

# MP10 - SPECTROMÉTRIE OPTIQUE

4 juin 2021

Deleuze Julie & Jocteur Tristan

## Niveau : Classes préparatoires

### Bibliographie

- ♣ *Fascicule de TP Electromagnétisme, Partie Matériaux,*  
**Quelqu'un-e**
- ♣ *Fascicule de TP Optique, Partie Photorécepteurs,*  
**Quelqu'un-e**

### Table des matières

<b>1</b>	<b>Spectromètre à réseau</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Spectromètre commercial</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Spectromètre interférentiel : interféromètre de Michelson</b>	<b>5</b>

## Remarques sur les montages précédents

- **2014, 2015, 2016** : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. Dans le cas où un candidat souhaite utiliser un spectromètre qu'il a réalisé lui-même, il est rappelé que la mesure des angles au goniomètre est bien plus précise que le simple pointé avec une règle sur un écran ; en outre, s'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

Bon ya plusieurs possibilité mais je pense que c'est bien de faire le réseau parce que c'est la base des spectro commerciaux, on aurait pu faire le Fabry-Perot mais on aurait pas parlé de spectrométrie par diffraction (c'est des interférences comme le Michelson).

## Introduction

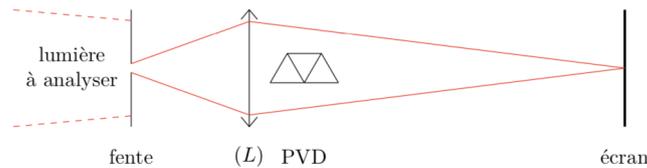


### Expérience qualitative : comparaison du spectre d'une QI et d'une lampe spectrale



#### 1.2.2 Protocole de base

Présentons maintenant le protocole pour obtenir un spectre, que vous pouvez retrouver par exemple dans le Sextant [1, p. 217]. Un schéma du montage réalisé est représenté figure 3.



**Figure 3 – Dispositif de projection d'un spectre par un prisme à vision directe.** Une fente est introduite dans le faisceau lumineux à analyser, et son image est réalisée sur un écran. Un prisme à vision directe est intercalé entre la lentille de projection et l'écran, aussi loin que possible de l'écran.

- ✂ Placer une fente à l'endroit du montage où se trouve la lumière à analyser. En former l'image sur l'écran avec un achromat.

*Pour obtenir un spectre le plus lumineux possible, il peut être intéressant de condenser la lumière sur la fente.*

*La lumière issue de chaque point de la source est dispersée sur l'écran autour de l'image du point en question. La largeur de la fente source contrôle donc simultanément la luminosité de l'image et la résolution du spectromètre : il s'agit d'un effet géométrique.*

*Dans le cadre d'une expérience qualitative, la largeur de la fente n'est pas un paramètre critique, mais l'absence de fente conduit à un spectre de très mauvaise qualité.*

- ✂ Intercaler le prisme à vision directe juste après la lentille, puis ajuster son orientation pour optimiser la qualité de l'image.

*Le **prisme à vision directe** est placé après la lentille pour éviter qu'elle ne mélange à nouveau les couleurs. En outre, le prisme fait correspondre un angle d'émergence à chaque longueur d'onde. Il faut donc placer le **prisme à vision directe** aussi loin que possible de l'écran pour que le spectre soit aussi étendu que possible.*

Une étude détaillée de l'influence de la largeur de la fente source et de la largeur éclairée du dispositif est proposée par Sextant [1, p. 218]. Le protocole étant bien détaillé, il n'est pas reproduit ici, mais vous êtes invités à monter l'expérience à partir du livre.

## 1 Spectromètre à réseau



## Étalonnage

↗ Sextant p221, Sanz PC chap 5



Pour le réglage du gonio [http://web.cortial.net/gonio/reg\\_gonio.html](http://web.cortial.net/gonio/reg_gonio.html)

- Plus le nombre de trait par millimètre augmente, plus le spectre est résolu et les raies distinguables, mais plus la distance entre les raies de l'ordre 1 et la raie de l'ordre 0 augmente. Ceci est embêtant expérimentalement car au bout d'un certain nombre de trait, on ne peut plus faire apparaître l'ordre 0 et l'ordre 1 sur le même écran.
- Pour observer plusieurs ordres, afin d'avoir également une meilleure résolution, on ne doit pas prendre un réseau trop grand. On doit faire un compromis entre ces différents paramètres

Quand on fait varier l'angle d'incidence  $\alpha$  (on tourne le plateau support du réseau), en suivant les raies à travers la lunette, on observe qu'elles se déplacent dans un sens puis rebroussement chemin : l'angle de déviation passe par un minimum  $D_m$ . Exprimons cet angle :

En différentiant la loi des réseaux, on obtient  $(1 + dD/d\alpha) \cos(D + \alpha) - \cos \alpha = 0$ . À l'extremum  $dD/d\alpha = 0$  ce qui implique  $\cos(D_m + \alpha) = \cos \alpha$  c'est à dire (en excluant  $D = 0$  qui correspond à l'ordre 0)

$$D_m = -2\alpha$$

On en déduit, en reprenant la loi des réseaux,

$$2 \sin \frac{D_m}{2} = p\lambda/a$$

La mesure de l'angle de déviation minimale permet ainsi de retrouver soit une longueur d'onde, soit la densité de trait d'un réseau. Cette mesure s'affranchit du placement en incidence nulle du réseau, source d'imprécision.

Soit un réseau de pas  $l$  éclairé sur une largeur  $L$  par un faisceau parallèle en incidence normale (fig. V.1)<sup>7</sup>. La lumière est diffractée dans certaines directions particulières (ou ordres)  $\theta_k$  définies par :

$$\sin \theta_k = k \lambda / l \quad (\text{V.1})$$

où  $k$  est un entier et  $\lambda$  une longueur d'onde donnée.

Les entiers  $k$  repèrent les différents ordres : pour  $k = 0$ , il n'y a pas dispersion, on observe l'image de la fente d'entrée. De part et d'autre, le spectre se répète plusieurs fois. Dans chaque ordre, le pouvoir de résolution théorique dû à la diffraction vaut  $R = N k$ , où  $N = L/l$  est le nombre de traits éclairés du réseau<sup>8</sup>. Il est limité par la diffraction par la largeur totale éclairée du réseau  $L$  (cf. l'expérience décrite § V.1.2.3).

Entre deux ordres successifs, il peut y avoir recouvrement des spectres. Pour caractériser le spectroscopie, il est donc nécessaire de déterminer son intervalle spectral libre, i. e. la largeur maximum du spectre pour qu'il n'y ait pas recouvrement entre les spectres obtenus aux ordres successifs. Comme dans le cas du prisme, on peut, en pratique, n'utiliser qu'une seule lentille (cf. § V.1.1 & fig. V.2).

### V.1.3.3 ÉTALONNAGE DU SPECTROSCOPE

Pour un réseau donné, il est possible de vérifier la relation entre l'angle de dispersion  $\theta$  et la longueur d'onde  $\lambda$  (V.1). Utiliser pour cela une lampe spectrale à plusieurs éléments qui fournit un grand nombre de raies tabulées ; à défaut, utiliser une lampe à vapeur de mercure. Le plus simple est de travailler en incidence normale. Mesurer sur l'écran la distance  $x(\lambda)$  des raies par rapport à l'ordre 0.

### Mesure de la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium

☞ ☹  
On trace la droite d'étalonnage et on mesure la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium grâce à cette droite.

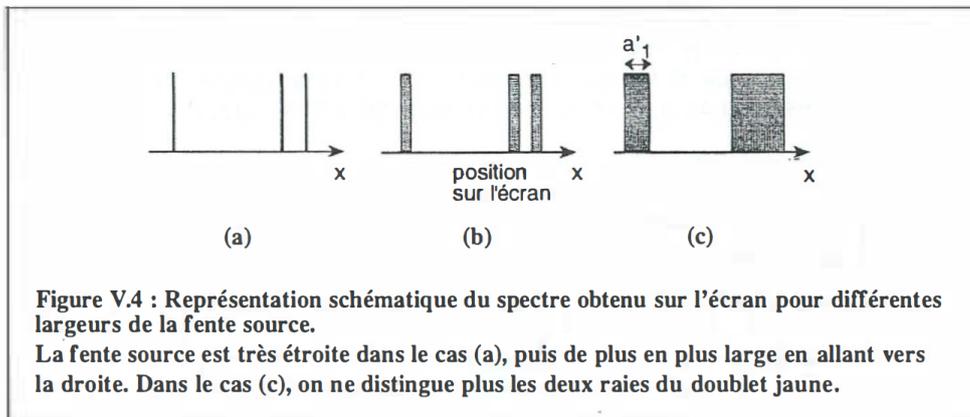
### Mesure de la résolution du spectromètre à réseau

☞ Sextant p 218-219 ☹

#### V.12.2 INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA FENTE SOURCE

La fente source utilisée  $F_1$  doit être réglable en largeur et utilisée d'abord en position "étroite". En augmentant la largeur  $a_1$  de cette fente source, on voit les raies devenir de plus en plus larges. Observer en particulier le comportement du doublet jaune et vérifier que les deux raies se confondent lorsque l'image géométrique de la fente source est de largeur supérieure à l'écart du doublet sur l'écran (fig. V.4).

Lire la largeur  $a_1$  de la fente source, si celle-ci est étalonnée. Calculer sa largeur angulaire  $\alpha = a_1/d$ . Si la fente n'est pas étalonnée, on travaille dans l'espace image : mesurer la taille  $a'_1$  d'une des images de la fente sur l'écran (fig. V.4.c). En déduire  $\alpha = a'_1/D$ .



Pour chaque valeur de la largeur  $a_1$  de la fente source, le pouvoir de résolution peut se calculer directement à partir des caractéristiques de l'instrument, en faisant abstraction de la source utilisée. On note  $\alpha$  la largeur angulaire de la fente  $F_1$  (fig. V.3).

Il n'est pas possible de séparer des longueurs d'onde pour lesquelles  $d\theta$  est inférieur à  $\alpha$  ; le plus petit intervalle spectral résolu vaut donc<sup>6</sup>  $\Delta\lambda = \alpha (d\lambda/d\theta)$ . Lorsque c'est la largeur finie de la fente d'entrée qui limite la résolution de l'instrument, le pouvoir de résolution est proportionnel à la dispersion angulaire de l'élément dispersif et inversement proportionnel à la largeur angulaire de la fente d'entrée :

$$R = (\lambda/\alpha) (d\theta/d\lambda)$$

Dans le cas où le doublet jaune est juste résolu, on obtient par exemple :  $a'_1 = 2$  mm pour  $D = 2$  m, soit  $\alpha = 10^{-3}$  rad. En utilisant la valeur de la dispersion angulaire évaluée au paragraphe précédent,  $d\theta/d\lambda = 5.10^{-4}$  rad.nm<sup>-1</sup>, on trouve  $R \approx 300$ . Cette valeur correspond précisément au rapport  $\lambda_{\text{moyen}}/\Delta\lambda_{\text{doublet}}$ .

## 2 Spectromètre commercial



### mesure de la biréfringence d'une lame par la méthode des spectres cannelés

↗ Fruchard p 237-244



On règle tout en yolo et ça marche bien avec SpidHR. lame de quartz parallèle 1mm P7.67

## 3 Spectromètre interférentiel : interféromètre de Michelson



### Mesure du doublet du sodium

↗ Sextant p239, Duffait p76 ou poly TP optique



#### 2.2 Écart en longueur d'onde du doublet du sodium

La couleur jaune des lampes à vapeur de sodium est due à un doublet de longueurs d'onde  $\lambda_1 = 589.0$  nm et  $\lambda_2 = 589.6$  nm. La longueur d'onde moyenne du doublet peut être déterminée avec précision par exemple à l'aide d'un réseau, mais ce n'est pas le cas de l'écart en longueur d'onde, qui nécessite une mesure interférométrique. L'expérience est très classique et présentée dans presque tous les livres traitant d'interférences. Vous la trouverez par exemple dans celui de Sextant [1, p. 239] ou de Duffait [10, p. 76].

- ⌘ Éclairer l'interféromètre par une lampe à vapeur de sodium et le régler en configuration lame d'air.
- ⌘ Translater le miroir mobile de l'interféromètre pour s'éloigner du contact optique. On observe une succession de coïncidences et d'anticoïncidences. Pour avoir la meilleure précision possible, il faut observer le plus grand nombre d'anticoïncidences possible, et donc translater le miroir mobile suffisamment.
- ⌘ Revenir ensuite vers le contact optique, et relever la position  $x_p$  du miroir mobile par lecture du vernier à chaque anticoïncidence  $p$ .
  - ▮ *Les anticoïncidences sont plus faciles à repérer que les coïncidences, pourquoi ?*
- ⌘ En traçant  $x_p$  en fonction de  $p$  et en connaissant la longueur d'onde moyenne  $\lambda_0$  du doublet, déterminer l'écart entre les longueurs d'onde  $\Delta\lambda$  en utilisant la relation suivante (que vous êtes invités à démontrer).

$$x_p = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta\lambda} p + C^{\text{te}}. \quad (1)$$

- ⌘ Comparer à la valeur tabulée. Quelle est l'incertitude sur cette mesure ? Discuter de la précision du résultat.

Lorsque l'interféromètre est très loin du contact optique, le contraste des coïncidences diminue drastiquement. Pourquoi ?