

# TP 15 : Spectroscopie optique – Mesure relative de longueurs d'onde avec un dispositif de type spectromètre

## Objectifs

- Mesurer des longueurs d'onde à l'aide d'un montage de type spectromètre nécessitant un étalonnage.

## Liste du matériel à votre disposition

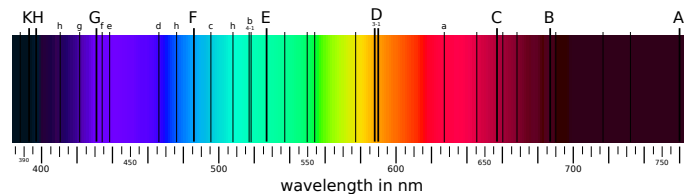
- Lampes spectrales au mercure (Hg) et au sodium (Na), éventuellement cadmium et HgCdZn.
- Lampe halogène.
- Filtre interférentiel.
- Réseau 300 trait par mm.
- Caméra CCD Caliens.
- Lentille convergente 100 ou 200 mm.
- Écran.
- Condenseur.
- Fente (pour source).

## I Introduction

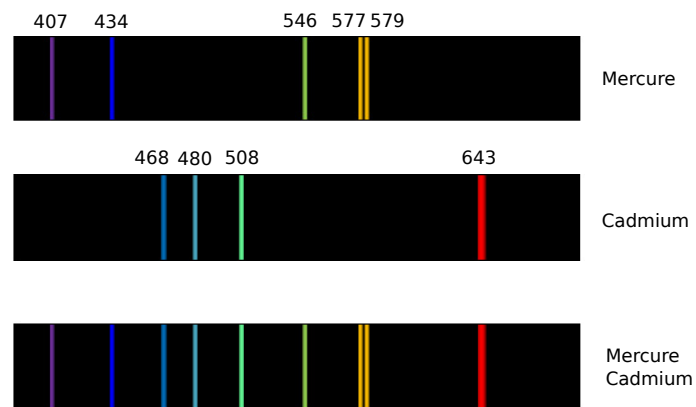
La spectroscopie (ou spectrométrie) optique est l'étude du spectre d'un rayonnement lumineux. Le premier spectre précis fut produit par Fraunhofer vers 1814 à l'aide du premier réseau de diffraction, qu'il mit au point lui-même pour l'occasion. La lumière analysée était celle du Soleil, qui contient 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 étudions dans les TP 15 et 16 deux exemples de spectromètres : le spectromètre utilisant un goniomètre (TP 16), et celui utilisant la projection du spectre sur un capteur CCD (TP 15).



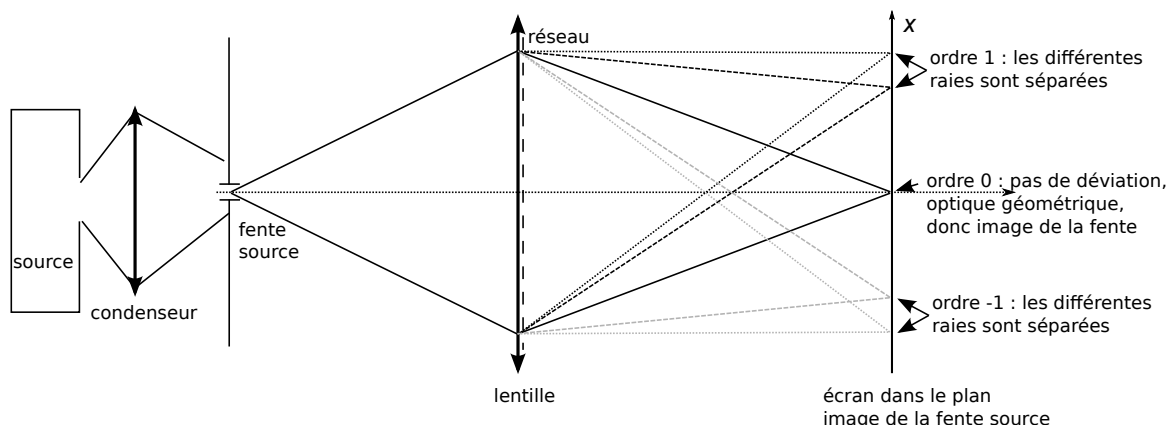
Spectre d'absorption de la lumière solaire. Seule quelques raies d'absorption sont représentées.



Exemples de spectres d'émission de lampes à vapeur.

## II Principe et mise en place du montage

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

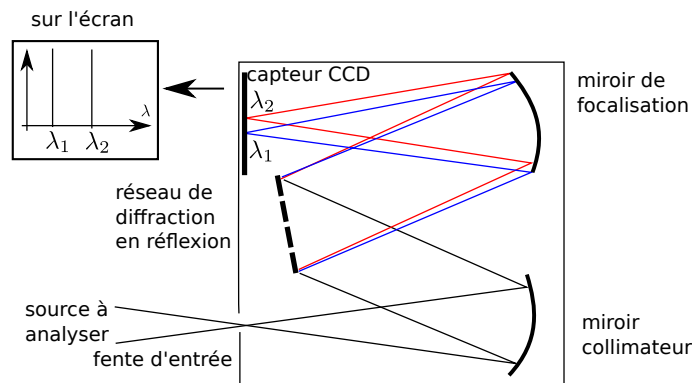


Dans la mesure où les angles sont petits, on peut montrer que la position  $x_\lambda$  sur l'écran d'une raie de longueur d'onde  $\lambda$  suit une loi affine, du type  $x_\lambda = a'\lambda + b'$ , soit encore écrit dans l'autre sens :  $\lambda = a \times x_\lambda + b$ .

Si on connaît la valeur d'au moins deux longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , et qu'on mesure leurs positions  $x_1$  et  $x_2$  sur l'écran, on peut en déduire les coefficients  $a$  et  $b$ . Cette étape est l'étape d'étalonnage.

On peut ensuite déterminer la longueur d'onde d'une radiation inconnue, simplement en mesurant sa position  $x$  sur l'écran et en utilisant la loi ci-dessus.

**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.

On utilise d'abord la lampe à vapeur de mercure (Hg), pour laquelle on suppose connu le spectre. Il s'agit donc de notre lampe étalon, qui va servir à étalonner le spectromètre.

### 1.a – Réglages :

Le réglage se fait d'abord sans le réseau.

Bouger la lentille de projection pour qu'elle produise 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.

### 1.b – Observations :

Reproduire vos observations sur votre compte rendu.

Pourquoi observe-t-on plusieurs spectres ?

Sur l'ordre 1, identifier les différentes raies par rapport au spectre donné en page 1, et noter leurs longueurs d'onde tabulées.

### 1.c – Enfin, on change de lampe et on utilise celle à vapeur de sodium (Na).

Reproduire le spectre observé sur votre compte rendu.

Un des objectifs de la partie suivante est de mesurer la longueur d'onde de la raie jaune du sodium.

## III Utilisation de la caméra CCD

Repasser à la lampe à vapeur de mercure.

Placer la caméra CCD à la place de l'écran. Ceci permet de visualiser, sur l'ordinateur, la position des différentes raies sur la barrette CCD, et de mesurer précisément leur position  $x$  sur cette barrette.

### 2 – Faire une acquisition du spectre de la lampe au mercure.

Attention, une fois cette acquisition faite, il ne faudra plus toucher au réseau, à la caméra, à la lentille de projection ou à la fente, car ceci ferait bouger la position des raies et l'étalonnage du dispositif ne serait plus bon.

Sur l'ordinateur, relever la position  $x$  de chacune des longueurs d'onde connues.

Les rentrer ensuite sous Régressi. Puis tracer  $\lambda$  en fonction de  $x$ .

A-t-on bien, comme espéré, une loi linéaire entre  $\lambda$  et  $x$  ? Si oui, donner les valeurs de  $a$  et de  $b$  et leurs incertitudes.

### III.1 Étude de la lampe à sodium

On souhaite ensuite étudier la lampe à vapeur de sodium et mesurer la longueur d'onde de la raie jaune.

3 – Sans toucher à autre chose que la lampe et le condenseur, repasser à la lampe au sodium.

Visualiser le spectre sur l'ordinateur via la caméra CCD.

En déduire, à l'aide des mesures précédentes et en expliquant comment, la longueur d'onde de la raie jaune.

On donnera aussi une incertitude, et on indiquera si la valeur mesurée est en accord avec la valeur tabulée.

### III.2 Étude de la lampe au mercure-cadmium-zinc

Utiliser ensuite la lampe mercure-cadmium-zinc.

4 – Faire une acquisition de son spectre.

L'objectif est ensuite de dire, parmi toutes les raies observées, lesquelles sont dues au mercure, lesquelles sont dues au cadmium, et lesquelles au zinc.

Décrire votre démarche.

Il y en a en particulier une qui appartient au zinc. Donner sa longueur d'onde.

### III.3 Étude en lumière blanche

On utilise ensuite une source de lumière blanche (la lampe à halogène).

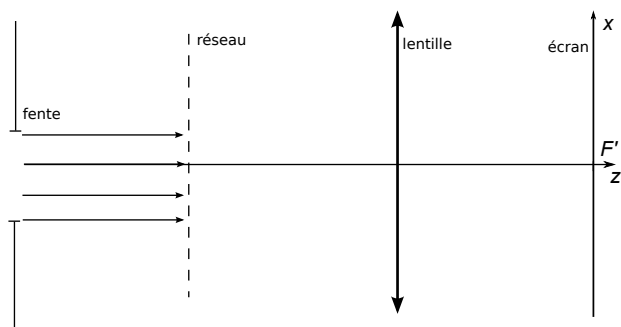
Enlever la caméra CCD et repasser à l'observation sur un écran.

5.a – Obtenir le spectre de la lumière blanche. Le reproduire sur votre compte rendu.

5.b – Intercaler une lunette de protection laser : quelles longueurs d'onde laissent-elle passer ? De quel type de laser protègent-elles ?

5.c – Intercaler un filtre interférentiel : autour de quelle longueur d'onde laisse-t-il passer ?

## IV Partie théorique sur le principe du spectromètre



Pour bien comprendre le principe du montage, il est intéressant de simplifier légèrement la situation, en supposant comme sur le schéma ci-contre qu'en sortie de la fente le faisceau de lumière est parallèle à l'axe optique, et que le réseau est situé avant la lentille. L'écran est placé dans le plan focal image de la lentille (focale  $f' = 300$  mm).

6.a – Compléter le schéma. On supposera que la source émet un spectre de raies avec deux raies, une dans le bleu et une dans le rouge. On fera apparaître les ordres 0,  $\pm 1$ .

6.b – Trouver la relation entre la position  $x$  de la tache lumineuse due à l'ordre 1 en fonction de  $\lambda_0$ ,  $f'$ , et de  $a$ . On supposera les angles petits.

Cette relation entre  $x$  et  $\lambda$  est-elle bien linéaire comme annoncé dans le TP ?

Dans le TP, on part du principe que les paramètres  $f'$  et  $a$  qui interviennent dans cette relation théorique sont difficiles à connaître précisément (surtout  $f'$ ), et on procède donc plutôt par étalonnage. Ceci permet également de s'affranchir d'erreur d'alignement ou de perpendicularité de l'écran.

6.c – Faire l'application numérique pour la position  $x$  avec des valeurs semblables à celle du TP ( $f' = 200$  mm,  $\lambda = 546$  nm, réseau de 300 traits par mm).

6.d – Si on enregistre l'éclairement sur un capteur CCD, la précision sur la position des maxima atteint au mieux la distance entre deux pixels. La caméra utilisée ici comprend 2048 pixels sur environ 30 mm.

Quelle est alors la précision sur la mesure de la longueur d'onde ?

Pourquoi en pratique est-on moins précis ?