est à l'infini (elle est dans le plan focale du collimateur). Tout point éclairé de la fente donne alors en sortie un faisceau de rayons parallèles.

Réglage de l'axe de la lunette et de l'axe de la platine

Il faut enfin faire en sorte que l'axe de la lunette soit orthogonal à celui de la platine quelle que soit la rotation effectuée. Ce réglage est normalement déjà effectué.

IV.3 Mesure d'angles avec le vernier

Le vernier comporte deux échelles : une graduée au demi degré près, qui va de 0° à 360° ; une seconde graduée de 0 minute à 30 minutes.

On repère la position A sur le vernier : la graduation précédente donne la valeur grossière au demi-degré près, à laquelle il faut ajouter la valeur lue au point B, en minutes. Le point B est celui où les graduations des deux échelles coïncident.

Par exemple ci-dessous on lit $\alpha_A = 2.5 = 2\ 30'$ (un degré = 60' (minutes)), et $\alpha_b = 19'$. L'angle affiché est donc $\alpha = 249'$, soit $2 + 49/60 = 2.82$.

