

# Goniomètre - Réseau - Prisme - Fentes d'Young

## Objectifs :

- Utiliser un réseau pour faire de la spectroscopie.
- Utiliser un prisme pour vérifier la loi de Cauchy de la dispersion.
- Utiliser un goniomètre pour observer la figure d'interférence à l'infini par des fentes d'Young.

## Compétences expérimentales exigibles (programme de Sup) :

- Mesurer des angles avec un goniomètre : utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice ; utiliser des vis micrométriques et un réticule.
- Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau.

## I. Goniomètre

### • MANIP 1 : Réglage du goniomètre (15 min max)

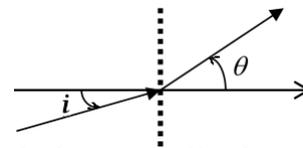
En s'aidant de l'Annexe I :

- effectuer les réglages optiques du goniomètre (lunette, collimateur) ;
- positionner correctement le réseau.

## II. Réseau

On rappelle la relation établie en cours pour le réseau par transmission. On considère un réseau de pas  $a$  et de  $n_t = 1/a$  traits par unité de distance. Pour une lumière parallèle monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = \lambda_0/n$  ( $n = 1,000\dots$  l'indice optique de l'air) et d'incidence  $i$ , l'ordre  $\theta_q$  ( $q \in \mathbb{Z}$ ) est la direction  $\theta_q$  pour laquelle on observe un maximum de luminosité (frange brillante). Il vérifie

$$\sin \theta_q - \sin i = q \frac{\lambda}{a} = q n_t \lambda$$



La mesure de  $\theta_q$  pour une incidence connue permet d'accéder à la longueur d'onde pour faire de la spectroscopie. La difficulté est de bien mesurer les angles par rapport à la normale, ce qui requiert une approche particulière. Pour éviter d'avoir à déterminer la direction de la normale, une méthode élégante consiste à exploiter le minimum de déviation.

**Q1.** Montrer que la déviation  $D_q = |\theta_q - i|$  est minimale lorsque  $\theta_q = -i$ . En déduire que

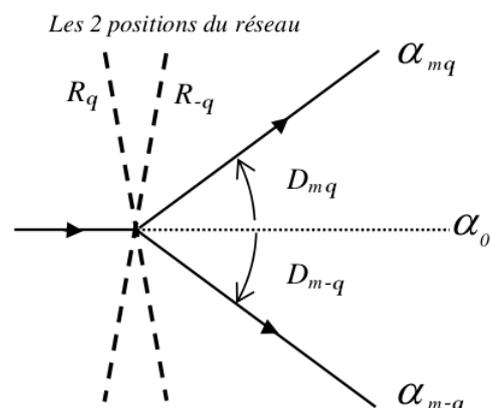
$$\lambda = \frac{2a}{q} \sin \left( \frac{D_{mq}}{2} \right)$$

D'après ce qui précède, pour une direction du faisceau incident donnée, il existe deux positions du réseau pour lequel l'angle de déviation est minimal, correspondant respectivement aux angles  $\theta_{mq}$  et  $\theta_{m-q}$  (respectivement  $\alpha_{m,q}$  et  $\alpha_{m,-q}$  lues sur le vernier). On les obtient séparément lorsque le faisceau diffracté « rebrousse chemin » alors qu'on pivote le réseau.

En notant  $\alpha_0$  la position angulaire de la lunette qui vise le faisceau incident, on obtient :

$$\lambda = \frac{2a}{q} \sin \left( \frac{|\alpha_{mq} - \alpha_0|}{2} \right) \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{2a}{q} \sin \left( \frac{|\alpha_{mq} - \alpha_{m-q}|}{4} \right)$$

la seconde expression offrant une meilleure précision que la première.



Le nombre de traits par mm peut varier de quelques pourcents. On utilise la lumière du mercure comme source d'étalonnage.

• **MANIP 2 : Mesure du pas du réseau**

- Pour le réseau à indiqué à 300 traits/mm, mesurer précisément le pas en utilisant le minimum de déviation de la raie verte du mercure ( $\lambda = 546,0 \text{ nm}$ ) dans l'ordre 1.
- Répéter ces mesures dans l'ordre 2. Comparer avec la valeur précédemment obtenue à l'aide d'un écart normalisé. Conclure quant à l'indication inscrite sur le réseau.
- Mesurer de même le pas du réseau indiqué à 600 traits/mm

• **MANIP 3 : Mesure du doublet du Sodium**

Par la même méthode et avec le réseau à 600 traits par mm, mesurer les deux longueurs d'onde du doublet jaune du sodium.

### III. Prisme

• **MANIP 4 : Positionnement du prisme**

Positionner correctement un prisme sur la plateforme comme indiqué en annexe I. On vérifiera à l'œil que, lorsqu'on se place au minimum de déviation <sup>a</sup>, le faisceau lumineux provenant du collimateur traverse bien le prisme et qu'il est approximativement centré en sortie.

<sup>a</sup>. La lunette inverse l'image. Donc lorsque l'on observe à l'œil nu, non seulement l'ordre des couleurs des raies est inversé, mais aussi la raie rebrousse chemin dans le sens contraire : on a l'impression de voir un maximum de déviation.

• **MANIP 5 : Mesure de l'angle A de l'arête du prisme**

On utilise le dispositif d'autocollimation de la lunette. Proposer une méthode de mesure de l'angle de l'arête utile du prisme et la réaliser. Déterminer son incertitude.

EXERCICE (maison) : *Montrer que*

$$D = i + i' - A \quad \text{et} \quad A = r + r'.$$

En déduire que la déviation minimale  $D_m$  (en valeur absolue) vérifie la relation

$$n \sin\left(\frac{A}{2}\right) = \sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right)$$



Indication : en utilisant le principe de retour inverse et l'unicité de ce minimum de déviation, on en déduit que  $i_m = -i'_m$  (les angles d'entrée et de sortie sont égaux en valeur absolue, la situation est symétrique).

La dispersion dans les diélectriques transparent dans le visible (absorbant dans l'UV) est bien représentée par la loi de Cauchy<sup>1</sup> :

$$n = C + \frac{B}{\lambda^2}$$

On indique les caractéristiques des principales raies visibles de la lampe spectrale au mercure :

<b>intensité</b>	intense	pâle	intense	pâle	très intense	intense
<b>couleur</b>	violet 2	violet 1	bleu-violet	vert-bleu	vert	doublet jaune
<b><math>\lambda</math> (nm)</b>	404,7	407,8	435,8	491,6	546,1	577,0 et 579,1

1. cf exercice dédié dans la feuille sur les Ondes Électromagnétiques dans la matière.

### • MANIP 6 : Vérification de la loi de Cauchy

- Déterminez la déviation minimale  $D_{m\lambda}$  pour chacune des raies du spectre visible du mercure.
- Déterminer l'indice correspondant à chaque longueur d'onde puis valider la loi de Cauchy à l'aide d'une régression linéaire.
- En déduire les coefficients de la loi de Cauchy et leur incertitude par la méthode dite « Monte Carlo » <sup>a.</sup>

a. cf l'algorithme disponible sur mon site.

## IV. Fentes d'Young

### • MANIP 7 : Fentes d'Young

- Placer les fentes d'Young (sur pupille+support) sur le plateau et éclairer avec la lampe au sodium.
- Observer les franges à la lunette. Mesurer l'interfrange angulaire, en déduire l'écart entre les fentes.
- Observer que les franges disparaissent lorsque l'on s'écarte du centre. Donner une explication que l'on justifiera quantitativement. Attention il peut y avoir deux causes.

## ANNEXE I - Réglages du goniomètre - Positionnement du réseau/prisme

Avant toute mesure, il est nécessaire de régler le goniomètre pour que les mesures ne soient pas biaisées.

Le goniomètre est réglé si :

1. la lunette est réglée à l'infini,
2. le collimateur est réglé à l'infini,
3. l'axe optique de la lunette est orthogonal à l'axe de rotation de la plateforme  $\Delta$ ,
4. l'élément dispersif utilisé (réseau ou prisme) est bien positionné sur la plateforme, et la plateforme réglée de sorte que les faces du réseau/prisme soient parallèles à  $\Delta$ .

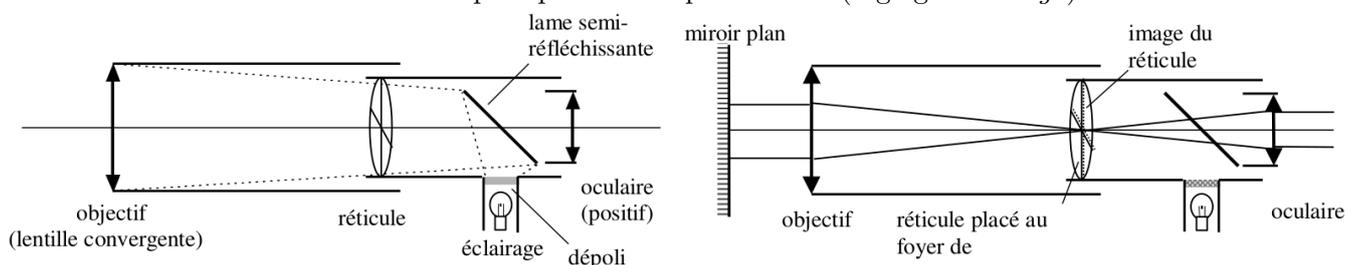
L'inclinaison de l'axe optique de la lunette se règle à l'aide d'une vis d'horizontalité notée  $V_H$ , située sous l'objectif.

Les trois vis de réglage de l'inclinaison de la plateforme sont notées  $V_1, V_2, V_3$ . Il est préférable de s'assurer dès le début qu'elles sont approximativement réglées à mi-course, et la plateforme à peu près horizontale.

### 1. Réglage de la lunette

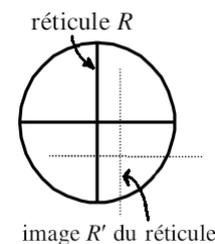
Une lunette auto-collimatrice est une lunette de type astronomique munie d'un réticule (cf ci-dessous à gauche). Entre l'oculaire et le réticule, une lame semi-réfléchissante renvoie la lumière d'une petite lampe disposée sur le côté vers le réticule. Elle permet ainsi de l'éclairer tout en gardant possible la vision à travers la lunette.

Une lunette auto-collimatrice est correctement réglée si l'oculaire est réglé, et si le foyer principal image de l'objectif est placé juste à la croisée des fils du réticule. L'image d'un objet à l'infini se forme donc sur le réticule (cf ci-dessous à droite). Le positionnement du foyer de l'objectif sur le réticule se fait par autocollimation à l'aide d'un miroir plan posé sur la plate-forme (réglage du *tirage*).



REMARQUES :

- On commence par la mise-au-point de l'oculaire, de sorte à voir l'image finale sans accommodation.
- Lors de l'ajustement du *tirage* on vérifie bien que l'image du réticule est sur le réticule par l'absence d'effet de parallaxe lorsqu'on bouge latéralement la tête.



## 2. Réglage du collimateur à l'infini

Le collimateur se règle avec la lunette auto-collimatrice préalablement réglée. L'image de la fente du collimateur doit se former sur le réticule de la lunette. Cela requiert de placer la fente au plan focal de la lentille du collimateur en réglant sa vis de tirage. Lorsque ce réglage est bon, on distingue nettement les irrégularités sur les bords de la fente.

REMARQUE : Pour les mesures, on prendra soin de réduire la largeur de la fente autant que possible pour repérer précisément les raies (sauf manque de luminosité sur les raies peu intenses).

## 3. Réglage de l'axe optique de la lunette (« horizontalité » )

Ce réglage, non exigible, consiste à rendre l'axe optique de la lunette perpendiculaire à l'axe de rotation du plateau.<sup>2</sup> On pourra demander au professeur de le faire pour gagner un peu de temps si besoin.

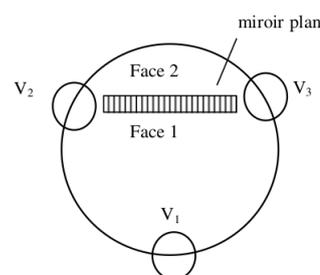
### a. Réglage approximatif

Observer la fente du collimateur avec la lunette. En réglant  $V_H$  placer l'image de la fente du collimateur au centre de la lunette.

REMARQUE : Les goniomètres de marque Ovio (plus frères...) ont la fâcheuse particularité d'avoir un collimateur dont l'inclinaison est aussi réglable, ce qui peut compliquer les choses s'il est très incliné. Vérifier au préalable qu'il est à peu près horizontal.

### b. Réglage fin

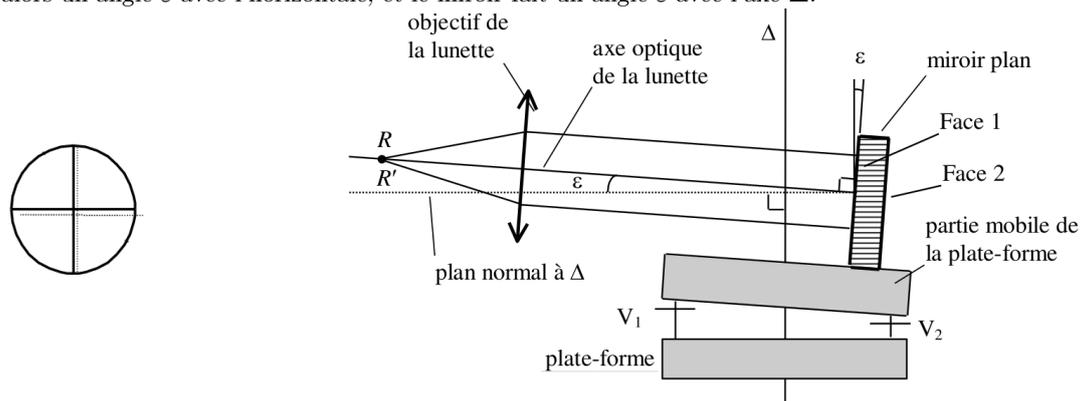
On utilise un miroir plan dont les deux faces sont parallèles et réfléchissantes (une lame à faces parallèles joue très bien ce rôle). On notera  $\mathcal{M}_1$  et  $\mathcal{M}_2$  ses deux faces. On observe à l'aide de la lunette avec la source interne allumée et la séparatrice intercalée. Le réglage consiste à superposer le réticule  $\mathcal{R}$  à son image  $\mathcal{R}'$ .



— Positionner le miroir le long de l'axe ( $V_2V_3$ ).

— Superposer  $\mathcal{R}'$  à  $\mathcal{R}$  en réglant l'inclinaison du miroir par la vis  $V_1$ .

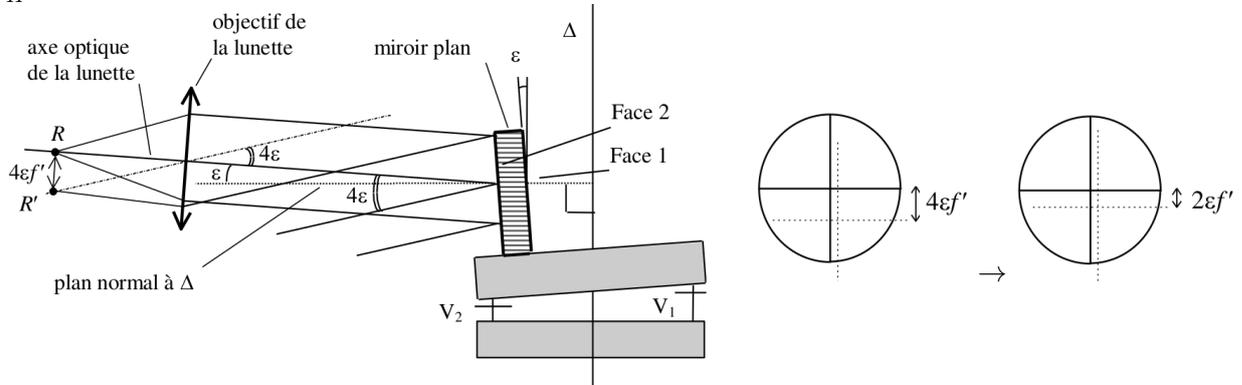
→ A ce stade, l'axe optique de la lunette est orthogonal au miroir (face  $\mathcal{M}_1$  en avant). L'axe optique de la lunette fait alors un angle  $\varepsilon$  avec l'horizontale, et le miroir fait un angle  $\varepsilon$  avec l'axe  $\Delta$ .



2. Souvent appelé réglage d'« horizontalité », l'inclinaison finale dépend du réglage des pieds du goniomètre.

- Tourner la plateforme de  $180^\circ$  (face  $\mathcal{M}_2$  en avant).  
 → A ce stade,  $\mathcal{R}$  et  $\mathcal{R}'$  ne sont alors plus superposés si la lunette n'est pas encore horizontale. L'angle entre les faisceaux incident et émergent est alors de  $4\varepsilon$ .

Réduire de moitié la distance entre les 2 traits horizontaux de  $\mathcal{R}$  et  $\mathcal{R}'$  en ajustant la lunette<sup>3</sup> via  $V_H$ .



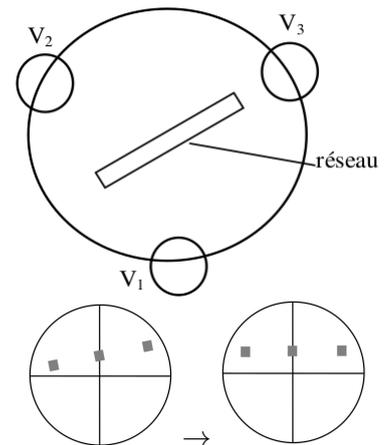
→ A ce stade, l'axe optique de la lunette est maintenant orthogonal à  $\Delta$ .

- En pratique le réglage précédent n'est en général pas parfait du premier coup<sup>4</sup>. On retourne donc la plateforme (face  $\mathcal{M}_1$  en avant), et on réitère les 2 étapes précédentes jusqu'à obtenir des réticules superposés quelque soit la face du miroir.

#### 4. Positionnement du réseau sur la plate-forme

Le réseau est correctement positionné si son plan est parallèle à l'axe  $\Delta$  de rotation de la plate-forme et si les traits du réseau sont aussi parallèles à l'axe  $\Delta$ .

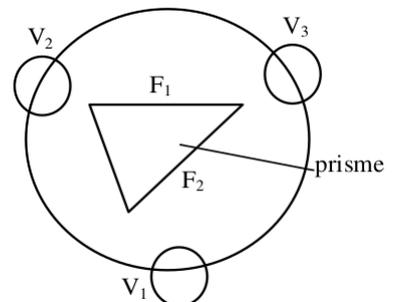
- Placer le réseau selon la médiatrice de  $[V_1V_2]$ . Agir sur  $V_3$  pour verticaliser grossièrement la direction apparente des fentes.
- Ajuster le parallélisme du plan réseau avec  $\Delta$  par autocollimation avec la lunette en agissant sur  $V_1$  et/ou  $V_2$ .
- Si les fentes ne sont alors pas encore tout à fait parallèles à  $\Delta$ , les raies s'étalent selon une direction qui n'est pas tout à fait horizontale. On réduit alors la hauteur de la fente avec un diaphragme afin de révéler cette ligne, puis on l'horizontalise en agissant sur  $V_3$ .



#### 5. Positionnement d'un prisme sur la plate-forme

Le prisme est correctement positionné si son arête utile (celle entre les deux faces polies ou transparentes du prisme) est parallèle à l'axe  $\Delta$  de rotation de la plate-forme.

- Placer le prisme avec la face utile  $\mathcal{F}_1$  parallèle à l'axe  $(V_2V_3)$ . Ainsi la vis  $V_1$  modifie majoritairement l'inclinaison de  $\mathcal{F}_1$  alors que la vis  $V_2$  modifie majoritairement l'inclinaison de  $\mathcal{F}_2$ .
- Ajuster la verticalité des faces  $\mathcal{F}_1$  puis  $\mathcal{F}_2$  successivement par autocollimation avec la lunette, puis itérer ces deux réglages jusqu'à convergence. Lorsque les deux faces sont parallèles à  $\Delta$ , leur intersection, à savoir l'arête, l'est aussi.
- Excentrer légèrement le prisme dans la direction de la médiatrice de  $[V_1V_2]$ , de sorte à assurer la bonne sortie de l'intégralité du faisceau lumineux à travers la face  $\mathcal{F}_2$ .



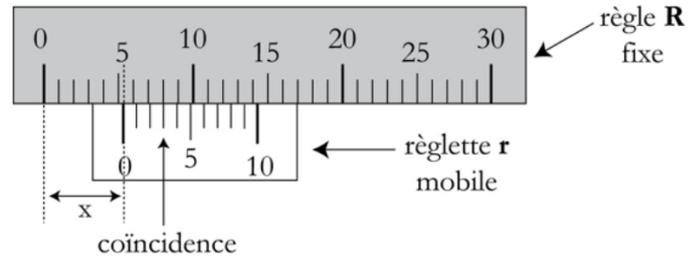
3. Cela correspond à une rotation de la lunette d'un angle  $\varepsilon$ .

4. La division par 2 de l'intervalle entre  $\mathcal{R}$  et  $\mathcal{R}'$  se fait "au jugé", elle est donc approximative.

## ANNEXE II - Le vernier

### Présentation

Un vernier (du nom de son inventeur, Pierre Vernier) est un système permettant l'amélioration de la précision de la lecture d'une position sur une règle **R**. Le vernier est constitué d'une réglette mobile, **r** (vernier), qui se déplace le long d'une règle fixe, **R**. C'est la position du zéro de la règle mobile **r** qui donne la position que l'on cherche à relever.



Un vernier est dit au  $n$ -ième si  $n$  graduations de **r** correspondent à  $n - 1$  graduations de **R**. L'exemple proposé ci-dessus est un vernier au  $1/10$  : 10 graduations de **r** correspondent à 9 graduations de **R** et donc 1 graduation de **r** représente  $9/10$  divisions de **R**.

### Lecture d'une position

On voit sur l'exemple ci-dessus que la graduation 8 de **R** coïncide avec la graduation 3 de **r** donc :  $8 = x + 3 * 9/10$  dont on tire  $x = 8,3$ .

La lecture de  $x$  peut se faire directement, sans calcul :

- repérer d'abord la graduation de la règle **R** immédiatement antérieure au zéro du vernier (ici entre les divisions 5 et 6  $\rightarrow x = 5, \dots$ ). Cela donne une lecture grossière de  $x$ , à une graduation de **R** près.
- puis repérer la graduation coïncidente de la règle **r** par rapport à **R** (ici la division 3) qui vient directement s'ajouter à la première lecture ( $\rightarrow x = 5,3$ ).

Dans le cas d'une lecture d'angle, il est fréquent d'avoir des verniers au 30<sup>ème</sup> : la réglette **r** possède 30 divisions correspondant à 29 divisions de **R**, graduée en demi-degrés, soit  $14,5^\circ$ . Sur l'exemple ci-dessous on lit :  $x=11^\circ 12'$ .

