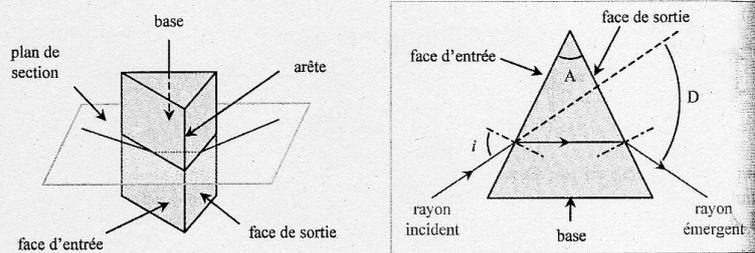


1 Mesure d'indice par un goniomètre : principe général

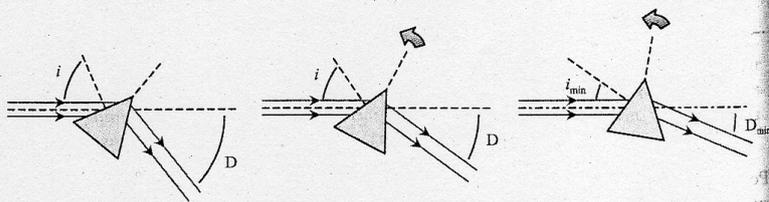
1-1 Dispersion de la lumière par un prisme

Un prisme est un milieu transparent et homogène, délimité par deux plans non parallèles formant entre eux un angle A au niveau de l'arête du prisme. Lorsqu'un rayon lumineux entre par une des faces, il subit deux réfractions et ressort dévié par rapport à sa direction d'incidence.

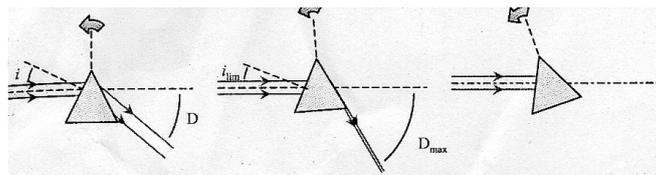


● Déviation d'un rayon par le prisme

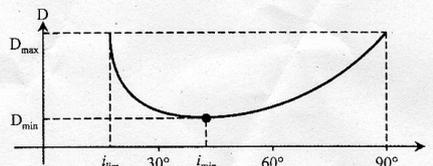
Examinons un rayon lumineux incident, compris dans un plan perpendiculaire à l'arête du prisme. Ce rayon subit une déviation angulaire D qui dépend de l'angle d'incidence i avec la normale à la face d'entrée : lorsque i vaut 90° , ce qui correspond à un rayon incident arrivant parallèlement à la face d'entrée, la déviation D prend une valeur maximale D_{max} . À partir de cette position, si nous faisons subir au prisme une rotation, l'angle d'incidence i diminue et l'angle D également jusqu'à une valeur minimale D_{min} obtenue pour un angle i_{min} .



Si nous continuons à tourner le prisme, l'angle D augmente jusqu'à reprendre la valeur D_{max} . L'angle i prend alors une valeur limite i_{lim} en dessous de laquelle il y a réflexion totale sur la face de sortie, de sorte que le rayon émergent disparaît.



Ces résultats, établis dans l'exercice 3 du chapitre 1, conduisent à tracer une courbe $D(i)$ qui présente l'allure suivante :



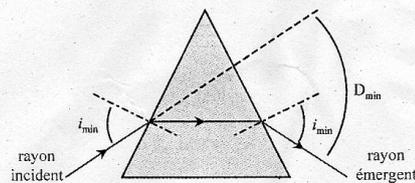
L'expression de la déviation D en fonction de l'angle d'incidence i fait intervenir plusieurs fonctions sinus et arcsinus, ce qui la rend difficilement exploitable. En pratique, nous travaillons au minimum de déviation, pour lequel des relations simples peuvent être établies.

● Le minimum de déviation

Lorsque le prisme est utilisé au minimum de déviation, l'angle formé par le rayon incident avec la normale à la face d'entrée est égal à l'angle formé par le rayon émergent avec la normale à la face de sortie. Nous avons démontré, dans l'exercice 3 du chapitre 1, les expressions de l'angle d'incidence i_{min} et de la déviation correspondante D_{min} .

$$i_{min} = \arcsin\left(n \sin\left(\frac{A}{2}\right)\right)$$

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



La mesure du minimum de déviation permet d'accéder à l'indice de réfraction du prisme :

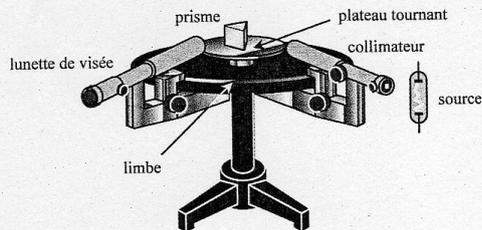
$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_{min} + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \quad (1)$$

Comme le verre est un milieu dispersif, cet indice dépend de la couleur. Chaque longueur d'onde λ du spectre est ainsi associée à un minimum de déviation $D_{min}(\lambda)$, et par là même à une valeur de l'indice $n(\lambda)$. Nous exploitons cette propriété pour déterminer les longueurs d'onde des rayonnements qui composent une lumière.

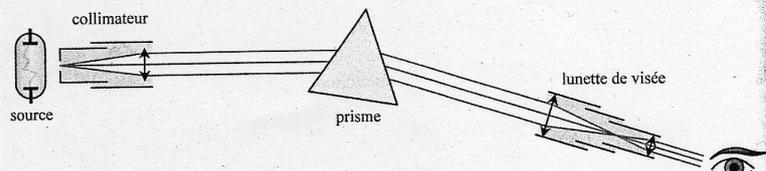
1-2 Description du goniomètre

Le goniomètre est un instrument de mesure constitué d'un plateau circulaire fixe qui porte une règle circulaire graduée appelée limbe. Autour de l'axe vertical du plateau, peuvent tourner les éléments suivants :

- Un plateau tournant circulaire, de même axe que le plateau principal et sur lequel nous fixons un prisme. Ce plateau peut être bloqué à l'aide d'une vis.
- Deux collimateurs formant une image à l'infini d'une fente réglable en largeur pour l'un, d'une mire graduée pour l'autre. Nous n'utilisons que le premier, en éclairant la fente par la source dont nous souhaitons étudier le spectre.
- Une lunette de visée que nous réglons sur l'infini. Elle est solidaire d'une réglette graduée qui permet de mesurer la position de la lunette à la minute d'angle près sur le limbe. Une vis permet d'immobiliser la lunette par rapport au plateau.



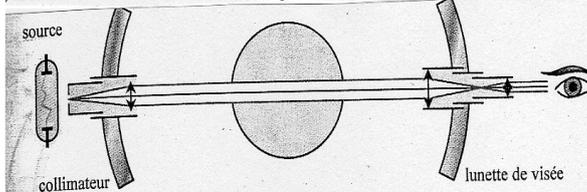
Le collimateur forme un faisceau de lumière parallèle à partir de la fente éclairée par la source lumineuse. Tous les rayons atteignent ainsi le prisme avec le même angle d'incidence et subissent donc une même déviation. La lunette, réglée sur l'infini, permet ensuite d'observer l'image de la fente.



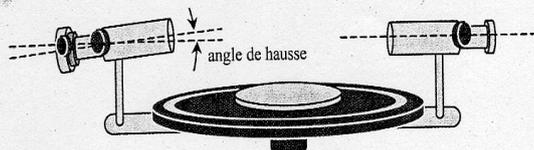
Chaque couleur du spectre d'émission conduit à sa propre image de la fente. Ces images sont observées dans des directions différentes car le prisme est dispersif. La réglette graduée et le limbe permettent de mesurer les angles de déviation correspondants.

1-3 Réglages du goniomètre

Nous commençons par placer le collimateur au voisinage de la graduation zéro du limbe, avant de le solidariser avec le plateau à l'aide d'une petite vis. Ce réglage n'a pas besoin d'être fait avec précision, car nous allons faire des mesures relatives dans lesquelles l'origine du limbe n'intervient pas. Nous réglons ensuite le collimateur et la lunette sur l'infini, en commençant par cette dernière qui se règle par autocollimation selon la méthode exposée au 2.2. Nous choisissons une fente aussi fine que possible, sans toutefois l'obstruer complètement. Pour ce réglage, la lunette et le collimateur sont alignés et le prisme est absent.



À ce stade, il est important de vérifier que les axes de la lunette et du collimateur sont bien dans le même plan. Une molette permet généralement de régler l'angle de hausse de la lunette, c'est-à-dire l'inclinaison de son axe par rapport à l'horizontale.



⚠ Lorsque l'angle de hausse est mal réglé, la fente n'est pas visible dans la lunette.

1-4 Mesure d'angle avec le goniomètre

En spectrogoniométrie, nous utilisons le goniomètre pour effectuer deux mesures angulaires : l'angle au sommet A du prisme et l'angle de déviation minimale D_{\min} associé à chaque raie d'émission du spectre étudié. À partir de ces deux grandeurs, nous pouvons déterminer l'indice n du prisme pour chaque longueur d'onde λ du spectre. Nous verrons dans la dernière partie de ce cours comment exploiter la relation qui existe entre n et λ .

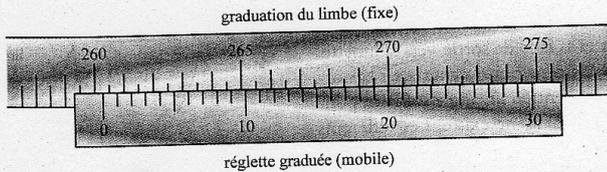
Le principe d'une mesure angulaire

L'association du limbe et de la règle mobile constitue un vernier qui permet de mesurer les angles à la minute près.

Lecture d'un angle sur le goniomètre

Un vernier permet une mesure angulaire avec une précision d'une minute d'angle. L'angle à mesurer est la somme :

- de l'angle, défini à trente minutes près, indiqué par le limbe en face du zéro de la règle mobile,
- et de l'angle, compris entre 0 et 30 min, donné par la règle mobile au point où sa graduation est superposée à celle du limbe.



Sur l'exemple précédent, le zéro de la règle correspond à un angle de $260^{\circ}00'$. Les graduations du limbe et de la règle sont alignées pour $19'$, ce qui conduit à un angle de $260^{\circ}19'$.

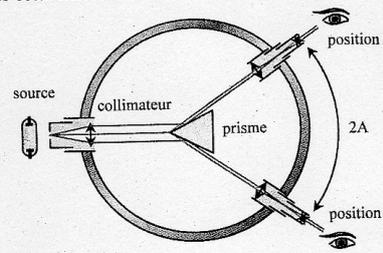
Mesure de l'angle au sommet du prisme

Deux méthodes sont possibles pour effectuer cette mesure.

- Dans la première méthode, nous éclairons l'arête du prisme avec un faisceau de lumière parallèle issu du collimateur. Ce faisceau se réfléchit sur les deux faces du prisme et nous mesurons alors les angles x_1 et x_2 repérant les directions des deux faisceaux réfléchis. Nous montrons en exercice que l'angle au sommet du prisme A vérifie alors :

$$A = \frac{x_1 - x_2}{2} \quad (2)$$

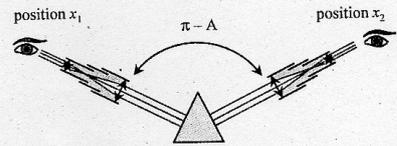
- ⚠ Le prisme ne doit pas être déplacé entre ces deux mesures. Une vis permet de solidariser plateau mobile au plateau principal.



L'expression de A fait intervenir la différence de deux angles, de sorte que la position de l'origine du limbe n'a aucune importance dans la mesure. De façon systématique, la mesure deux angles dans des positions symétriques permet de s'affranchir de cette origine.

- Comme la lumière ne subit que des réflexions au cours de cette mesure, elle n'est pas décomposée et nous observons une image de la fente de la couleur de la source.

- La seconde méthode consiste à utiliser les deux faces du prisme pour procéder à l'autocolimation de la lunette de visée. Les deux positions repérées sont alors séparées d'un angle $\pi - A$.

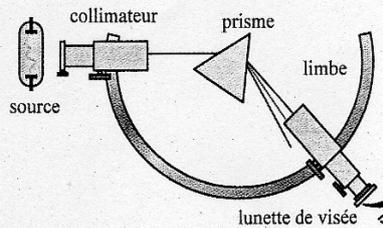


Pendant cette manipulation, la lampe de réglage de la lunette doit être allumée et nous choisissons l'image du réticule après réflexion sur le prisme.

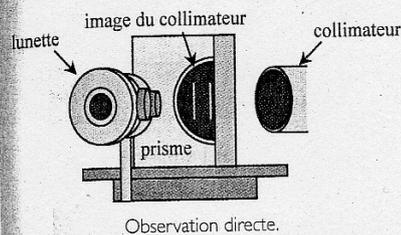
- ⚠ Là encore, le prisme ne doit pas être déplacé entre les deux mesures.

Mesure d'angles de déviation

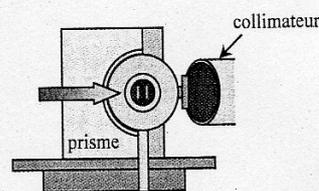
Pour mesurer un angle de déviation, nous orientons la face d'entrée du prisme vers le collimateur et sa face de sortie vers la lunette. Le faisceau incident doit former avec la normale à la face d'entrée un angle suffisant pour que le rayon émergent existe. Les différents éléments présentent alors la géométrie ci-contre, dans laquelle la lumière est déviée vers la face non utilisée du prisme.



La recherche des raies lumineuses avec la lunette de visée peut s'avérer délicate ; aussi nous commençons par repérer ces raies directement à l'œil, avant d'intercaler la lunette entre le prisme et l'œil. L'image du collimateur est généralement perceptible sur la face de sortie du prisme et nous trouvons les raies d'émission au milieu de cette image.

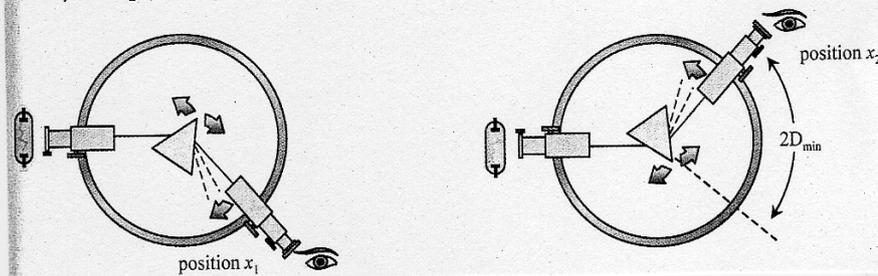


Observation directe.



Mise en place de la lunette.

Une fois les raies repérées, nous cherchons le minimum de déviation de chacune en faisant tourner le prisme et en la suivant à l'aide de la lunette. Son minimum de déviation est atteint lorsqu'elle rebrousse chemin. En effectuant deux mesures symétriques, nous pouvons nous affranchir de l'origine du limbe et mesurer deux fois le minimum de déviation entre deux positions symétriques.



2 Mise en œuvre : mesure de l'indice du prisme

2-1 Calcul

 Justifier la relation (2) pour la mesure de l'angle au sommet.

2-2 Mise en service de l'appareil

Par construction, l'axe de rotation commun à la lunette et à la plate-forme est celui du collimateur et est perpendiculaire à l'axe optique de ce dernier

 Régler le tirage de l'oculaire de façon à voir net le réticule en même temps que l'objet éloigné. Régler la lunette à l'infini en visant un objet éloigné (à l'extérieur de la salle).

 Régler le collimateur qui doit fournir un faisceau parallèle. Placer une source lumineuse devant la fente. Mettre la lunette dans l'axe du collimateur, régler la largeur de la fente pour ne pas être ébloui et agir sur le bouton moleté du collimateur jusqu'à ce qu'on voie nette l'image de la fente, sans parallaxe.

 Régler l'orthogonalité de l'axe de la lunette avec son axe de rotation commun avec celui de la plate-forme : le fil horizontal du réticule doit couper la fente en son milieu. Contrôler pour les deux réflexions possibles.

Les arêtes du prisme et l'axe optique de la lunette sont orthogonaux : les mesures d'angles sont alors possibles. Ne plus toucher au prisme.

2-3 Mesure de l'angle A du prisme

 Allumer la lampe à vapeur de sodium. Utiliser la raie jaune. On vise successivement chaque partie du faisceau réfléchi sur les deux faces choisies.

 Evaluer l'incertitude sur A . Vérifier que les intervalles de confiance se recoupent, sinon reprendre tous les réglages.

2-4 Mesure de la déviation minimale D_m

On commence par observer à l'œil ou sur une feuille de papier le faisceau émergent du prisme, donc réfracté deux fois, en se souvenant qu'un prisme dévie toujours vers sa base.

 Repérer ainsi grossièrement le minimum de déviation. Effectuer les visées décrites dans la partie 1-4 page 3. Recommencant les visées pour d'autres positions du collimateur (si le temps).

 Evaluer l'incertitude sur D_m .

2-5 Indice du prisme pour la raie jaune du sodium

 Déduire n et évaluer Δn .