

**Objectif :** Réaliser des expériences de spectrométrie avec un goniomètre.

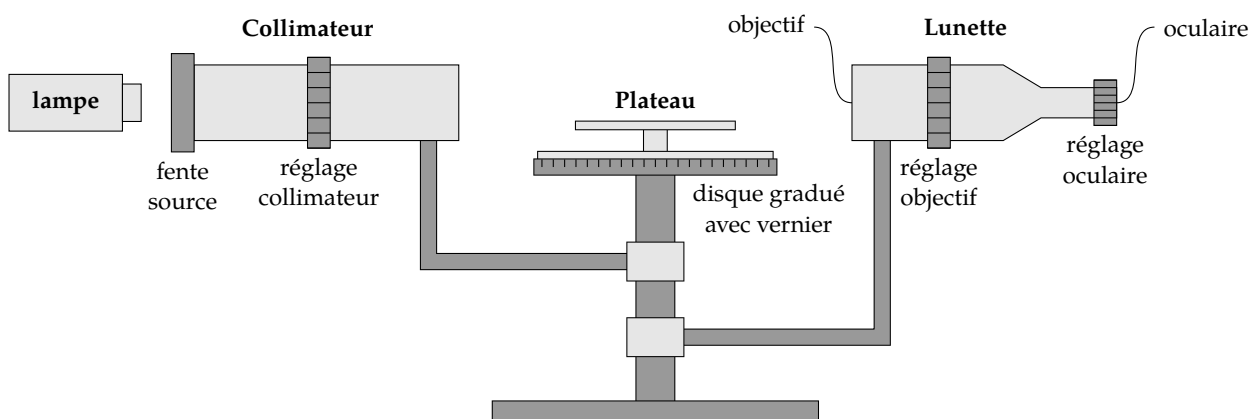
### Matériel

- une lampe spectrale au sodium et d'autres lampes spectrales disponibles ;
- un goniomètre, un prisme, un petit miroir.

## I Réglage du goniomètre

Un goniomètre est un appareil d'optique permettant d'étudier les sources spectrales. Le but de ce TP est d'apprendre à le régler et de mesurer les angles de déviation d'un prisme. L'intérêt d'un goniomètre est de pouvoir mesurer des déviations angulaires de manière très précise. L'appareil est constitué de trois éléments principaux :

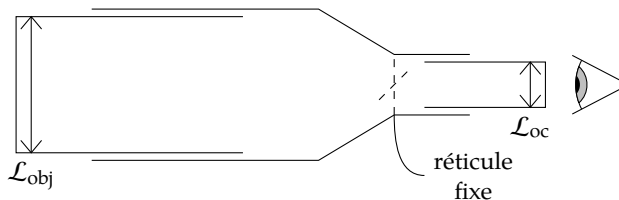
- une **lunette** que l'on règle de manière afocale ;
- un **plateau** sur lequel on dispose le prisme muni d'un système de mesure d'angle que l'on nomme vernier ;
- un **collimateur** (lentille convergente) équipé d'une fente ; cette fente de largeur réglable sera éclairée par la **lampe** spectrale que l'on souhaite étudier.



L'ensemble « prisme - plateau » devra être placé grossièrement horizontalement. Il reste ensuite à réaliser les réglages d'optique c'est-à-dire, **dans l'ordre**, celui de la lunette de visée et celui du collimateur.

### I.1 Réglage de la lunette

La lunette est constituée de deux lentilles convergentes : l'objectif  $\mathcal{L}_{\text{obj}}$  et l'oculaire  $\mathcal{L}_{\text{oc}}$ .



Le dispositif possède un réticule qui doit être placé au foyer objet de l'oculaire  $F_{\text{oc}}$  pour être vu net sans accommoder. Le réticule permet de viser précisément des objets.

#### Expérience 1 – Réglage de la lunette de visée

- ☞ Mettre en marche le dispositif d'éclairage du réticule puis déplacer l'oculaire jusqu'à voir nettement et sans accommoder les fils du réticule (ce réglage est **personnel**).
- ☞ Régler ensuite par auto-collimation la distance objectif-réticule. Pour cela, placer un miroir devant l'objectif et régler la distance objectif-réticule de façon à obtenir une image nette du réticule à travers l'oculaire. Cette image doit se situer dans le plan du réticule.
- ☞ Éteindre le dispositif d'éclairage du réticule.

## I.2 Réglage du collimateur

Le collimateur est constitué d'une fente de largeur réglable placée avant une lentille convergente. On éclaire la fente à l'aide de la source de lumière que l'on souhaite étudier ; cette fente constitue alors un objet. Pour pouvoir l'observer avec la lunette (afocale!), il faut que son image à travers la lentille soit à l'infini.

1. Où doit être placé la fente pour réaliser cette condition ?

### Expérience 2 – Réglage du collimateur

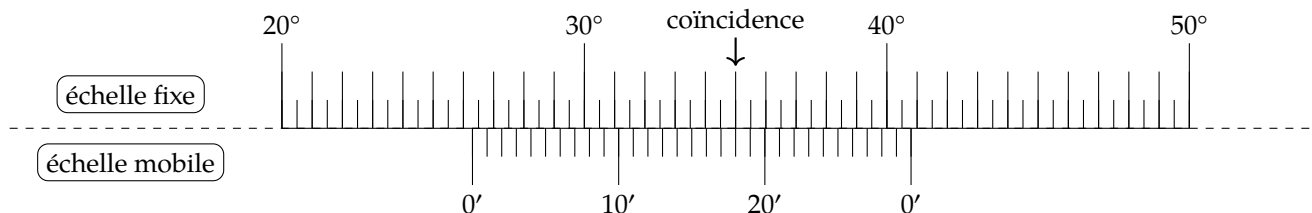
- ☞ Positionner la lunette de visée dans l'axe du collimateur.
- ☞ Éclairer la fente source à l'aide d'une lampe au sodium (la fente doit être fine), puis ajuster la position de la fente par rapport à la lentille convergente de manière à voir son image nette à travers la lunette (veiller à ce que la fente et le réticule soient disposés de façon verticale).

Appeler le professeur.

## I.3 Lecture d'un angle avec un vernier

Un vernier (du nom de M. VERNIER, son inventeur) se compose de deux parties :

- ▶ Une échelle **fixe** graduée en degrés.
- ▶ Une échelle **mobile** pour laquelle les graduations correspondent aux minutes d'arc. On rappelle qu'il y a 60 minutes d'arc dans un degré :  $60' = 1^\circ$ .



La lecture d'un angle se fait en deux temps :

- ▶ Lire sur le cercle gradué *fixe* la valeur  $d$  (en degrés et demi-degrés) correspondant à la position du zéro du vernier, en prenant la valeur la plus basse.
- ▶ Chercher ensuite la graduation  $m$  du cercle *mobile* en coïncidence avec une graduation du cercle fixe ;  $m$  représente les minutes puisqu'il y a 30 divisions pour un intervalle de un demi-degré.

Dans l'exemple ci-dessus, le zéro de l'échelle mobile est entre les graduations  $26,0^\circ$  et  $26,5^\circ$  donc  $d = 26,0^\circ$  ; la coïncidence donne  $m = 18'$  donc

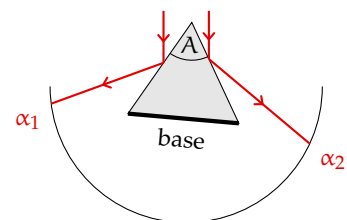
$$x = 26,0^\circ + 18' = 26,0^\circ + 0,3^\circ = 26,3^\circ \quad (1)$$

## II Étude du prisme

### II.1 Mesure de l'angle au sommet du prisme

#### Expérience 3 – Mesure de l'angle au sommet du prisme

- ☞ Diriger approximativement l'arête du prisme vers le collimateur éclairé par la lampe à vapeur de sodium.
- ☞ Viser successivement à l'aide de la lunette les deux faisceaux réfléchis par les 2 faces du prisme (sans bouger le prisme!). Faire en sorte de ne pas passer par 0 sur le vernier.
- ☞ Noter les positions angulaires  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  de la lunette.



2. Montrer (géométriquement) que l'on a  $2A = |\alpha_1 - \alpha_2|$ .
3. En déduire une mesure  $A$  ainsi que son incertitude-type. On rappelle que si  $Y = X_1 \pm X_2$ , alors sous certaines hypothèses supposées toujours vérifiées

$$u(Y) = \sqrt{u(X_1)^2 + u(X_2)^2} \quad (2)$$

4. Cette mesure aurait-elle pu être réalisée en lumière blanche ? Pourquoi ?

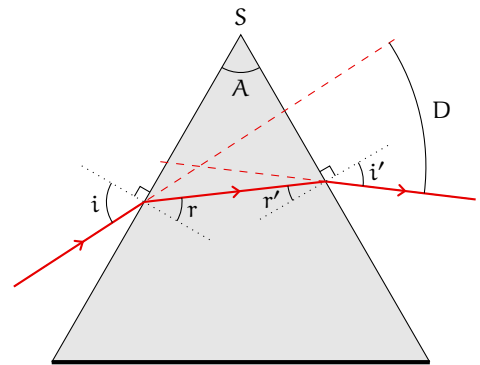
## II.2 L'angle minimum de déviation

### II.2.a Présentation

On considère un prisme de verre et d'angle au sommet  $A$ . Un rayon arrive sur la face d'entrée du prisme avec un angle d'incidence  $i$ . Le milieu extérieur est de l'air d'indice  $n = 1$ . L'angle entre le rayon incident et le rayon émergent est noté  $D$  : c'est l'angle de déviation.

On peut montrer que cet angle de déviation admet un minimum noté  $D_{\min}$ . Ainsi, quel que soit l'angle d'incidence, cet angle ne pourra pas être inférieur à cette limite. On montre à l'aide des lois de Descartes que cet angle est donné *via* l'indice optique  $n$  du verre par la relation

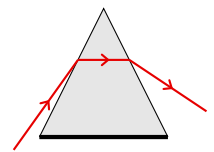
$$n \cdot \sin\left(\frac{A}{2}\right) = \sin\left(\frac{D_{\min} + A}{2}\right)$$



### II.2.b Repérage du minimum de déviation

#### Expérience 4 – Repérage du minimum de déviation

- ☞ Éclairer le prisme en incidence la plus rasante possible comme schématisé ci-contre. En regardant directement dans le prisme, chercher le rayon dévié à l'œil nu. Positionner la lunette de visée dans cette direction et viser précisément la lumière réfractée.
- ☞ Faire ensuite tourner l'embase du prisme de façon à se rapprocher de l'incidence normale tout en observant à la lunette la lumière réfractée. La raie lumineuse réfractée se déplace d'abord dans le sens de rotation du prisme puis repart en sens inverse (sensation d'aller-retour).
- ☞ Viser précisément la raie lumineuse lorsque son sens de déplacement s'inverse : c'est le minimum de déviation.



### II.2.c Mesure de l'angle

#### Expérience 5 – Mesure de l'angle

- ☞ Noter très précisément (à l'aide du vernier) la position angulaire  $\beta_1$  de la lunette une fois pointée en direction de ce minimum de déviation.
- ☞ Amener le prisme dans la position symétrique de la position précédente par rapport au collimateur, c'est-à-dire de manière à ce que ce dernier éclaire l'autre face du prisme, et refaire le réglage du minimum de déviation.
- ☞ Noter très précisément la nouvelle position angulaire  $\beta_2$  de la lunette.

5. Montrer que la valeur  $D_{\min}$  du minimum de déviation est donnée théoriquement par  $2 D_{\min} = |\beta_1 - \beta_2|$ .
6. En utilisant la relation donnant le minimum de déviation, en déduire l'indice du prisme pour le doublet jaune du sodium ( $\lambda = 586 \text{ nm}$ ).

L'incertitude sur  $n$  sera estimée à partir de l'incertitude sur les mesures d'angles. Utiliser python pour déterminer l'incertitude à l'aide d'une simulation Monte-Carlo.

## II.3 Étude de la dispersion – si le temps le permet

#### Expérience 6 – Étude de la dispersion

- ☞ Remplacer la lampe au sodium par une autre lampe spectrale et mesurer les déviations minimales pour les diverses raies.

Pour des raisons d'efficacité, il est conseillé de mesurer d'abord toutes les positions  $\beta_1$  pour toutes les longueurs d'onde puis de tourner le prisme pour mesurer ensuite toutes les positions  $\beta_2$ .

7. En utilisant les longueurs d'ondes tabulées de la lampe spectrale, calculer les indices pour les diverses longueurs d'onde. Tracer  $n$  en fonction de  $\lambda_0^{-2}$ . Cette courbe est la loi de Cauchy qui donne l'indice optique du verre en fonction de la longueur d'onde dans le vide :

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda_0^2} \quad (3)$$