

TP5 : Prisme et spectrophotométrie

Objectif :

- Utiliser les lois de la réflexion et de la réfraction de Descartes pour déterminer l'angle au sommet d'un prisme.
- Déterminer une longueur d'onde avec un spectrogoniomètre à prisme.

Complément Internet (à regarder avant de venir en TP !) : Animations qui présentent :

- un spectrogoniomètre et ses utilisations :

http://www.labophysique.com/videos/opt_presentation_spectrogoniometre.WMV

- le principe du réglage d'une lunette autocollimatrice (lunette à l'infini) :

<http://www.youtube.com/watch?v=tgPb0TsmSR8>

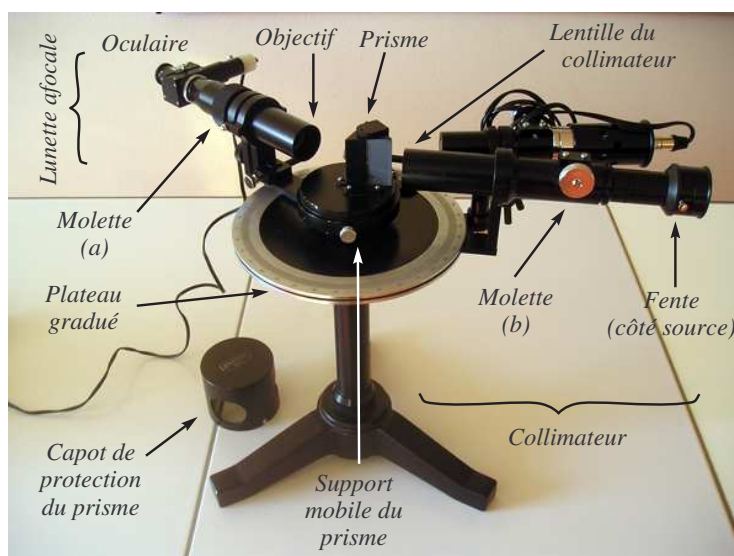
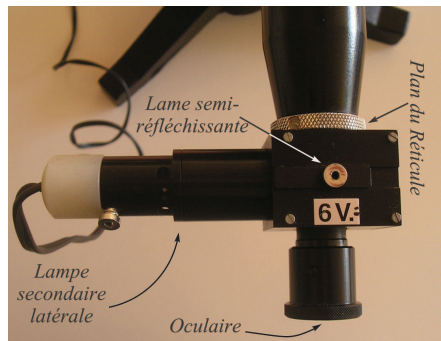
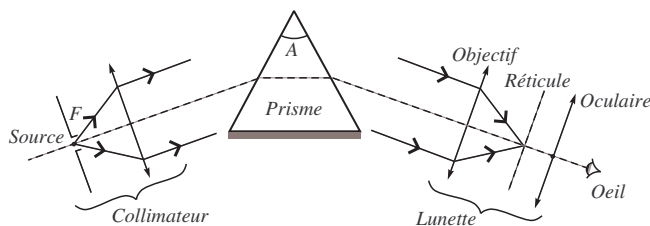
- le principe du réglage d'un collimateur : http://www.youtube.com/watch?v=e07kP_LZjFw

I Le spectrogoniomètre à prisme : Présentation

◇ **Définition** : De façon générale :

- un **goniomètre** sert à mesurer des angles
- et un **spectroscope** sert à mesurer des longueur d'ondes.

Un goniomètre est essentiellement constitué d'un plateau horizontal circulaire gradué autour duquel peuvent se déplacer un collimateur muni d'une fente réglable et une lunette. Les rayons issus du collimateur traversent le prisme, placé au centre avant d'être recueillis par la lunette. (Un micromètre peut être utilisé lorsqu'on fait de la spectroscopie).



1) La lunette : Elle est destinée à observer l'image d'objets à l'infini se formant dans le plan du réticule. Le premier réglage à effectuer est le tirage de l'oculaire qui doit donner du réticule une image à l'infini visible sans accommodation par un œil normal ou bien corrigé. On ajuste ensuite le tirage de l'objectif pour pouvoir observer à l'infini : ici, par auto-collimation, puisque la lunette est pourvue de ce dispositif (→ Cf §II).

2) Le collimateur : Il est essentiellement constitué d'une fente de largeur réglable, éclairée par la source étudiée, et d'une lentille destinée à en donner une image à l'infini (→ Cf §III). On utilise la lunette déjà réglée pour ajuster le tirage du collimateur (de façon à voir l'image de la fente dans le plan du réticule). On règle l'inclinaison de l'axe de la lunette si l'image n'est pas au centre du réticule.

3) Le prisme : Il est monté sur un plateau tournant et l'ensemble est à manipuler avec précaution, sans toucher le prisme avec les doigts. Avant de pouvoir faire de la spectroscopie (mesure de longueurs d'ondes), il est nécessaire de connaître précisément l'angle au sommet \hat{A} du prisme → Cf §V.

4) Le cercle gradué et le vernier :

Observer les graduations du cercle et du vernier qui permettent des relevés angulaires à environ 2 minutes d'angle près. Le cercle gradué donne le degré et le demi degré (soit $30'$). La division du vernier qui est en coïncidence avec une division du cercle gradué donne la minute.

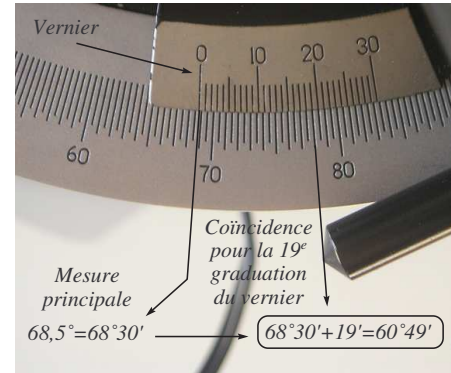
Sur l'exemple de la photographie ci-contre :

à la mesure principale fournie par l'angle mesuré au demi-degré près qui précède le « zéro » du vernier ($68,5^\circ$), il faut ajouter le nombre de minutes d'angle correspondant à la première graduation du vernier qui entre en coïncidence avec une des graduations principale du cercle gradué ($19'$). Soit : $\alpha = 68,5^\circ + 19' = 68^\circ + 0,5 \times 60' + 19' = 68^\circ 49'$.

Comme la seconde mesure se fait à $\pm 1'$ (on peut hésiter entre une graduation et sa voisine), on a : $\alpha = 68^\circ 49' \pm 1'$.

Complément Internet : Animation qui permet de s'entraîner à la mesure d'un angle avec un vernier :

<http://www.webphysique.fr/ejs/vernier.html>.



Rq : une minute d'arc correspond à un soixantième de degré : par exemple, $127^\circ 51'$ correspond à $127^\circ + \frac{51}{60} = 127,85^\circ$.

5) Le collimateur auxiliaire : On ne l'utilisera pas dans ce TP.

Le goniomètre est un instrument assez fragile qu'il convient d'utiliser avec soin :

- Les surfaces optiques ne doivent pas être touchées (surtout pas avec un crayon!) ; ne pas essayer d'essuyer sans précaution une trace.
- Le prisme utilisé est en verre fragile et ... coûteux : ne plus le toucher une fois posé sur la plate-forme tournante ; faire très attention, lorsqu'on manipule dans la pénombre et que l'on tâtonne pour accéder à une vis de réglage, à ne pas le faire tomber.
- Les axes mécaniques peuvent être bloqués en position par des vis (vis du collimateur ou de la lunette afocale sous le plateau gradué, vis du support du prisme) : il ne faut alors jamais forcer la rotation à la main (usure des paliers, jeu prématuré causes d'imprécisions) et desserrer les vis avant de déplacer les instruments.
- La lampe spectrale utilise une ampoule à vapeur de sodium coûteuse et fragile. Ces lampes sont longues à se mettre en température (10 min) et ne doivent pas être rallumées juste après avoir été éteintes.

→ Ne pas l'éteindre pendant la manipulation et la laisser allumer pour le groupe suivant.

II Lunette afocale

II.1 Éléments de base d'une lunette

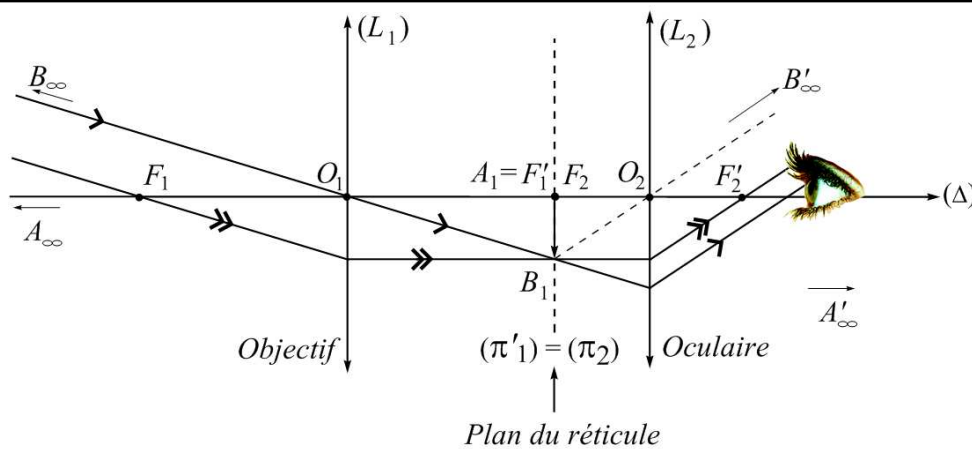
◇ **Définition :** Une **lunette** comprend :

- un **objectif** (\mathcal{L}_1) : c'est une lentille convergente : elle donne de l'objet AB observé (« pointé ») une image intermédiaire A_1B_1 .
- un **oculaire** (\mathcal{L}_2) : pour observer « à la loupe » l'image intermédiaire. Pour ce faire, il faut que A_1B_1 soit placée dans (π_2) plan focal objet de l'oculaire (pour qu'un œil normal observe au repos / n'accomode pas).
- un **réticule** : mire qui doit être placée dans le plan de l'image intermédiaire (i.e. (π_2) pour un œil normal).

Rq : les lunettes dites « autocollimatrices » possèdent en plus un système d'éclairage du réticule.

II.2 Lunette de visée à l'infini (Lunette « afocale »)

◇ **Définition** : Le but d'une **lunette afocale** est d'observer, sans accommoder, un objet placé à l'infini.



► Réglage pour un œil normal :

(1) **Réglage de l'Oculaire** : on règle la distance {Réticule-Oculaire} pour voir le réticule net, sans accommoder (en regardant « dans le vague », donc).

⇒ Pour un œil normal le réticule se trouve alors en (π_2) , plan focal objet de l'oculaire.

Alors, si le réglage est correct, l'œil regardant à l'infini « s'accroche » directement sur le réticule.

(2) **Réglage de l'Objectif** : on règle le tirage de la lunette en déplaçant l'objectif pour faire coïncider (π'_1) et (π_2) .

⇒ Alors, l'image intermédiaire de l'objet à l'infini, qui se forme dans (π'_1) , coïncide avec le plan du réticule ((π_2)).

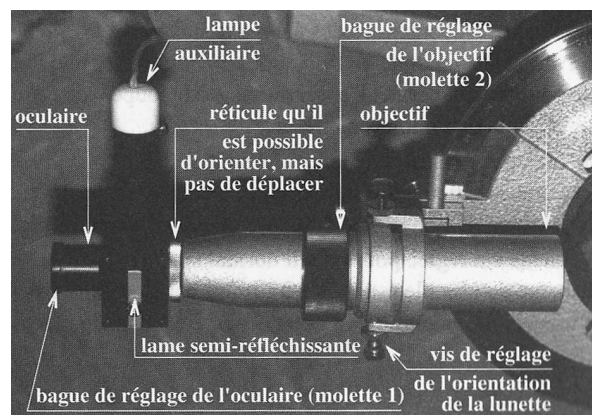
Conclusion : La lunette est réglée.

Rq :

Une fois la lunette réglée, ne jamais modifier le tirage de l'Objectif, c'est-à-dire la distance entre l'Objectif et l'ensemble {Réticule-Oculaire}...

Car sinon, l'image intermédiaire de l'objet ne coïncide plus avec le réticule, et tout le réglage est à recommencer !!

(3) Pour un utilisateur à la vue différente de celui qui a fait le réglage, il suffit de modifier la distance {Réticule-Oculaire}.



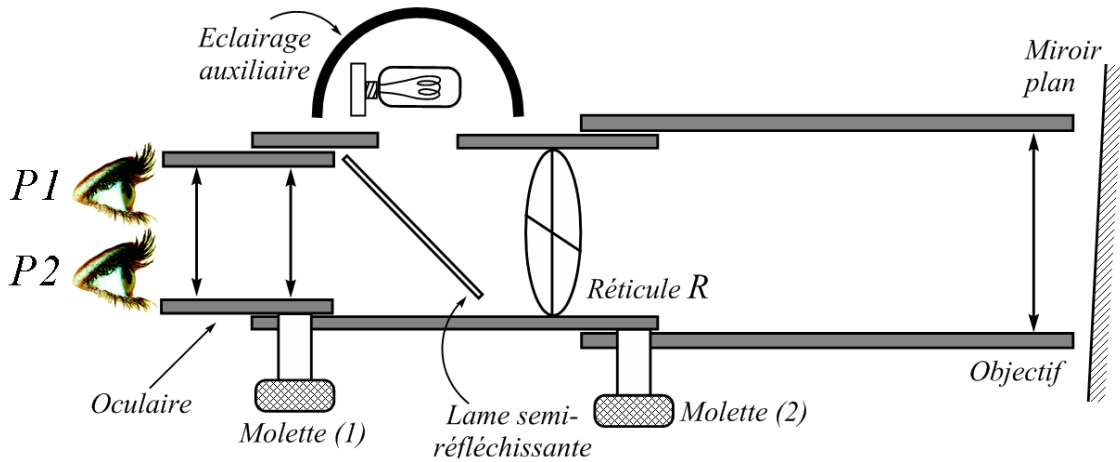
► La question qui nous taraude tous : **comment réaliser, en pratique, l'étape « (2) Réglage de l'Objectif » ?**

Deux solutions :

- soit on pointe un objet lointain assimilable à un objet à l'infini (clocher, arbre,...) (Cf. photo ci-contre)

- soit la lunette est « autocollimatrice » et on peut alors régler l'Objectif par autocollimation (cf. schéma descriptif ci-dessous).





$$\begin{matrix} \text{Réticule } R & \xrightarrow[\text{(\mathcal{L}_1)}]{\text{Objectif}} & \infty & \xrightarrow{\text{Miroir}} & \infty & \xrightarrow[\text{(\mathcal{L}_1)}]{\text{Objectif}} & R^* \\ (\pi_2) = (\pi'_1) & & & & & & (\pi'_1) \end{matrix}$$

Si le réticule, qui est, suite à **1**), dans le plan focal objet (π_2) de l'Oculaire, est également dans le plan focal image (π'_1) de l'Objectif (ce qu'on veut !!), alors, son image à travers le système optique {Objectif-Miroir-Objectif} se formera dans son propre plan.

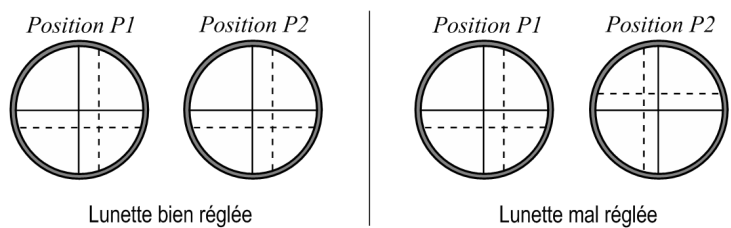
Alors, R et R^* , le réticule et son image obtenue par autocollimation, deviennent des objets pour l'Oculaire (\mathcal{L}_2). Leurs images finales R' et R'^* sont dans le même plan conjugué de (π_2) (c'est-à-dire, à l'infini).

$$R = R^* \xrightarrow[\text{(\mathcal{L}_2)}]{\text{Oculaire}} R'_\infty = R'^*_\infty$$

Conclusion : lorsqu'on voit en même temps R' et R'^* nets, c'est que R et R^* sont dans le même plan, donc $(\pi'_1) = (\pi_2)$: l'Objectif est réglé.

Rq : Ce réglage est *très important* pour la précision des mesures à venir et nécessite donc une grande précision.

Si la lunette est mal réglée, R et R^* ne sont pas dans le même plan. Alors, lorsqu'on déplace l'œil latéralement devant l'Oculaire, R'^* se déplace par rapport à R' . C'est l'« erreur de parallaxe ».



III Collimateur

◇ **Définition :** Un **collimateur** permet de simuler un objet à l'infini.

Constitution : Il est constitué d'une lentille convergente, d'un objet (qui peut-être une simple fente) et d'un système d'éclairage.

Csqqe : Quand l'objet est dans le plan focal objet de la lentille, l'image est à l'infini et peut servir d'objet à l'infini pour un système optique placé en sortie (la lunette par exemple).

Réglage : Pour régler le collimateur, il faut avoir préalablement réglé la lunette à l'infini. On place la lunette afocale en sortie du collimateur. On voit net à travers la lunette uniquement quand les rayons qui y pénètrent semblent provenir de l'infini, c'est à dire quand le collimateur est réglé.

IV Réglages optique du spectogoniomètre

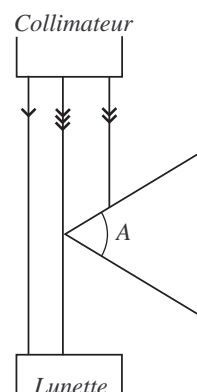
◆ Technique à connaître (avant de venir en TP) et à maîtriser ◆

- (1) Allumer l'éclairage latéral du réticule de la lunette autocollimatrice (ampoule 6 V) et mettre en place la lame semi-réfléchissante de la lunette.
- (2) Régler la position de l'oculaire de la lunette pour que le réticule (croix) apparaisse net.
- (3) Faire la mise au point de la lunette sur l'infini grâce à la molette (a) en utilisant la **méthode d'auto-collimation** ; on utilisera un petit miroir plan que l'on plaquera contre l'objectif de la lunette.
- (4) Retirer la lame semi-réfléchissante.
- (5) Éclairer la fente avec la lampe à vapeur de sodium, en plaçant celle-ci très proche de la fente et en réglant sa hauteur avant de l'allumer. Dans un premier temps (pour régler le collimateur), éclairer les bords de la fente, et ouvrir fortement celle-ci.
- (6) Placer la lunette devant le collimateur et observer la fente (attention ! déplacer la source si votre oeil reçoit trop de lumière : pour ce réglage, l'éclairage de la fente doit être latéral, non pas frontal!).
- (7) Régler le tirage du collimateur (molette (b) ou en déplaçant manuellement la fente selon le goniomètre) pour que cette fente apparaisse la plus nette possible (on doit voir les détails du métal des bords de la fente).
- (8) Fermer la fente pour qu'elle soit la plus fine possible. Placer la source frontalement par rapport à la fente, pour que cette dernière soit la plus lumineuse possible. Mettre la fente et le réticule bien verticaux et **ne plus modifier ces réglages pendant tout le T.P.**

Rq1 : On cherchera toujours à obtenir une fente fine mais assez lumineuse pour pouvoir faire des mesures précises.

Rq2 : Lorsqu'on sera amené à relever la position angulaire α ou β de la lunette, on bloquera la lunette en serrant la vis correspondante, puis on ajustera à l'aide de la vis micrométrique avant de faire la mesure à l'aide du vernier.

Rq3 : Lorsqu'on sera amené à relever la position angulaire α ou β de la lunette (\rightarrow Cf §V), on bloquera la lunette en serrant la vis correspondante, puis on ajustera à l'aide de la vis micrométrique avant de faire la mesure à l'aide du vernier.

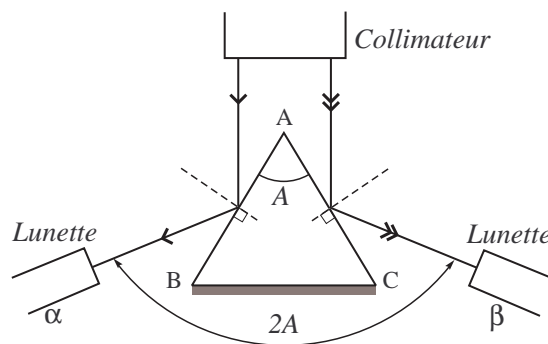


V Mesures de l'angle au sommet du prisme

a Schéma

b Mesures

- 1) Placer le prisme (sans son capot) dans le socle prévu à cet effet.
- 2) Éclairer le prisme comme cela est indiqué sur le schéma en ouvrant la fente.
- 3) Amener le réticule de la lunette de visée en coïncidence avec l'image par réflexion à gauche sur la face AB du prisme.
- 4) Fermer la fente et mesurer la position angulaire α de la lunette (graduation à gauche par réflexion).
- 5) Recommencer l'opération pour l'image par réflexion à droite sur la face AC, noter β .

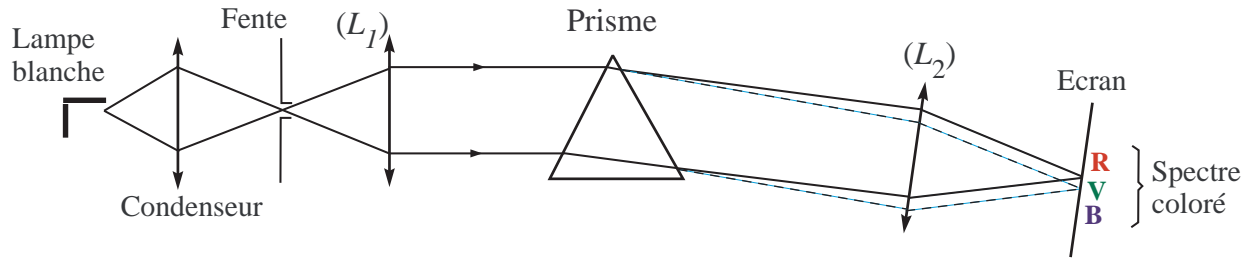


6) Estimer l'erreur de pointage et l'erreur de lecture sur α et β .

c Compte-rendu

- Consigner les valeurs α , β , $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$. Démontrer que $|\alpha - \beta| = 2A$.
- Estimer ΔA , l'incertitude absolue sur A . Calculer $\frac{\Delta A}{A}$, l'incertitude relative.
- Présenter le résultat sous la forme $A = \dots \pm \dots$ en degrés et minutes d'angles.

VI DISPERSION DE LA LUMIÈRE PAR LE PRISME

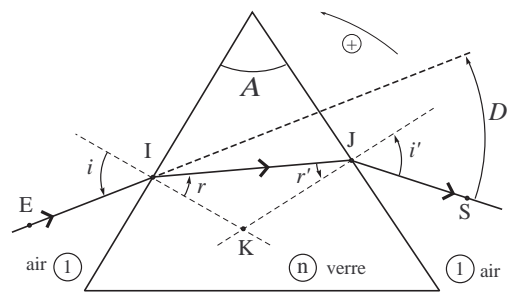


VI.1 Théorie

n désigne l'indice optique du verre constituant le prisme.

On rappelle les formules du prisme (qu'il faut savoir établir!) :

- ① $A = r + r'$
- ② $D = i + i' - A$
- ③ $\sin i = n \cdot \sin r$
- ④ $\sin i' = n \cdot \sin r'$



→ Monter que (pour une longueur d'onde λ donnée) quand D passe par un minimum D_m , on a :

$$i_m = i'_m = \frac{D_m + A}{2} \quad \text{et} \quad r_m = r'_m = \frac{A}{2}$$

On en déduit l'indice n :

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

VI.2 Minimum de déviation pour une longueur d'onde donnée

- Cf Schéma page suivante.
- 1) On éclaire la lampe à vapeur de sodium. Placer les instruments dans une des deux configuration de la figure ci-contre.
- 2) Observer à l'œil nu la face de sortie du prisme. Tourner le support du prisme jusqu'à observer un spectre de raies (on observe facilement, sans accommoder, les radiations rouge, jaune et vertes).
- 3) Tourner encore le support du prisme et suivre l'image toujours à l'œil nu : on doit constater que le déplacement de l'image change de sens et qu'il existe donc un extremum de l'angle de déviation D ; vérifier qu'il s'agit bien d'un minimum D_m .
- 4) Observer ensuite ce minimum à la lunette.

5) Amener le centre du réticule le plus proche possible du centre de l'image de la fente jaune (par exemple ; d'autant plus que c'est la plus intense) du collimateur et tourner lentement le support du prisme pour affiner la recherche du minimum de déviation.

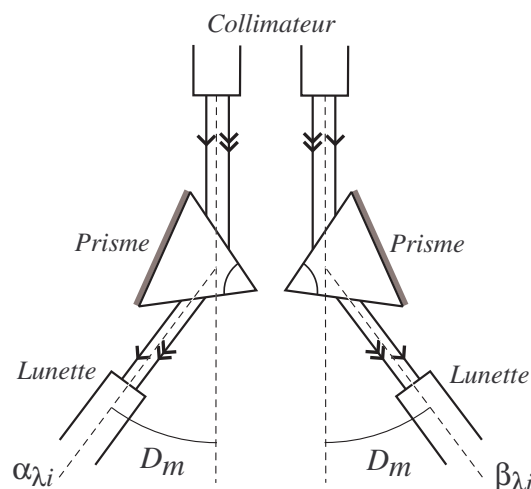
6) Bloquer le support du prisme avec la vis correspondante.

7) Faire coïncider le centre du réticule avec le centre de l'image de la fente du collimateur. Bloquera la lunette en serrant la vis correspondante puis, si besoin, ajuster à l'aide de la vis micrométrique.

8) Mesurer précisément la position angulaire α_{λ_i} ou β_{λ_i} .

9) La déviation minimale pour λ_i est alors donnée par la relation :

$$D_{m,\lambda_i} = \frac{|\alpha_{\lambda_i} - \beta_{\lambda_i}|}{2}$$



10) On peut en déduire l'indice $n(\lambda_i)$ du prisme pour cette longueur d'onde λ_i à l'aide de la relation établie en §VI.2

VI.3 Spectre étalonné du sodium et Mesures

Couleur	1. Rouge	2. Jaune	3. Vert-jaune	4. Vert	5. Bleu-vert	6. Bleu-violet	7. Violet
λ_i (nm)	617,5	589,3	568,5	515,2	498,1	475,0	466,7
Luminosité	Intense	Intense	Intense	Intense	Intense	Faible	Intense
α_{λ_i}							
β_{λ_i}							
D_{m,λ_i}							
n_{λ_i}							
$\frac{1}{\lambda_i^2}$ (nm ⁻²)							

1) Il faut savoir démontrer que $n_{\lambda_i} = \frac{\sin\left(\frac{A + D_{m,\lambda_i}}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$ (Cf. §VI.2)

2) Savoir établir $D_m = \frac{|\alpha_{\lambda_i} - \beta_{\lambda_i}|}{2}$.

3) Procéder à la mesure du minimum de déviation (et en déduire l'indice du prisme) pour les principales longueurs d'ondes de la lampe à vapeur de sodium.

Rq1 : Attention ! Le minimum de déviation dépendant de la longueur d'onde, le réglage et la mesure sont à recommencer pour chaque longueur d'onde.

Rq2 : Pour les raies très intenses, fermer légèrement la fente du collimateur de façon à gagner en précision. Au contraire, il faudra certainement ouvrir la fente de façon à visualiser une raie peu intense.

VI.4 Vérification de la loi de Cauchy-Raileigh $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$

1) Positionner les points $\left(\frac{1}{\lambda_i}, n_{\lambda_i}\right)$ dans le plan (Oxy) où $x = \frac{1}{\lambda^2}$ et $y = n$.

2) Si la loi de CAUCHY est vérifiée, le graphe $n = n\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$ est une droite de la forme $y = ax + b$ où $b = A$ est sans dimension et $a = B$ en nm^2 .

3) Effectuer une régression linéaire :

- **savoir la faire à la calculatrice**

- noter les valeurs $x = \frac{1}{\lambda^2}$ et $y = n$.

- effectuer une régression linéaire après avoir tracé la courbe $n = n\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$ pour les valeurs expérimentales trouvées.

- noter les valeurs de A et B correspondantes

- commenter cette modélisation en considérant le coefficient de corrélation r : la loi de CAUCHY est-elle vérifiée?

VI.5 Courbe d'étalonnage $D_m = D_m(\lambda)$

→ Sur la feuille de papier millimétré, placer les points expérimentaux $(n, D_m(\lambda))$ et tracer la courbe $D_m = D_m(\lambda)$ correspondante.

VI.6 Détermination de longueurs d'onde inconnues

Principe : En mesurant le minimum de déviation pour une radiation de longueur d'onde inconnue mais avec un prisme dont on connaît désormais l'indice $n(\lambda)$ (à l'aide de la courbe d'étalonnage $D_m(\lambda)$ ou des valeurs de A et B), il est possible de déterminer λ .

→ Remplacer la lampe à vapeur de sodium par la lampe à vapeur de mercure et observer le nouveau spectre de raies.

→ Pour plusieurs raies intenses, déterminer précisément la valeur du minimum de déviation D_{m,λ_i} . On en déduit $n(\lambda_i)$.

→ À l'aide de la courbe d'étalonnage $D_m = D_m(\lambda)$ ou de la courbe $n\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$ précédente, en déduire les longueurs d'ondes inconnues λ_i .

Comparer vos mesures aux valeurs tabulées :

Couleur	1. Rge	2. Rge	3. Jne	4. Jne	5. Vert	6. Bl.-V.	7. Indigo	8. Viol.	9. Viol.
	Faible	Faible	Intense	Intense	Intense	Intense	Intense	Faible	Intense
α_{λ_i}									
β_{λ_i}									
D_{m,λ_i}									
n_{λ_i}									
$\lambda_i (nm)$									
$\lambda_{i,tab} (nm)$	690,5	623,4	579,0	577,0	546,1	491,6	435,8	407,8	404,7