

# MP10 – SPECTROMÉTRIE OPTIQUE

28/11/2019

Charles Peretti & Guillaume Duprez

## Message au lecteur

Toi qui lira cet essai de montage, sache que le placement des expériences ainsi que le temps à leur accorder indiqué est à revoir (cf remarques).

## Niveau : CPGE ou L3

## Bibliographie

- ✦ *Optique expérimentale*, **Sextant** → Spectre cannelé avec lame à faces parallèles, Raies Mercure, Cadmium et Sodium
- ✦ *Expériences d'optique (Agreg de Sciences Physique)*, **R. Duffait** → p.121 pour spectroscopie réseau, ~p.70 pour le Michelson
- ✦ *Physique expérimentale*, **M. Fruchard** → p.360 Élargissement du spectre, tout début du bouquins pour les incertitudes

## Expériences

- ☞ Calcul du pas d'un réseau (Goniomètre)
- ☞ Mesure de doublet du sodium (Michelson)
- ☞ Mesure de biréfringence (Spectro commercial)

## Table des matières

1	Mesure du pas d'un réseau-Goniomètre	1
2	Mesure de biréfringence-Spectromètre commercial	2
3	Mesure du doublet du sodium - Interféromètre de Michelson	3

## Introduction

\*insert text\*

La plupart des spectromètre commerciaux utilise de la spectrométrie par réseau on va en utiliser un pour voir comment l'utiliser en pratique.



## 1 Mesure du pas d'un réseau-Goniomètre



## Mesure du pas d'un réseau

⚡ Sextant réseau

⌚ 5 min

On se place au minimum de Déviation. Dans ce cas là  $D_m = 2i'$ . On a alors

$$np = \frac{2}{\lambda} \sin \frac{D_m}{2}$$

### Pouvoir de dispersion et résolution d'un réseau

Pour le pouvoir de dispersion d'un réseau :

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{pn}{\cos(\theta)}$$

Pour le pouvoir de résolution :

$$R = \left| \frac{\lambda}{d\lambda} \right| = pN$$

où  $N$  le nombre de traits éclairés

↓ Maintenant qu'on a vu le réseau, on va pouvoir passer au spectromètre commerciale

## 2 Mesure de biréfringence-Spectromètre commercial

Maintenant que l'on a introduit le principe d'un spectromètre, on utilise un spectromètre commercial afin de faire des mesures sur des propriétés de la matière.



Étallonnage d'un spectromètre (en préparation) : Prendre une source lumineuse de raies connues (exemple : lampe au mercure) et attribuer les pics de la courbe sortie par le logiciel aux longueurs d'onde moyennes des pics.



### Spectre Cannelé avec lame à faces parallèles

⚡ Sextant p.290

⌚ 10min

Matériel :

- Ordinateur (N°3)
- Lampe QI
- Lentille convergente (200mm)
- Polariseur et Analyseur
- Verre dépoli
- Lame à faces parallèles (quartz)

Lampe QI → Fente → Polariseur → Lentille convergente (Pas de projection à l'infini!!) → Lame à faces parallèles (quartz) → Analyseur → Spectro

Éclairer la fente en lumière blanche, et former son image sur l'écran, intercaler Polariseur et Analyseur croisés. Placer la lame et la tourner jusqu'à rétablir l'extinction (ligne neutre) puis rajouter 45° (éclairage maximal).  
**Observation :** Spectre continu avec des  $\lambda$  absentes  $\rightarrow$  spectre cannelé

$\lambda$  éteintes correspondent à  $e n = (p + 1/2) * \lambda$  avec p entier. On compte  $\Delta p$  entre deux franges sombres de  $\lambda$  connues. Alors

$$e \Delta n = \Delta p \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

En préparation on trouve  $e \Delta n \sim -37,5 \pm 0,5 \mu\text{m}$ , pour une lame de 4 mm.

Parfois pouvoir séparateur, résolution n'est pas assez importante pour séparer les pics. Il faut alors faire de la spectrométrie avec des interféromètres.



### 3 Mesure du doublet du sodium - Interféromètre de Michelson

Présentation orale du Michelson <sup>1</sup>

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

Dans le Duffait p.76, valeur  $\Delta \lambda = 0.597$  pour le doublet du sodium



#### Mesure des Anticoïcences

↗ Sextant p.241

⊖ 15min

Matériel :

- Michelson
- Photodiode
- Lampe à sodium

On met le Michelson en lame d'air (voir poly de TP pour le réglage). Et on note les anticoïcences qu'on devrait ajuster avec la formule précédente. Attention ne pas charioter trop vite pour ne pas en louper mais par contre ça prend du temps...

### Conclusion

\*insert text\*



Manipulation surprise : Avez vous une idée pour mesurer l'indice d'un gaz avec le Michelson en coin d'air ? Après réglage en coin d'air si on fait passer grossièrement un gaz dans un des bras du Michelson on voit un décalage d'une ou deux franges max avec la lampe à Sodium utilisée le jour J.

1. J'ai galéré pendant la présentation à charioter dans le stress et à la fin donc vraiment cette expérience est à revoir...(cf question aussi)

## Questions

### Sur le premier montage

- **Il y a eu un peu de flou sur l'usage du vocabulaire pour le goniomètre. Pouvez vous me placer le collimateur ?** Juste après la fente. **Donner le nom de l'objet par lequel on regarde ?** La lunette de visée (composée d'un objectif et d'un oculaire).
- **Combien de lentille composer l'objectif et l'oculaire ?** Une lentille pour chacun
- **A quoi sert le réticule dans la lunette de visée ?** Permet à l'œil d'accommoder dans un plan défini et de régler la lunette de visée.
- **Comment règle t-on la lunette de visée ?** On joue sur la distance entre objectif et oculaire pour en faire un système afocal. Pour obtenir cette condition on fait en sorte que le réticule et son image après aller-retour dans le système paraissent nettes en même temps à l'œil.
- **Pourquoi faire la mesure au minimum de déviation ?** (...Après discussion...) Avec le minimum de déviation on a une bonne reproductibilité de la mesure.
- **Quel est l'intérêt pratique du goniomètre ?** Fente assez petite donc bonne résolution en gardant une luminosité suffisante.
- **Comment intervient le nombre de traits éclairés sur la figure d'interférence ?** Intensité et largeur des pics
- **ODG de la résolution possible.** On arrive à séparer le doublet du mercure soit environ 2nm.
- **Quelle est votre incertitude sur la largeur de la raie ?** De quelques minutes d'angles de part l'élargissement de notre fente.
- **Comment avez vous calculé l'incertitude sur  $n$  ?** Incertitude composée en utilisant  $n = f(a)$  donc  $u(n) = \sqrt{f'(a)^2 u(a)^2}$ .
- **Signification de l'intervalle de confiance** Proba que notre valeur vrai soit dans l'intervalle.
- **Pourquoi utiliser un ajustement affine alors que la loi est linéaire ?** On fait l'ajustement affine pour vérifier notre modèle -> l'ordonnée à l'origine  $\pm$  incertitude est nulle.

### Sur le deuxième

- **Pourquoi avoir pris une lame à face parallèle ?** Pour avoir l'axe ordinaire et extraordinaire dans le plan de la face.
- **Comment on trouve les axes ordinaires et extraordinaire ?** Pour une lame à face parallèle ce sont les lignes neutres ?
- **Fondamentalement qu'est ce qui nous donne les cannelures ?** C'est un phénomène d'interférence entre des ondes polarisés. On va avoir division d'amplitude en créant deux ondes qui suivent l'indice ordinaire et extraordinaire avec des polarisations différentes et ensuite on les fait interférer avec l'analyser.
- **Comment traduire une interférence destructive ?**  $\delta = \lambda(k + \frac{1}{2})$
- **Comment le spectro commercial présenté fonctionne ?** Spectroscopie par réseau sauf qu'on a pas des lentilles mais des miroirs.
- **Vous connaissez la résolution d'un tel spectro ?**  $\sim 0.1$  nm

## Sur le troisième

- **Pourquoi ce serait plus pratique d'utiliser le doublet du Mercure ?** Chariotage plus rapide car doublet plus écarté, meilleure intensité et raies de même intensité.
- **Peut-on mesurer la largeur d'une des raies ?** Spectroscopie par transformée de Fourier. Ou encore si raies très fines définir une perte de moitié de contraste pour la largeur à mi-hauteur de la raie dans le domaine fréquentielle.
- **Comment faire une mesure par TF sans chariottage ?** EN coin d'air avec un grand angle pour balayer le plus de différences de marche possible sur l'écran. On peut faire une capture avec CALIENS.
- **Autres avantages de faire une régression linéaire que la précision augmentée ?** On vérifie que notre loi est correct.
- **Récents prix Nobel en spectro ?** Onde gravitationnelle (quelques questions sur VIRGO et le pouvoir de résolution) + Laser de haute puissances (dilatation et compression du paquet d'onde avec des réseau parallèle...)
- **Quel autre interféromètre à une bonne résolution ?** Fabry-Pérot
- **Comment sont-ils utilisés pour les ondes gravitationnelle ?** Les bras du Michelson géant sont des cavités de Fabry-Pérot pour augmenter la distance effective (d'un facteur 50 ??)
- **Comment définir la résolution ?** On va regarder la finesse et l'ordre d'interférence

## Remarques

- Utilisation abusive du "mon" pour le matériel utilisé
- Il faut plus appuyer sur la notion de pouvoir de résolution qui peut être un fil conducteur
- Prendre le temps de pousser les choses à fond, et peut-être limiter à deux expériences complètes et une troisième juste quali.
- Bien pensé à l'organisation du tableau pour ne pas avoir à changer des choses en cours de route (j'ai voulu improviser par manque de temps.)
- Mieux mettre en évidence les méthodes utilisés pour le calcul des incertitudes
- Être précis sur le vocabulaire : expérience classiques d'optique le jury est rodé.
- Regressi pose souvent problème : penser à faire les régression autrement

**Agrégation de physique : fiche de correction de montage 2018**

Nom : *Guillaume Duprez*  
 Correcteur.trice.s : *Vincent / Eloy*

Note : *12*

Numéro et titre du montage (écrire MPxx) : *MP10.*

Structure générale (juge la forme)						
Gestion du temps ( <i>durée visée 30 min</i> )	X					
Schémas explicatifs des manipulations ? ( <i>Sont-ils présents ? Sont-ils de qualité ?</i> )			X			
Formules théoriques utilisées lors de l'exploitation ? ( <i>Présentes ? Clairement énoncées ?</i> )			X			
Résultats numériques ? ( <i>Sont-ils présents, avec une unité, une barre d'erreur ?</i> )				X		
Gestion du tableau ( <i>Écriture, orthographe, axes sur les graphiques...</i> )				X		
Attitude ( <i>communication verbale, dynamisme, interaction avec les correcteur.trice.s ...</i> )	X					

Manipulation qualitative (si présente) <i>absente.</i>						
Temps passé sur cette manipulation ( <i>Doit illustrer ou introduire un concept.</i> )						
Pertinence avec le titre du montage						
Présentation du dispositif et le but recherché avec celui-ci. ( <i>Sont-ils présents ? Sont-ils de qualité ?</i> )						

On juge ici le montage manipulation par manipulation. Le nombre de 3 manipulations quantitative est arbitraire. Il n'est pas nécessaire d'en faire 3 pour avoir la note maximale mais mettre plus de 3 dispositifs dans 30 minutes de présentation n'est pas viable. Noter dans le cadre le nom de la manip.

Manipulation 1 : <i>Goniomètre + réseau</i>						
Temps passé sur cette manipulation ( <i>Temps suffisant pour exploitation et pas trop longtemps non plus.</i> )	X					
Pertinence avec le titre du montage	X					
Présentation du dispositif et le but recherché avec celui-ci. ( <i>Sont-ils présents ? Sont-ils de qualité ?</i> )				X		
Réalisation d'une mesure en direct ( <i>Explication du protocole, point repéré sur les données.</i> )					X	
Analyse et exploitation des résultats. ( <i>Commentaires, comparaison avec une valeur théorique</i> )				X		
Discussion des sources d'erreur et des incertitudes ( <i>écriture, orthographe, axes sur les graphiques, ...</i> )			X			
Regard critique ( <i>recul sur les mesures effectuées et regard critique sur celles-ci.</i> )				X		

Manipulation 2 : <i>Birefringence spectre cannelé</i>	😊😊	😊	😞	😞😞
Temps passé sur cette manipulation ( <i>Temps suffisant pour exploitation et pas trop longtemps non plus.</i> )	✗			
Pertinence avec le titre du montage		✗		
Présentation du dispositif et le but recherché avec celui-ci. ( <i>Sont-ils présents ? Sont-ils de qualité ?</i> )	✗			
Réalisation d'une mesure en direct ( <i>Explication du protocole, point repéré sur les données.</i> )	✗			
Analyse et exploitation des résultats. ( <i>Commentaires, comparaison avec une valeur théorique</i> )	✗			
Discussion des sources d'erreur et des incertitudes ( <i>écriture, orthographe, axes sur les graphiques, ...</i> )			✗	
Regard critique ( <i>recul sur les mesures effectuées et regard critique sur celles-ci.</i> )		✗		

Manipulation 3 : <i>Michelson doublet Na</i>	😊😊	😊	😞	😞😞
Temps passé sur cette manipulation ( <i>Temps suffisant pour exploitation et pas trop longtemps non plus.</i> )		✗		
Pertinence avec le titre du montage	✗			
Présentation du dispositif et le but recherché avec celui-ci. ( <i>Sont-ils présents ? Sont-ils de qualité ?</i> )			✗	
Réalisation d'une mesure en direct ( <i>Explication du protocole, point repéré sur les données.</i> )				✗
Analyse et exploitation des résultats. ( <i>Commentaires, comparaison avec une valeur théorique</i> )				✗
Discussion des sources d'erreur et des incertitudes ( <i>écriture, orthographe, axes sur les graphiques, ...</i> )				
Regard critique ( <i>recul sur les mesures effectuées et regard critique sur celles-ci.</i> )				

} abs.

Réponse aux questions	😊😊	😊	😞	😞😞
Sur les choix relatifs des manipulations	✗			
Sur la culture connexe à la présentation	✗			
Sur la connaissance du matériel sorti			✗	
Exploitation en direct de la manip, de l'amélioration ou du jeu de données fourni. Exercice donné : <i>Passage can d'air + mesure indice gaz.</i>			✗	

Commentaires éventuels supplémentaires :