

## TP 2 : Spectrographe

### 1. Introduction

L'objectif est de réaliser un spectrographe, c'est-à-dire un appareil permettant d'enregistrer le spectre d'une lumière et de déterminer les longueurs d'onde des raies d'émission ou d'absorption. On dispose du matériel suivant :

- ▷ Banc d'optique.
- ▷ Lampes Hg, Na et Hg-Cd.
- ▷ Réseau 100 traits/mm avec plateau et masque.
- ▷ Fente réglable.
- ▷ Une lentille de focale 200 mm et une lentille de focale 300 mm.
- ▷ Lunette de visée.
- ▷ Barette CCD.
- ▷ Tube en carton avec pince de maintien.
- ▷ 5 cavaliers simples et un cavalier avec translation horizontale.

### 2. Schéma du spectrographe et pouvoir résolvant

Le spectrographe comporte :

- ▷ Un collimateur, constitué d'une fente et d'une lentille convergente de focale  $f'_1 = 200$  mm.
- ▷ Un réseau de fentes de 100 traits/mm.
- ▷ Une barette CCD comportant 3648 photodiodes espacées de 8 micromètres.
- ▷ Une lentille convergente de focale  $f'_2 = 300$  mm pour former l'image de la fente sur le capteur, que l'on nommera *lentille de projection*.

Le nombre de traits par millimètre du réseau et la valeur de  $f'_2$  permettent d'obtenir simultanément l'ordre 0 et le spectre d'ordre 1 sur la barette CCD. En conséquence, l'axe optique du capteur et de la lentille associée est théoriquement confondu avec l'axe optique du collimateur. On rappelle la relation donnant l'angle d'interférence constructive d'ordre  $p$  pour une longueur d'onde donnée :

$$\sin \alpha_p - \sin i = p \frac{\lambda}{a} \quad (1)$$

Si  $N$  désigne le nombre de traits du réseau effectivement éclairés et si la fente du collimateur est infiniment fine, la largeur d'une raie est définie par :

$$\delta p = \frac{2}{N} \quad (2)$$

On supposera que le réseau est éclairé en incidence normale ( $i = 0$ ) et on s'intéresse au spectre d'ordre 1.

[1]  Faire un schéma du dispositif. Préciser sur ce schéma les distances importantes à respecter.

[2]  Pour une longueur d'onde de 500 nm, calculer l'angle  $\alpha_1$  puis la distance sur le capteur entre la raie d'ordre 1 et l'ordre 0.

[3]  Montrer que, si la fente est infiniment fine, la largeur d'une raie sur le capteur est :

$$\delta x \approx \frac{2\lambda}{Na} f'_2 \quad (3)$$

[4]  Si le réseau est éclairé sur toute sa largeur, quelle est la valeur de  $\delta x$ ? Comparer à la taille des photodiodes et conclure.

[5]  Montrer que la distance sur le capteur entre deux raies proches dont les longueurs d'onde sont espacées de  $\Delta\lambda$  est :

$$\Delta x \approx \frac{\Delta\lambda}{a} f'_2 \quad (4)$$

[6]  On suppose que deux raies proches peuvent être discernées si  $\Delta x > \frac{\delta x}{2}$ . En déduire le pouvoir résolvant du spectrographe, c'est-à-dire la valeur de  $\Delta\lambda$  minimale pouvant être détectée. Faire l'application numérique pour une longueur d'onde de 500 nm et si toute la largeur du réseau est éclairée.

Ce pouvoir résolvant théorique ne peut être réalisé que si la fente du collimateur est assez fine.

[7]  Si  $b$  désigne la largeur de la fente, quelle est la largeur de son image sur le capteur? Quelle est la valeur maximale de  $b$  pour que son image sur le capteur ait une largeur inférieure à  $\delta x$ ? Conclure.

### 3. Réalisation du spectrographe et étalonnage

[8] Mettre en place la lampe Hg, la fente et la lentille du collimateur. Régler la lunette à l'infini en visant un objet très éloigné (aller dans le couloir et viser au loin par la fenêtre). Mettre en place la lunette puis régler le collimateur.

[9] Mettre en place le réseau, éclairé en incidence normale. Observer le spectre avec la lunette. Réduire la largeur de la fente.

[10] Mettre en place la lentille de projection, le tube et la barette CCD. L'extrémité du tube doit venir au contact du boîtier de la barette afin d'éliminer l'arrivée de lumière ambiante sur le capteur.

[11] Brancher le câble USB de la barette CCD sur le PC. Celle-ci apparaît comme un lecteur de CD dans lequel se trouve le logiciel (`W/AS/EsaoStudio.exe`). Le temps d'intégration doit être choisi afin d'obtenir une courbe complète d'intensité en fonction de  $x$  avec une grande valeur maximale mais sans saturation. Le capteur doit être sur le plan focal image de la lentille. Pour obtenir cette position, on déplace le capteur jusqu'à obtenir des raies très fines, la fente du collimateur étant la plus fine possible.

Une fois le réglage effectué, on appuie sur PAUSE pour figer la courbe puis on bascule sur l'onglet Tableau (en bas) pour accéder au tableau des valeurs. Sélectionner les deux colonnes puis choisir le format scientifique. L'exportation au format TXT se fait par `Fichier->Enregistrer sous` puis en sélectionnant le type `Fichier texte`. Ouvrir le fichier généré avec Notepad++ puis remplacer les virgules par des points et supprimer le dernier caractère en fin de fichier.

[12] Exporter le spectre du mercure.

[13] Sans rien modifier dans le montage, mettre en place la lampe Na. On modifiera éventuellement le temps d'intégration. Exporter le spectre.

Le script suivant (à exécuter depuis IDLE) permet de tracer les deux spectres

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

[x1, I1] = np.loadtxt("spectre-Hg.txt", unpack=True, skiprows=2)
[x2, I2] = np.loadtxt("spectre-Na.txt", unpack=True, skiprows=2)
plt.figure()
plt.plot(x1, I1, label="Hg")
plt.plot(x2, I2, label="Na")
plt.xlabel("x (mm)")
plt.ylabel("I")
plt.legend(loc="upper right")
plt.show()
```

L'étalonnage du spectrographe consiste à déterminer la relation entre la longueur d'onde et l'abscisse  $x$  sur le capteur. Les raies émises par le mercure sont souvent utilisées pour l'étalonnage des spectrographes.

[14]  Repérer sur le spectre du mercure les raies de longueurs d'onde 407,7 nm, 435,8 nm, 546,1 nm, 577,0 nm et 579,1 nm et relever leur abscisse. Tracer, sous forme de points, la longueur d'onde en fonction de la position (en mm) pour ces raies. Au moyen de la fonction `polyfit`, déterminer la relation affine  $\lambda = ax + b$  et tracer la droite avec les points. Conclure.

[15]  Relever la position de la raie jaune du sodium et en déduire sa longueur d'onde.

[16]  Le spectre permet-il de discerner les deux raies jaunes du sodium (589,0 nm et 589,6 nm)? Évaluer le pouvoir résolvant et commenter.

[17] Mettre en place la lampe Hg-Cd et obtenir son spectre. Relever les longueurs d'onde des raies du cadmium. Comparer aux valeurs de référence suivantes : 467,8 nm, 480,0 nm, 508,6 nm et 643,8 nm.