

MP.09 : SPECTROMÉTRIE OPTIQUE

13/ XI/09.

Julie & Hélène

Biblio : - Truffaut, chap III & IV. - Tec & Doc P6151*, p149 (Nicholson)
- Sextant, chap V. + Article très complet de L. Bouchardine :

[<http://www.techniques-ingenieur.fr/book/c6340/spectrometrie-optique.html>]

Rapports de jury :

2009 : quel que soit l'instrument utilisé, son principe et sa manipulation doivent être connus. Le prime à vision directe doit être réservé aux observations qualitatives.

2008 : La spectrométrie par transformée de Fourier, souvent réalisée de manière semi-quantitative sur les raies du Hg & du Na, se prête à un enregistrement numérique, qui sans être indispensable, est bien plus démonstratif et permet des mesures sensiblement plus précises.

2008, 2007, 2006, 2005 : La mesure de longueurs d'onde est le cœur du sujet mais il faut aborder la notion de résolution des appareils de mesure et les phénomènes responsables de sa limitation.

2005 : l'influence de la largeur de la fente d'entrée doit être abordée. L'usage des spectromètres informatisés à filtre ne doit pas être exclusif.

Plan : I - Spectromètre à réseau.

I.1. Détermination de longueurs d'onde du doublet du Na.

I.2. Pouvoir de résolution.

II - Spectromètre VLICE : détermination de la constante de Rydberg.

III - Spectromètre interférentiel : le Michelson. (détermination de $\Delta\lambda$ du doublet du sodium).

Intro: (textant p 214...)

les spectroscopes sont des appareils qui servent à décomposer un rayonnement lumineux suivant la longueur d'onde pour permettre l'analyse de sa répartition spectrale. *

La spectroscopie permet l'étude des sources lumineuses à distance (étoiles par ex), ou l'étude des rayonnements émis ou absorbés par un échantillon (fin d'en déterminer certaines propriétés physico-chimiques).

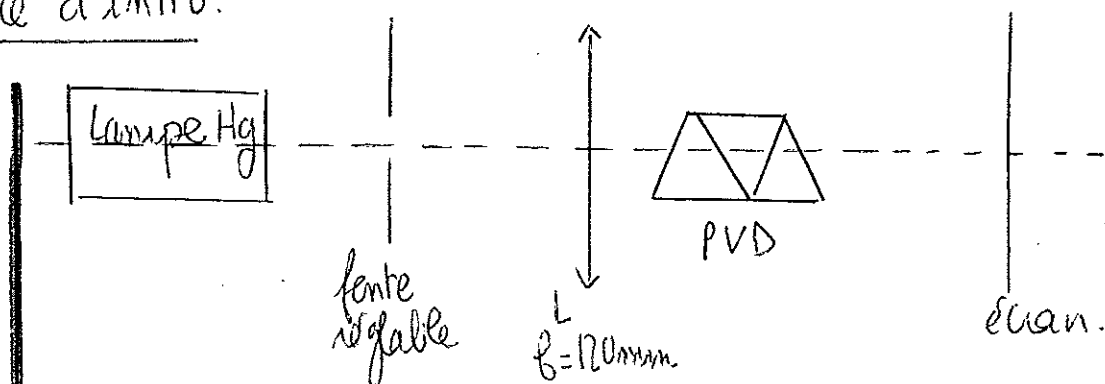
On distingue deux types de spectroscopes :

- spectroscopes à fentes : permet de repérer des longueurs d'ondes
- spectroscopes à interférence : permet d'analyser la structure fine d'une raie particulière.

Le paramètre le plus important pour caractériser un spectroscope est son pouvoir de résolution, qui traduit sa capacité à séparer deux longueurs d'ondes voisines : $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ où $\Delta\lambda$ est le plus petit intervalle spectral résolu.

On étudiera ici le réseau ($\rightarrow$ détermination des longueurs d'ondes du sodium), le spectromètre Ulrice ($\rightarrow$ détermination de la constante de Rydberg), et l'interféromètre de Michelson ($\rightarrow \Delta\lambda$ du sodium).

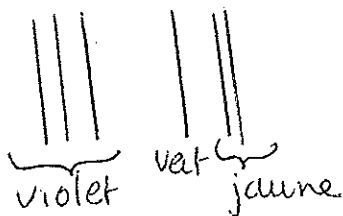
* Expe d'intro:



- on fait l'image de la fente à travers L

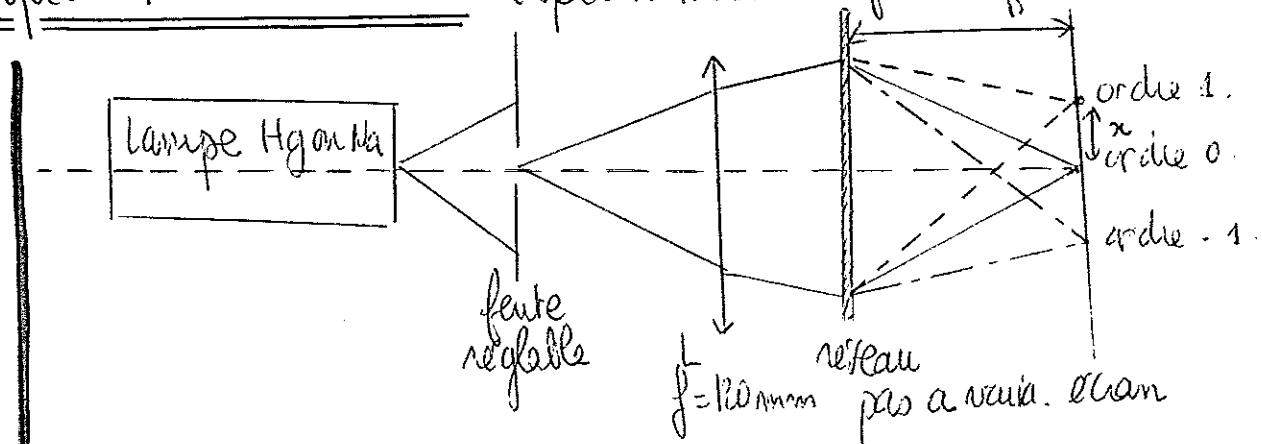
- on interfère le PVD

$\Rightarrow$ Spectre du mercure.



⇒ très lumineux mais pas facile d'utilisation en spectro
car pas linéaire.

I. Spectromètre à réseau. (spectromètre à fente).

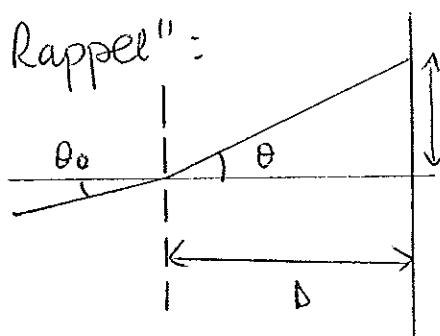


- on fait l'image de la fente sur l'écran à travers L.
- on intercale le réseau.

I. 1- Détermination des longueurs d'ondes du doublet du Na.

principe: on détermine λ_{Na} à partir d'une diste d'échelonnage réalisée avec la lampe à vapeur de Hg (propriété de linéarité du réseau).

"Rappel":



• Formule des réseaux: à l'ordre p
 $\sin \theta = \sin \theta_0 + p \frac{\lambda}{a}$

En incidence normale ($\theta_0 = 0$):

$$\sin \theta = p \frac{\lambda}{a} = \sin \left[\arctg \left(\frac{x}{D} \right) \right]$$

$$\Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{a}{p} \sin \left[\arctg \left(\frac{x}{D} \right) \right]}$$

Donc en mesurant la distance x de la raie par rapport à l'ordre 0 on peut calculer λ .

• pour des angles suffisamment petits ($\sin \theta \approx \tan \theta$):

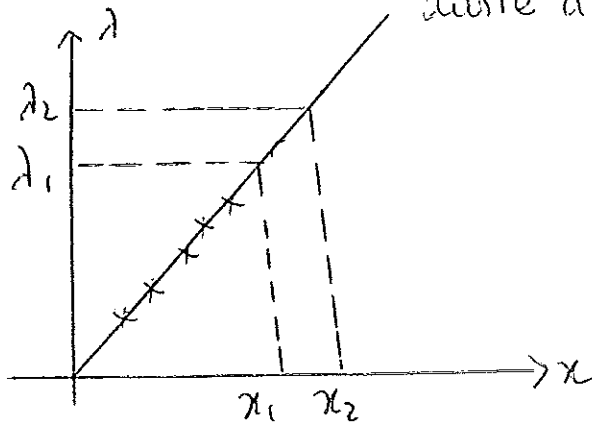
$$\boxed{\lambda = \frac{a}{p} \frac{x}{D}} \quad (2) \quad \text{alors } \lambda(x) \text{ est une diste de coeff. } \frac{a}{pD}.$$

seie étape = on scotche du papier millimétré sur l'écran. On prend une lampe à vapeur de mercure.

On mesure les distances x pour les différents raies α de l'ordre 1 et on trace $\lambda(x) \rightarrow$ ça doit être une droite affine. on la modélise par une droite d'éq: $a x + b$.

Couleur	violet 1	violet 2	violet 3	vert	jaune 1	jaune 2
$\lambda_{\text{tab}} (\text{nm})$	404,6	435,8	491,0	546,1	577,0	579,0
$x (\text{mm})$						

2^e étape: on remplace la lampe Hg par une lampe Na. on mesure x pour les deux raies du doublet, on reporte sur la courbe et on trouve λ .



(très schématique)

droite d'étalonnage: $\lambda = ax + b$

$a =$

$\Delta a =$

$b =$

$\Delta b =$

Incertitude des:

$$\left| \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta b}{b} \right| \text{ avec } \Delta x = 0,1 \text{ mm.}$$

Résultats: * $\lambda_1 = x_1 = (\pm 0,1) \text{ mm} \Rightarrow \lambda_1 = (\pm) \text{ nm}$

* $\lambda_2 = x_2 = (\pm 0,1) \text{ mm} \Rightarrow \lambda_2 = (\pm) \text{ nm}$

à comparer avec les valeurs tabulées: $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$
 $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}.$

I-2 - la limite de résolution.

= capacité à pouvoir séparer les deux raies.

1) Influence de la largeur de la fente source:

on fait varier la largeur de la fente source.

$\Rightarrow$ plus la fente est large moins la résolution est bonne.

on peut calculer la puissance de résolution :

$$R = \frac{\lambda}{\alpha} \frac{d\theta}{d\lambda}$$

$\frac{d\theta}{d\lambda}$ = dispersion angulaire

$\frac{d\theta}{d\lambda} \approx \frac{\delta\alpha}{D\delta\lambda}$ où $\delta\alpha$ est l'angle entre les deux axes

α = largeur angulaire de l'image de la fente.

$\alpha = \frac{l}{D}$ où l est la largeur de l'image de la source.

$$R = \frac{\lambda D}{l} \frac{\delta\alpha}{D\delta\lambda}$$

$$\Rightarrow \boxed{R = \frac{\lambda \delta\alpha}{l \delta\lambda}} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \delta\alpha}{\delta\alpha} + \frac{\delta l}{l}$$

Résultat : $\begin{cases} \delta\alpha = (\pm 0,1) \text{ mm} \\ \delta\lambda = 0,6 \text{ mm} \end{cases}$

$$\Rightarrow \boxed{R = \pm}$$

2) Influence de la largeur éclairée du dispositif = puissance de résolution due à la refraction?

on fait varier la largeur d'une fente F' placée entre la lentille et le réseau, et on fait varier le pas du réseau.

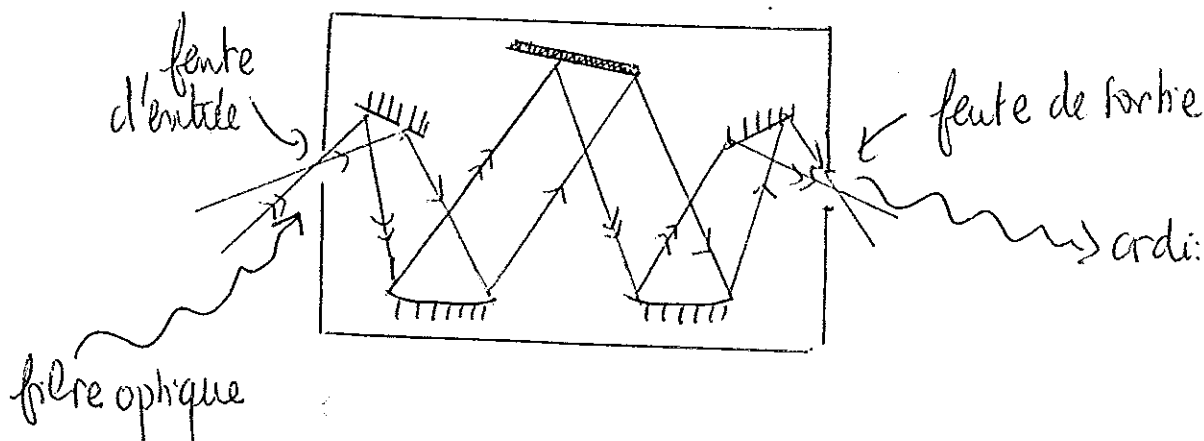
$\Rightarrow$ plus la fente est large et moins on résout plus le pas est petit et mieux on résout

R_g : l'effet limitant de la fente d'entrée est plus imppt que celui de la diffraction.
hypothiquement $\frac{R_{fente}}{R_{diff}} \sim 2 \cdot 10^{-1}$

'Conclusion sur le réseau': moins lumineux que le prisme mais linéaire donc plus pratique.

II - Spectromètre informatisé ULICE - détermination de la constante de Rydberg: (autre ex de spectroscopie à fentes).

1) principe du spectromètre :



on place la source à analyser devant la Fo (couvrir 2 carter He source lumineuse extérieure) et on exploite les données avec SpidHR.

2) mesure de la série de Rydberg:

Rappel: pour l'hydrogène, les longueurs d'ondes de la série de Balmer sont données par :

$$\frac{1}{\lambda_n} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n > 2, \Rightarrow \boxed{R_H = \frac{4 \cdot 10^8}{\lambda_n (n^2 - 4)}}$$

Elles correspondent à la transition $n > 2 \rightarrow n = 2$.

les trois raies principales sont :

$$n=3 : \lambda_3 = 656,3 \text{ nm (rouge)}$$

$$n=4 : \lambda_4 = 486,1 \text{ nm (bleu)}$$

$$n=5 : \lambda_5 = 434,1 \text{ nm (indigo)}$$

Manip: on mesure les 3 longueurs d'ondes (exploitait du spectre donné par le logiciel) et on calcule la R_H de

Rydberg pour chacune de ces longueurs d'ondes.

on peut tracer $\frac{1}{\lambda} = f\left(\frac{1}{n^2}\right)$ et modéliser par une droite d'équation $y = a\left(x + \frac{1}{4}\right)$

Incertitudes: $\boxed{\frac{\Delta R_H}{R_H} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}}$

Résultats: $\Delta \lambda = \quad \text{nm}$

$$* n=3 : R_{H3} = (\quad \pm \quad) \text{ nm}^{-1}$$

$$* n=4 : R_{H4} = (\quad \pm \quad) \text{ nm}^{-1}$$

$$* n=5 : R_{H5} = (\quad \pm \quad) \text{ nm}^{-1}$$

$$\Rightarrow \boxed{R_H = \frac{R_{H3} + R_{H4} + R_{H5}}{3} = (\quad \pm \quad) \text{ nm}^{-1}} \quad (\text{moyenne})$$

la modélisation donne : $R_H =$

à comparer avec la valeur $R_\infty = 9,0109737 \text{ nm}^{-1}$

(combinaison de ces fondamentales).

III - Interférométrie de Michelson.

→ ex de spectroscopie interférentielle.

on utilise l'interféromètre de Michelson réglé en lames d'air avec une lampe à vapeur de Na.

Pramp: on chauffe. on observe l'alternance de contrastes forts & de zones de brouillages. $\Rightarrow$ alternance de coïncidences et d'anticoincidentes.

Alors si Δe est la distance entre N brouillages =

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda_m^2 N}{2 \Delta e} \quad \text{avec } \lambda_m = 589,3 \text{ nm.}$$

Rappel: le contraste est donné par:

$$C = \left| \cos \left(\frac{2\pi e \Delta \lambda}{\lambda_m^2} \right) \right|$$

$$\begin{aligned} C=0 &\Rightarrow \frac{2\pi e \Delta \lambda}{\lambda_m^2} = (2p+1) \frac{\pi}{2} \\ &\Rightarrow e = \frac{2p+1}{4} \frac{\lambda_m^2}{\Delta \lambda} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{entre deux brouillages: } e'_1 &= e + \delta e \\ p' &= p+1 : \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e + \delta e &= \frac{2p+3}{4} \frac{\lambda_m^2}{\Delta \lambda} = \frac{2p+1}{4} \frac{\lambda_m^2}{\Delta \lambda} + \frac{\lambda_m^2}{2 \Delta \lambda} \\ \Rightarrow \delta e &= \frac{\lambda_m^2}{2 \Delta \lambda} \end{aligned}$$

$$\text{entre } N \text{ brouillages: } \Delta e = N \delta e = \frac{N \lambda_m^2}{2 \Delta \lambda}$$

$$\text{Incertitudes: } \frac{\Delta(\Delta \lambda)}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta(\Delta e)}{\Delta e} \quad ?$$

Résultats: $N = \quad \pm \quad$

$$\Delta \lambda = (\quad \pm \quad) \text{ nm}$$

A comparer à la valeur tabulée: $\Delta \lambda = 0,5 \text{ nm}$

Conclusion.

On a présenté quelques interféromètres simples qui nous ont permis de présenter quelques applications simples des spectroscopes = mesure de longueurs d'onde (λ_m et λ_d du doublet du Na), détermination d'une série fondamentale (R_H , caractéristique des transitions de l'atome d'hydrogène).

Il existe un spectromètre également très utilisé = Fabry-Léot (très précis).

Intérêt de la spectro :

- astronomie
- chimie ($\rightarrow$ Bat Lambert)
- etc.