

Biblio: Duffait, chap IV et VI
Sextant, chap V

Rapports de jury

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

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

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

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

Plan

I - Le spectromètre à réseau

- 1 - étalonnage
- 2 - mesure relative
- 3 - pouvoir de résolution

II - Le spectromètre interférentiel

- 1 - le doublet du sodium
- 2 - pouvoir de résolution

III - Mise en évidence des $\neq$ modes du laser

- 1 - utilisation de la cavité confocale Fabry-Pérot
- 2 - pouvoir de résolution

Introduction cf sextant p 215

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

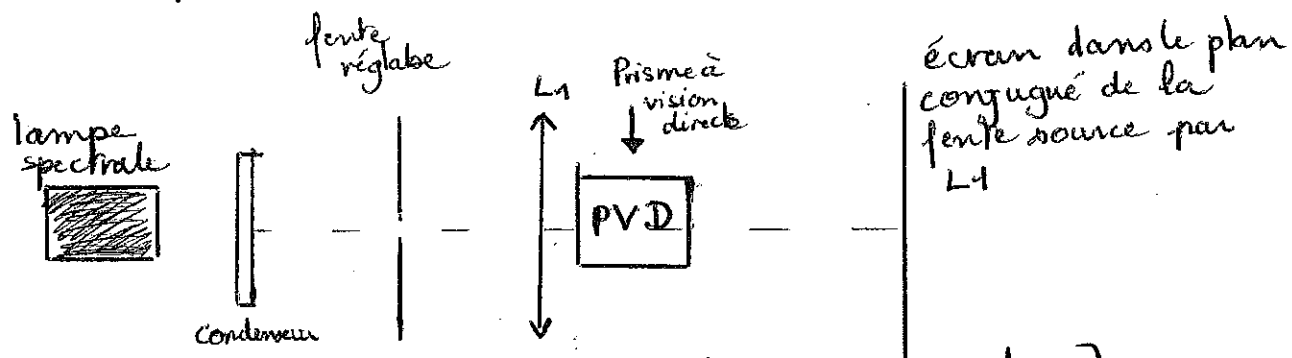
Moyen d'étude sans intervention destructive et à distance

(ex: l'analyse du rayonnement émis par une étoile permet d'accéder à sa composition chimique)

La spectrométrie permet également l'étude de la lumière émise ou absorbée par un échantillon placé sur le trajet de la lumière issue d'une source connue.

→ Moyen d'investigation et d'analyse très utilisé :
physique des gaz, physique de la matière condensée, chimie, biologie ...

Mise en évidence qualitative de la décomposition spectrale d'un rayonnement lumineux



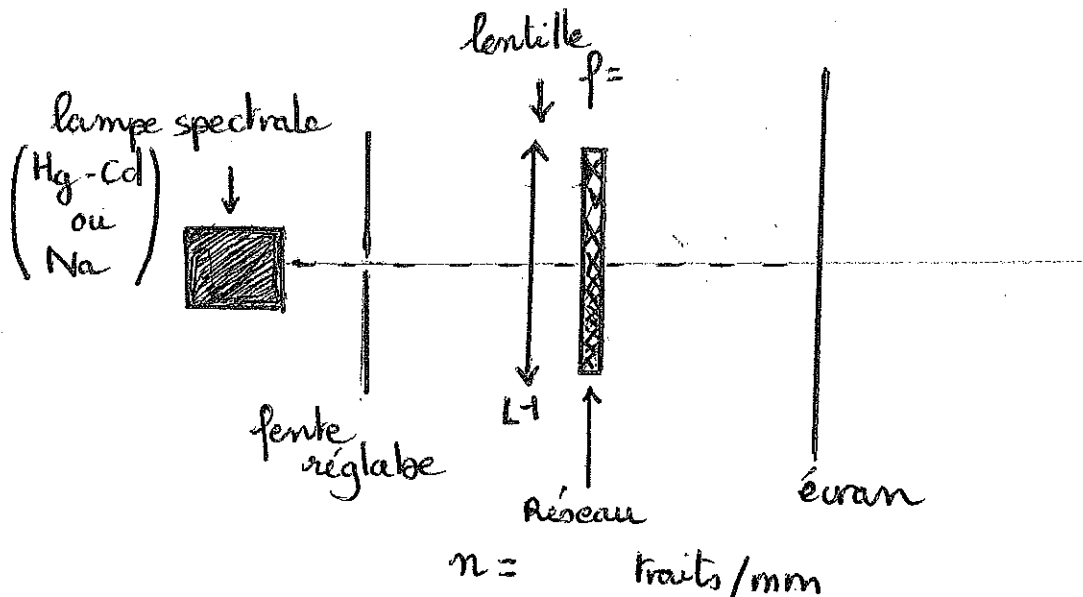
Le PVD n'est pas adapté pour la mesure de λ , il permet juste une observation qualitative.
⇒ intéressant car lumineux

Démarche de ce montage

- mesure de longueurs d'onde avec $\neq$ types de spectromètres en augmentant la précision.
- analyse du pouvoir de résolution des $\neq$ dispositifs

II - Le spectromètre à réseau

montage



écran dans le plan conjugué de $L1$
réseau placé juste derrière $L1$

La démarche

- ① effectuer une droite d'étalonnage avec la lampe spectrale Hg-Cd (λ connues)
tracer $\lambda = f(x)$
 x : distance entre l'ordre 0 et l'ordre 1
- ② changement de lampe - prendre lampe Na
on en déduit une mesure relative de la longueur d'onde du doublet de Na par une interpolation linéaire.

1. Etalonnage

Points réalisés pendant la préparation (lampe Hg - Cd)

Couleur	
λ (nm) tabulée	
x (mm)	

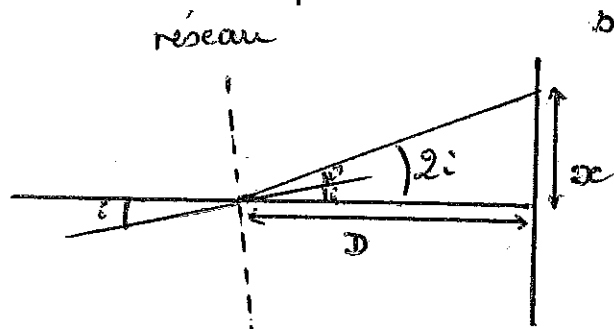
1 Point d'étalonnage réalisé pendant le montage

couleur :

$\lambda_{lab} (nm) =$

$x (mm) =$

En partant de la formule des réseaux :



$$\sin i + \sin i' = n p$$

n = nbr de traits /
par unité de longueur

p : ordre du spectre

En se plaçant en incidence normale

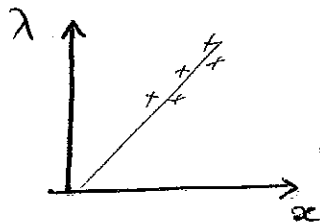
$$\sin i = n p \lambda$$

$$\lambda = \frac{1}{n p} \sin \left[\arctan \left(\frac{x}{D} \right) \right]$$

pour des petits angles

$$\lambda = \frac{1}{n p D} x$$

Si l'on trace $\lambda = f(x)$, on doit théoriquement obtenir une droite de coeff. directeur $a = \frac{1}{n p D}$



$$a =$$

$$\Delta a =$$

$$b =$$

$$\Delta b =$$

$$\text{avec } y = ax + b$$

2. Mesure relative

Après l'étalonnage, on change la lampe spectrale Hg-Cd pour une lampe spectrale Na.

⚠ ATTENTION ne pas faire varier les paramètres du montage sinon l'étalonnage est à refaire.

Lors du passage à la lampe Na, on peut se servir de l'ordre 0 (image de la fente source sur l'écran) comme repère. c-a-d faire correspondre l'ordre zéro de Hg-Cd avec l'ordre 0 de Na.

Mesure $x_{\text{mesuré}} =$

Par interpolation linéaire, on trouve λ_{Na} .

Incertitudes $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta b}{b}$

Résultats

$$\lambda = \pm$$

Valeurs tabulées

$$\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$$

doublet du sodium

$$\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$$

On remarque le spectromètre à réseau ne permet pas de dédoubler la raie du sodium.

3. Le pouvoir de résolution

Le pouvoir de résolution est le paramètre le plus important pour caractériser un spectromètre.

On le définit comme la mesure de la capacité à séparer 2 longueurs d'ondes très voisines.

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \quad \delta\lambda : \text{plus petit intervalle spectral résolu}$$

a. influence de la largeur de la fente source

En faisant varier la largeur de la fente source, on remarque que plus la fente est large, moins la résolution est bonne.

b. limites supérieures et inférieures du pouvoir de résolution du spectromètre à réseau.

Cas du doublet du mercure

Lors de l'étalonnage nous avons remarqué que l'on pouvait observer le doublet Hg.

$$R = \frac{\lambda_{\text{moy}}}{\Delta\lambda} = \frac{578,02 \text{ (nm)}}{2,10 \text{ (nm)}} = 275,25$$

$$\lambda_1 = 579,07 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 576,96 \text{ nm}$$

$R = 275,25$ est notre limite inférieure du pouvoir de résolution de spectromètre à réseau.

Cas du doublet du sodium

Lors de la mesure relative, nous avons observé qu'il n'est pas possible d'observer le doublet Na.

D'après les valeurs tabulées $\lambda'_1 = 589,0 \text{ nm}$
 $\lambda'_2 = 589,6 \text{ nm}$

d'où $\Delta\lambda' = 0,6 \text{ nm}$ et $\lambda'_{\text{moy}} = 589,3 \text{ nm}$

On peut donc en déduire une limite supérieure du pouvoir de résolution

$$R = \frac{\lambda'_{\text{moy}}(\text{Na})}{\Delta\lambda'(\text{Na})} = \frac{589,3 \text{ (nm)}}{0,6 \text{ (nm)}} = 982,2$$

Encadrement de R

$$275,3 \leq R < 982,2$$

pour le spectromètre à réseau

III - Le spectromètre interférentiel : utilisation du Michelson

L'interféromètre de Michelson est un dispositif à 2 ondes à division d'amplitude. Il permet d'obtenir des interférences localisées avec une source étendue.

a - le doublet du sodium

Le réglage en lame d'air (effectué lors de la préparation) permet d'observer des franges d'interférences avec la lampe à sodium.

Les franges d'interférences sont des anneaux localisés à l' ∞ .

Pour remarquons qu'en déplaçant le miroir (pouvant être charioté) dans un sens. Les anneaux d'interférence apparaissent et disparaissent. Ce phénomène est périodique.

→ Observation de battements d'intensité entre les 2 raies jaunes du doublet du sodium

Au max du contraste, les 2 syst de frange sont en coïncidence.

Lorsque le contraste est nul, les 2 syst sont en anti-coïncidence $\equiv$ interférence destructive

↳ Brouillage

En d'autres termes, lors du brouillage une frange sombre pour l'une des raies correspond à une frange brillante pour l'autre raie.

La mesure de la distance entre 2 anti-coïncidences permet de remonter à la $\neq$ des longueurs d'onde entre les 2 doublets si l'on connaît la valeur moyenne du doublet correspondant.

En effet

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2 \Delta e}$$

$2\Delta e$: # de marche

Δe : déplacement du miroir

λ_m : valeur moyenne de λ

Pour le doublet du Na, $\lambda_m = 589,3 \text{ nm}$

Pour plus de précisions sur la mesure de Δe et par suite de la mesure de $\Delta \lambda$, on peut mesurer la distance entre N brouillages successifs.

$$\text{on utilise } \Delta \lambda = \frac{\lambda_m^2 N}{2 \Delta e}$$

Mesures $N =$
 $\Delta e =$
 $\quad \quad \quad \hookrightarrow \Delta \lambda =$

Incertitudes

$$\frac{\Delta(\Delta \lambda)}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta(\Delta e)}{\Delta e}$$

Résultats

$$\Delta \lambda =$$

b. Pouvoir de résolution

Grâce à ce spectromètre interférentiel, on peut dédoubler la raie du sodium donc

$$R > \frac{589,3 \text{ (nm)}}{0,6 \text{ (nm)}}$$

$$R > 982,2$$

III - Mise en évidence des $\neq$ modes d'un laser (Duffait Chap IV p 97)

1 - utilisation de la cavité confocal Fabry-Pérot

L'appareil Melles-Griot permet de mettre en évidence les $\neq$ modes d'un laser et de déterminer leur largeur spectrale. Cet appareil est constitué d'une cavité Fabry-Pérot confocal : il s'agit d'un interféromètre dont les miroirs sont sphériques et dont la distance est telle que les 2 foyers sont confondus.

Condition de résonance de la cavité :

différence de marche entre un rayon et un rayon ayant subi des réflexions supplémentaires et possédant la même direction est égale à un nbr entier de longueurs d'onde.

Dans le cas du F.P confocal, la condition de résonance est $2d = p\lambda$ ($p \in \mathbb{N}$)
(d : taille de la cavité)

Schéma de la cavité

cf fig 36 p 97 du Duffait

Principe de fonctionnement

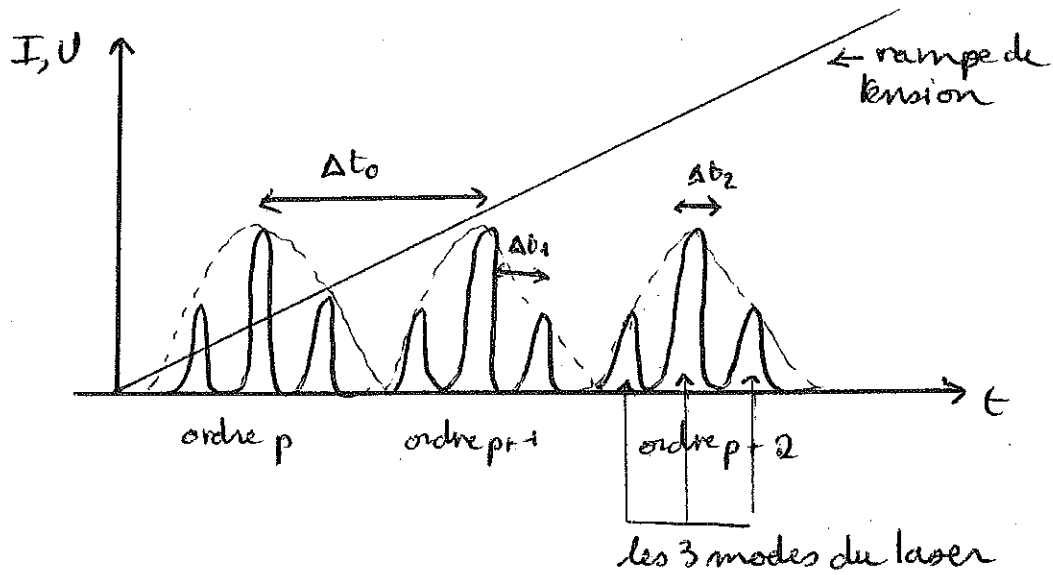
En faisant varier d (distance entre les miroirs), la condition de résonance n'est plus vérifiée.

Dans la cavité Melles-Griot, un des miroirs est porté par un cristal piézo-électrique. On applique donc sur ce cristal une rampe de tension, d varie linéairement.

Puis on enregistre l'intensité transmise dans la cavité F.P.

On visualise le tout à l'oscilloscope (rampe $\oplus$ de tension
réponse de la cavité)

Compte obtenue à l'oscillo



D'après la condition de résonance: $4d = p\lambda$
 on a $\Delta\nu = \frac{c}{4d}$

$\Delta\nu$ représente l'écart entre 2 modes
 successifs $\rightarrow \Delta t_0$

ici la cavité a une distance $d = 3,75 \text{ cm}$
 d'où $\Delta\nu = 2 \text{ GHz}$, appelée FSR (Free Spectral Range)
 $\equiv$ étendue spectrale libre

On a donc $\Delta t_0 \leftrightarrow \Delta\nu = 2 \text{ GHz} = \text{FSR}$

Par une règle de trois, on peut remonter:

• à l'écart entre 2 modes (Δt_1)

$$\Delta t_1 = \pm \Delta\nu_1 = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_0} \text{ FSR}$$

$$\Delta\nu_1 =$$

• à la largeur en fréquence d'un mode (Δt_2)
 prendre 0 comme référence la largeur à mi-hauteur.

$$\Delta t_2 = \pm \Delta\nu_2 = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_0} \text{ FSR}$$

$$\Delta\nu_2 =$$

Incertitudes

- écart entre les 2 modes

$$\frac{\Delta(\Delta\nu_1)}{\Delta\nu_1} = \frac{\Delta(\Delta t_1)}{\Delta t_1} + \frac{\Delta(\Delta t_0)}{\Delta t_0}$$

pas d'incertitudes sur la FSR car c'est une donnée constructeur.

$$\frac{\Delta(\Delta\nu_1)}{\Delta\nu_1} =$$

- largeur en fréquence d'un mode

$$\frac{\Delta(\Delta\nu_2)}{\Delta\nu_2} = \frac{\Delta(\Delta t_2)}{\Delta t_2} + \frac{\Delta(\Delta t_0)}{\Delta t_0}$$

2. Pouvoir de résolution

laser vert utilisé $\lambda = 543,5 \text{ nm}$