

# M10 Spectroscopie optique

I/Mise en évidence de la dispersion de la lumière par un prisme.

## 1) Approche qualitative

On commence par une expérience qualitative qui vise notamment à mettre en évidence deux types de spectres, l'un continu (spectre de la lampe quartz iode), l'autre discret (spectre de raies d'une lampe à vapeur de mercure). On pourra choisir ce moment là pour évoquer la découverte historique de la spectroscopie par Newton (observe la décomposition de la lumière blanche par un prisme).

Sur un banc d'optique se succèdent les éléments suivants : tout d'abord la lampe quartz iode dont on prendra soin de régler l'alignement, la lampe est munie d'un condenseur qu'il faut régler de façon à envoyer le plus de lumière sur l'élément optique qui suit : la fente. On place ensuite une lentille de façon à collimater le faisceau. La régler par autocollimation. Ainsi, on s'assure que les rayons qui arrivent sur le réseau (l'élément suivant du montage) seront bien parallèles et en incidence normale. Il ne nous reste plus qu'à projeter sur un écran placé au foyer d'une lentille convergente l'image de notre spectre. Ajuster les réglages avec la lampe blanche puis intervertir avec la lampe à vapeur de mercure (ne pas oublier de rajouter un condenseur qui n'est pas intégré sur la lampe !). La figure n'est pas très lumineuse contrairement à d'autres montages présentant le même spectre mais à l'intérêt d'être rigoureux (rayons arrivant en incidence normale sur le réseau).

Sur cette manipulation, on peut présenter, toujours de façon qualitative, l'influence de certains paramètres de la résolution de spectromètre. Tout d'abord, pour une largeur de fente donnée, on peut changer de réseau pour montrer l'influence du nombre de traits éclairés sur la résolution (une première approche naïve consiste à dire que la résolution de l'ordre 1 est égal au nombre de traits éclairés). Ensuite, pour un réseau donné, faire varier la largeur de la fente d'entrée. La figure obtenue correspondant en fait à l'image de la fente pour différentes longueurs d'onde, on conçoit aisément que plus la largeur de la fente est petite et plus les images de la fente (les différentes raies) seront de meilleure qualité et risqueront d'autant moins de se recouvrir ce qui est nécessaire si l'on veut résoudre des doublets. En fait, on peut dire que la résolution est proportionnelle au nombre de traits éclairés **de façon cohérente**. On peut alors réinterpréter le rôle de la fente d'entrée : elle a pour but d'élargir par diffraction le cône de cohérence. La résolution sera donc d'autant meilleure que la largeur de la fente est petite ce qui se paye évidemment en luminosité.

## 2) Mesure de la constante de Rydberg

Cette manipulation se fait au goniomètre. L'utilisation de ce dernier s'avère aisée si ce n'est le réglage de l'horizontalité du plateau qui lui s'avère fastidieux. Le mieux est de ne pas y toucher.

L'élément étudié sera l'hydrogène. On utilise pour cela une lampe hydrogène deutérium qui resservira dans une manipulation ultérieure. Le spectre de l'hydrogène se décompose en plusieurs ensembles de raies qui correspondent chacun à la désexcitation de l'hydrogène vers un niveau donné, toutes les raies faisant partie d'un ensemble donné correspondant aux différents nombres quantiques  $n$  supérieurs à celui définissant le groupe de raies étudié. Ainsi la série de Lyman correspond à la désexcitation des niveaux  $n=2,3,4,5,\dots$  vers le niveau  $n=1$ . Ces raies étant situées dans l'ultraviolet elles ne nous intéressent pas. En revanche, nous pouvons étudier la série de Balmer

correspondant à la désexcitation vers le niveau  $n=2$ . Les longueurs d'onde des raies appartenant à cette série vérifient la relation

$$\frac{1}{\lambda_n} = Ry \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Le goniomètre nous permet de remonter aux angles intervenant dans la relation des réseaux. Nous nous plaçons à incidence normale. Il est important de noter que de ce fait il convient de noter la valeur affichée par le goniomètre à l'ordre zéro et de retrancher cette valeur à tous les angles mesurés. On obtient alors, via la formule des réseaux la valeur des différentes longueurs d'onde :

$$\lambda_n = a * \sin(\theta_n - \theta_0) \qquad \Delta\lambda_n = a * \cos(\theta_n - \theta_0) * \Delta\theta$$

où  $\theta_0$  est l'angle à retrancher égal dans notre cas à  $90^\circ$ .

Nous sommes alors en mesure de tracer la quantité  $1/\lambda$  en fonction de  $1/n^2$ . On obtient une droite dont la pente, négative, nous donne la valeur de la constante de Rydberg et son incertitude si l'on a configuré Igor pour qu'il tienne compte des incertitudes sur lambda.

Cette manipulation est également faisable à l'aide d'un spectromètre à fibre. Voir pour cela le montage de Thomas Meideck et Félix Lelièvre. Cela présente l'avantage de donner une mesure plus précise que celle obtenue avec le goniomètre.

## II/Spectrométrie par transformée de Fourier

Cette manipulation est assez difficile et nous a tout d'abord été déconseillée par Jean Cviklinski. D'ailleurs elle n'a pas marché tout de suite en montage. Elle nécessite en fait de bien la connaître et ne saurait être improvisée le jour J. Ceci étant dit, il s'agit là d'une belle manipulation qui bien menée sera susceptible d'éblouir le jury. Voici son principe. Le but est de remonter au spectre du sodium avec une résolution suffisante pour résoudre le doublet. La manipulation consiste à faire chariotier l'un des miroirs du Michelson et de mesurer à l'aide d'une photodiode l'évolution de l'intensité en un point donné de la figure d'interférence. Ceci nécessite donc une photodiode de petite ouverture. On peut alors observer à l'oscilloscope l'évolution de l'intensité en fonction de la différence de marche. L'utilisation de la macro d'acquisition d'Igor permet de récupérer les données de l'oscilloscope (attention se mettre en mode normal et utiliser toute la profondeur mémoire de l'oscilloscope en cochant la case MAX sur la macro d'acquisition) puis de les traiter et notamment de tracer le spectre correspondant. Cependant, on s'aperçoit alors que l'on obtient un spectre de piètre qualité incapable de résoudre le doublet du sodium. La raison provient du fait que le chariotage du moteur est inégal et entraîne un biais dans la mesure. Pour s'en affranchir, nous allons utiliser un laser de référence ainsi qu'une autre macro d'Igor. Le laser de référence, dont le spectre est connu va nous servir à « désaccordonner » la patate qui tenait jusqu'à présent lieu de spectre. Le fonctionnement interne de la macro est assez complexe et revient en partie à modifier les données de telle sorte à retrouver une sinusoïde parfaite pour la figure d'interférence due au laser. Pour le montage, il faut rajouter l'He-Ne. On introduit son faisceau dans le Michelson à l'aide d'une lame séparatrice orientée à  $45^\circ$  du laser et de la lampe à vapeur de sodium. En sortie du Michelson une seconde lame séparatrice permet de séparer le faisceau laser de celui de la lampe spectrale. Une telle précaution est

nécessaire afin que les deux photodiodes présentes dans le montage repèrent respectivement l'évolution de la figure d'interférence due au laser et à la lampe séparément. Il faut faire l'acquisition sur un temps suffisamment long (10 minutes) la résolution étant proportionnelle aux nombres de franges qui auront défilé. A ce propos, on utilise un compteur de franges (à placer de préférence sur la fig d'interférence du laser mais dans notre cas, les contraintes matérielles nous ont forcés à le placer sur la fig d'interférence due au sodium) pour calculer la résolution  $\Delta\lambda = \lambda_0 / N$ .

En ce qui concerne la forme de la figure d'interférence visible à l'oscilloscope, celle-ci est expliquée dans le Sextant. En fait, on a deux raies présentant chacune une certaine largeur spectrale naturelle. De ce fait, la figure d'interférence (une sinusoïde pour une lumière purement monochromatique) est modulée une première fois par un cosinus (du à la présence de deux raies, d'ailleurs, le repérage de la périodicité à laquelle le contraste s'annule permet de remonter à l'écart entre les raies et ce même en observant directement la figure de diffraction à l'œil sans oscilloscope) lui-même modulé par une gaussienne due à la largeur des raies. On a donc une perte de contraste au bout d'une certaine distance chariotée qui permet en outre de remonter à la longueur de cohérence temporelle de la source.

### III/Distinguer Hydrogène et Deutérium, mesure de la séparation isotopique H/D

Autre manipulation quelque peu délicate. Il importe de savoir régler correctement un Fabry-Pérot !! Plus pénible qu'un simple Michelson selon moi bien que le principe de réglage soit rigoureusement le même. Le réglage de l'interféromètre se fait avec une lampe à vapeur de sodium. On la remplace ensuite par une lampe à hydrogène. On ajoute après la lampe un filtre interférentiel pour n'avoir qu'une seule raie (en gros, il y a une bande passante) ainsi qu'un dépoli. On observe deux systèmes de raies, l'un du à l'hydrogène, l'autre au deutérium (beaucoup moins lumineux). A visualiser à l'aide de la camera U-Eye. On peut remonter à la séparation isotopique, i.e. à la séparation des longueurs d'onde d'émission de H et de D, en calculant la différence de chemin optique nécessaire pour obtenir deux antioïncidences des deux systèmes de raies (recouvrement des deux systèmes de raies). Cela demande de beaucoup charioter.

Une autre expérience envisageable est l'effet Zeeman qui permet de visualiser la structure fine du cadmium (Utilisation d'un filtre interférentiel adapté) en présence d'un champ magnétique. En pratique on place la lampe à vapeur de cadmium dans l'entrefer d'un électroaimant alimenté par un alternateur. En présence d'un champ magnétique on a l'apparition de deux systèmes de raies supplémentaires. On peut remonter au magnéton de Bohr ce qui constitue une mesure spectroscopique intéressante. Néanmoins, on ne peut plus utiliser la méthode des antioïncidences qui nécessiterait un chariotage beaucoup trop important.

### Commentaires :

Selon le correcteur, Lionel Jacobowicz, les manipulations sont assez compliquées et on peut faire quelque chose de plus simple. On peut présenter le prisme à vision direct et il faut parler plus de résolution et étudier la limite due à la diffraction (largeur fente d'entrée). La manip de spectro par TF est assez compliquée cependant le correcteur a apprécié que l'on puisse remonter au doublet jaune du sodium ainsi qu'à un autre doublet situé vers l'infrarouge et dont les valeurs en longueur d'onde concordent avec celles tabulées dans le handbook. A noter que normalement, on utilise les spectro par TF dans l'infrarouge où la résolution est alors bien meilleure (on garde le He-Ne comme référence).