

Année Universitaire  
2017 - 2018  
Travaux Pratiques de  
Physique  
Licences Scientifiques  
Semestre 1



## Travaux Pratiques d'Optique 2

TP n°3 : Goniométrie – Spectroscopie

TP n°4 : Aberrations – Miroir sphérique



### LA PREPARATION



Les énoncés de Travaux Pratiques sont à étudier avant de vous rendre à la séance. Des recherches, constructions, calculs préliminaires,... sont à réaliser chez vous et à faire valider par l'enseignant en début de séance.

*Ce travail, même s'il n'est pas difficile, peut vous demander du temps et il est **Impératif** de ne pas s'y prendre la veille.*



## MODALITES D'EVALUATION

- Les travaux pratiques d'optique s'effectuent en **binômes**, lors de séances de 3 heures.
- La présence des étudiants est **obligatoire** et toute absence non justifiée entraîne une note nulle au TP concerné. Dans le cas d'une absence justifiée (certificat médical, convocation,...), une autre date de TP sera proposée à l'étudiant.
- La note de chaque de TP est obtenue par la somme d'une **note de compte-rendu (note CR) et d'une note de manipulation (note Manip)** attribuée par l'enseignant lors de la séance. La note finale de TP est constituée par la moyenne des TP n°3 et TP n°4.
- Les comptes rendus sont à **rendre à la fin de la séance** de TP, il est donc fortement recommandé de lire (préparer) son TP avant la séance. Tout compte rendu non remis à la fin de la séance sera sanctionné par une note CR nulle.
- Le CR est constitué :
  - du **travail préparatoire** à la séance qui doit être rédigé **individuellement** par chaque étudiant et donné à l'enseignant **au moment de votre arrivée dans la salle de TP**.
  - d'un compte-rendu du **travail de manipulation** effectué sur place, à raison d'**un CR par binôme**.
- Le matériel mis à votre disposition pour ces travaux pratiques est utilisé par un grand nombre d'étudiants. Comme tout matériel, il est susceptible de se dégrader avec le temps, de s'user, de tomber en panne ou de nécessiter des entretiens et des réglages. Il vous est demandé de **manipuler ce matériel avec précaution** et de signaler tout défaut nécessitant une intervention technique afin de le garder en bon état. En fin de séance, votre table de travail doit être rangée ainsi que les chaises.



## COMMENT REDIGER UN COMPTE-RENDU

Un compte rendu de TP est un document scientifique destiné à :

- Présenter une problématique donnée à un lecteur (non nécessairement spécialiste du sujet).
- Expliquer et justifier la démarche suivie lors des expériences, afin de résoudre une problématique ou mettre en évidence le phénomène physique souhaité.

À ce titre, un compte rendu de TP doit être rédigé avec soin, de manière claire et concise. Plusieurs parties demeurent incontournables lors de la rédaction :

- **Introduction** : elle consiste à décrire succinctement la problématique et la démarche entreprise pour y faire face.
- **Dispositif expérimental** : présenter le dispositif expérimental en précisant les grandeurs qui vous semblent pertinentes. Des schémas clairs et annotés sont souvent d'une grande utilité pour la compréhension du lecteur. Cette description doit être suffisamment détaillée pour qu'une personne n'ayant pas vu l'expérience soit en mesure de la reproduire à la lecture du compte rendu de TP.
- **Résultats expérimentaux** :
  - Les résultats expérimentaux se présentent la plupart du temps sous forme de graphiques ou de schémas (notamment dans le cas de travaux pratiques d'optique où des constructions de tracés de rayons sont indispensables à la compréhension).
  - Tout résultat présenté devra absolument être commenté et interprété ; un résultat présenté sans explication adjacente ne comporte aucune valeur, donc n'oubliez surtout pas d'analyser vos résultats, les expliquer, les comparer à la théorie, les critiquer si nécessaire (est-ce que les résultats sont dans le bon ordre de grandeur?...).
  - Il faut faire apparaître les unités des mesures que vous effectuez (m, rad, ...). Une **unité absente coûte 0,5 point** dans la note de compte rendu.
  - Pour les graphiques il faut : indiquer les axes, ce qu'ils représentent, l'échelle (**qui utilise au mieux la feuille de papier millimétré**) et les unités. Étalonnez clairement les axes en choisissant des correspondances avec les graduations du papier qui permettent un **report facile des coordonnées des points expérimentaux**. Donnez un titre, mettez en évidence les valeurs particulières que vous jugerez utiles, mettez un numéro (figure 1 par exemple) que vous utiliserez en référence dans le compte rendu (la figure 1 représente l'évolution de la déviation...).
- **Conclusion** : la conclusion doit en quelques lignes tirer une leçon du travail réalisé par rapport à l'objectif initialement fixé. Le cas échéant, elle peut également être l'occasion d'apporter une appréciation personnelle sur les travaux réalisés (points forts et points faibles de la méthode utilisée, améliorations du dispositif expérimental, ...).

**N'hésitez pas à vous adresser à l'enseignant si vous avez des questions à poser.  
Bon Travail !**

## ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE D'UNE MESURE

Chaque fois que l'on réalise une mesure, quelles que soient les performances de l'appareillage et le soin apporté, celle-ci est entachée d'erreurs. Cette erreur ne pouvant être connue, on en estime un majorant appelé incertitude, qui définit un intervalle de valeurs à l'intérieur duquel on est sûr de trouver le résultat exact de la mesure :

$$A_{\text{mesuré}} - \Delta A \leq \text{valeur exacte} \leq A_{\text{mesuré}} + \Delta A$$

En focométrie on peut trouver :

1) **L'incertitude de lecture** (en général égale à **1/2 de la plus petite graduation** ).

2) **La latitude de mise au point** (propre à la focométrie) est liée à l'intervalle de mesure pour lequel il y a une estimation visuelle sur la netteté de l'image : l'opérateur considère que, entre  $x_{\min}$  et  $x_{\max}$ , l'image est nette. La valeur expérimentale de  $x$  est alors :  $(x_{\min} + x_{\max})/2$  et l'incertitude absolue est :  $(x_{\max} - x_{\min})/2$ . Cette incertitude est tributaire de l'expérimentateur, elle peut prendre des valeurs élevées.

3) Dans bien des cas pour lesquels les mesures sont entachées d'erreurs aléatoires, l'incertitude est estimée en réalisant la mesure plusieurs fois, et en appliquant une loi statistique : la **loi de l'étendue**, qui donne les limites de l'intervalle de confiance encadrant le résultat en fonction du nombre  $n$  de mesures effectuées et du niveau de confiance souhaité. Soit  $a_{\text{moyen}}$  la moyenne des  $n$  mesures,  $a_{\min}$  et  $a_{\max}$  les valeurs extrêmes rencontrées. On pose  $r = a_{\max} - a_{\min}$ . On choisit un niveau de confiance, c'est-à-dire une probabilité  $P$  d'encadrer correctement la valeur exacte de la mesure. L'intervalle de confiance est alors

$[a_{\text{moyen}} - qr, a_{\text{moyen}} + qr]$  où le paramètre  $q$  dépend de  $n$  et de  $P$ ,  $\Delta a = qr$ . La table ci-dessous donne les valeurs de  $q$  pour plusieurs valeurs de  $n$  et deux niveaux de confiance, 95% et 99% :

n	q (95%)	q (99%)	n	q (95%)	q (99%)
2	6,35	31,8	9	0,26	0,57
3	1,30	3,01	10	0,23	0,33
4	0,72	1,32	12	0,19	0,28
<b>5</b>	0,51	<b>0,84</b>	14	0,17	0,20
6	0,40	0,63	16	0,15	0,21
7	0,33	0,51	18	0,14	0,19
8	0,29	0,43	20	0,13	0,18

i) L'intervalle de confiance est souvent calculé en choisissant un niveau de confiance de 99% et en faisant 5 mesures par raison de commodité ( $q=0,84$ ).

ii) Si plusieurs paramètres sont nécessaires pour déterminer une grandeur donnée (mesure "indirecte"), l'incertitude sur cette grandeur s'obtient à partir des incertitudes affectées à chacun de ces paramètres à l'aide des règles classiques du calcul d'erreur (en utilisant le calcul différentiel). Prenons l'exemple de la détermination d'une distance focale  $f'$ , vous allez faire un certain nombre de mesures :  $x_1, x_2, \dots$ . Une fois les incertitudes  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots$  évaluées, il faut les relier à  $\Delta f'$ . Ex : si  $f' = x_2 - x_1$  alors :  $\Delta f' = \Delta x_1 + \Delta x_2$  : ici, les erreurs sur chacune des mesures de position s'ajoutent (on majore l'incertitude sur la mesure).

Vos résultats sont donc compris dans une certaine « fourchette » et doivent être présentés de la façon suivante :

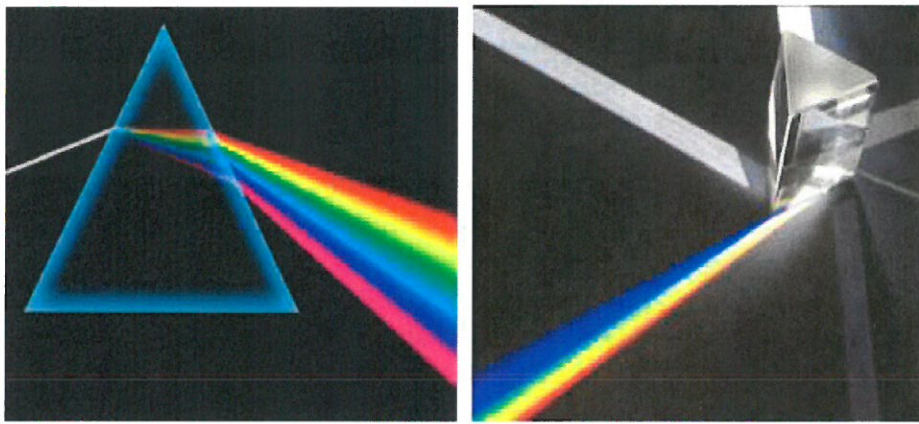
$$f' = \dots \text{cm} \pm \Delta f' \text{ cm}$$



## TP n°3

### Partie 1 : Mesure de l'indice d'un prisme à l'aide d'un goniomètre

### Partie 2 : Identification d'une source lumineuse par spectroscopie à prisme



« Dans les mains d'un enfant, un globe de savon dès longtemps précéda le prisme de Newton »,  
Jacques Delille

#### Objectifs

Lors de cette séance de TP, nous allons :

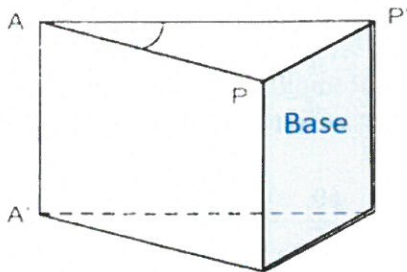
- Mesurer des angles au moyen de cercles divisés.
- Déterminer l'indice de réfraction d'un verre par la méthode du minimum de déviation du prisme.
- Étudier la dispersion subie par un faisceau lumineux à la traversée d'un prisme
- Déterminer la nature d'une lampe spectrale inconnue ou mesurer une longueur d'onde inconnue

#### Compétences visées

- Mesurer avec précision des angles à l'aide du goniomètre
- Savoir utiliser un vernier
- Appliquer les lois du prisme
- Étalonner le spectroscopie avec des raies de référence
- Déterminer une longueur d'onde inconnue

Les vidéos qui sont mentionnées dans les parties 1 et 2 de cet énoncé devront être visionnées avant la venue en salle de Travaux Pratiques.

## Partie 1. Mesure de l'indice d'un prisme à l'aide d'un goniomètre

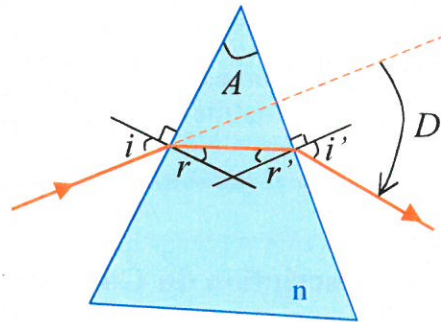


Le prisme est un milieu transparent limité par deux dioptries plans non parallèles appelées les faces du prisme. L'intersection  $AA'$  des deux faces est l'arête du prisme, leur angle  $A$  est l'angle du prisme. Toute section du prisme telle que  $PAP'$  soit perpendiculaire à l'arête est une section principale. Le prisme est limité du côté opposé à l'arête par un plan parallèle à celle-ci appelé la base du prisme.

### I. Les formules du Prisme : indice et déviation

Soit un prisme d'angle au sommet  $A$  taillé dans un matériau transparent d'indice de réfraction  $n$ . Un faisceau arrivant sur la face d'entrée du prisme sous un angle d'incidence  $i$  subit une déviation  $D$  après avoir traversé le prisme (cf. figure). Entre les angles  $i, i', r, r', A$  et  $D$ , on peut écrire les relations suivantes :

$$\begin{aligned} \sin i &= n \sin r \\ \sin i' &= n \sin r' \\ r + r' &= A \quad (1) \\ D &= i + i' - A \end{aligned}$$



### Travail préparatoire à rédiger avant la venue en salle de TP

Démontrez les relations (1), vous pouvez vous aider d'ouvrages disponibles en BU ou faire des recherches sur internet.

On montre que le minimum  $D_m$  de la déviation subie par le faisceau est obtenu lorsque  $i=i'$ . Dans ce cas, des quatre relations ci-dessus, on tire facilement la relation liant  $n$  à  $A$  et  $D_m$  :

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

Pour obtenir  $n$ , il faut donc connaître les angles  $A$  et  $D_m$ . On utilise pour cela un appareil appelé goniomètre.

Pour des incertitudes  $\Delta A$  et  $\Delta D_m$  sur la valeur des angles  $A$  et  $D_m$  respectivement, on montre que l'incertitude relative  $\Delta n/n$  sur la valeur de l'indice de réfraction s'exprime de la manière suivante:



$$\frac{\Delta n}{n} = \left[ \cotan \frac{A}{2} - \cotan \left( \frac{A + D_m}{2} \right) \right] \frac{\Delta A}{2} + \cotan \left( \frac{A + D_m}{2} \right) \frac{\Delta D_m}{2}$$

N.B :  $\Delta A$  et  $\Delta D_m$  doivent être exprimé en radians ( $\pi$  radians = 180 degrés)

### Travail préparatoire à rédiger avant la venue en salle de TP

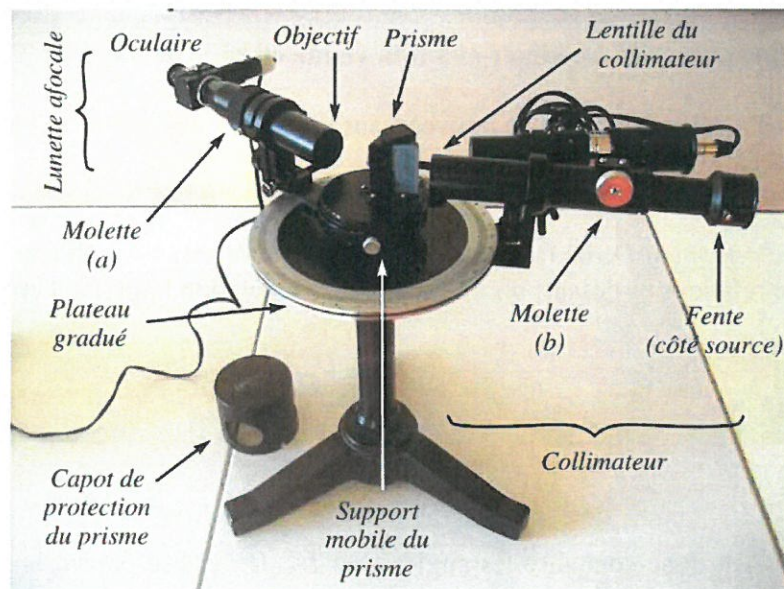
Soit un prisme d'angle  $A = 60^\circ$  et d'indice  $n = 1,6$ . Remplir le tableau ci-dessous en calculant les valeurs de  $r$ ,  $r'$ ,  $i'$  puis enfin  $D$  en utilisant les formules (1).

$i$ (°)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$r$ (°)									
$r'$ (°)									
$i'$ (°)									
$D$ (°)									

Tracer la courbe donnant la déviation  $D$  en fonction de  $i$ . Relevez  $D_m$ , la valeur minimale de  $D$ . Vérifier qu'elle correspond à  $i=i'$ . Retrouver la valeur de  $n$  en utilisant la formule (2).

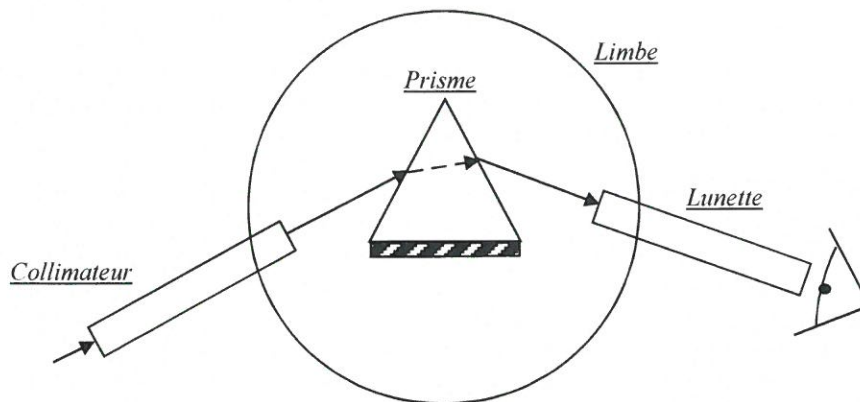
## II - Description du Goniomètre

Le goniomètre est un appareil destiné à la mesure précise des angles (précision de l'ordre de la minute d'arc !). Il est essentiellement constitué d'un plateau horizontal circulaire (limbe) 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 une lunette. (Un micromètre peut être utilisé lorsqu'on fait de la spectroscopie)





**a) La lunette de visée à l'infini**

C'est l'instrument de visée qui permet de repérer un rayon émergent ou réfléchi par le prisme et de mesurer son angle de manière précise. Elle est composée d'un objectif (une lentille convergente  $L_1$ ) qui donne d'un objet AB une image intermédiaire  $A_1B_1$ , d'un oculaire (également une lentille convergente  $L_2$ ), qui joue le rôle de loupe vis-à-vis de cette image intermédiaire  $A_1B_1$ . Entre l'oculaire et l'objectif se trouve un réticule (2 fils croisés et perpendiculaires) qui servira à repérer des positions. Elle est réglée de façon à observer l'image d'objets à l'infini se formant dans le plan du réticule.

**Travail préparatoire à rédiger avant la venue en salle de TP**

Quelle est la meilleure condition d'observation d'une image pour l'œil ? Expliquez alors pourquoi le foyer image de  $L_1$  est confondu avec le foyer objet de  $L_2$  ?

**b) Le collimateur**

**Travail préparatoire à rédiger avant la venue en salle de TP**

Faites des recherches et expliquez de quoi est constitué un collimateur, quel est son principe ?

**c) Le prisme**

Il est monté sur un plateau tournant et l'ensemble est à manipuler avec précaution, sans toucher le prisme avec les doigts.

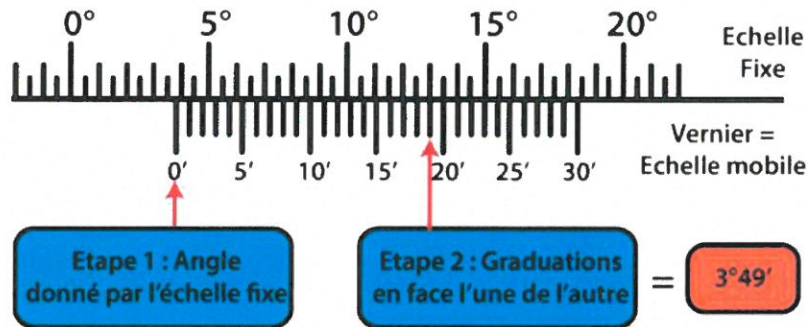
**d) Le cercle gradué**

L'appareil possède un cercle (le limbe) gradué en degrés et demi-degrés. Les supports de la lunette et du prisme sont chacun solidaires d'un vernier au  $30^{\text{ème}}$  qui permet de lire la minute. La rotation de ces supports se fait à la main après avoir desserré légèrement la vis de pression.

## Le vernier :

Un vernier, du nom de son inventeur, est un dispositif permettant d'augmenter la précision de la lecture sur un instrument de mesure, sans avoir à graver des graduations supplémentaires trop serrées. Voyons comment il fonctionne :

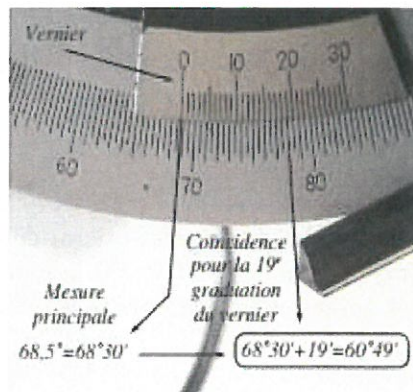
- L'échelle fixe est graduée tous les demi-degrés (soit 30 minutes d'angles, noté 30'). C'est l'échelle principale qui nous fournira la partie entière de l'angle à mesurer.
- L'échelle mobile est divisée en 30 parties égales. C'est cette échelle secondaire qui nous fournira la partie décimale de l'angle à mesurer en proportion de la graduation principale.



Sur l'exemple de la figure ci-dessus :

- On lit d'abord sur l'échelle fixe : ici le 0 de la partie mobile se situe entre 3,5° et 4°.
- On regarde ensuite laquelle des graduations de la partie mobile se trouve rigoureusement en face de l'une des graduations de la partie fixe. Cela nous donne la partie décimale de la grandeur à mesurer. Ici c'est le 19 mobile qui est en face d'une graduation fixe.
- Ainsi la valeur de l'angle à lire est  $3,5^\circ + 19' = 3^\circ 30' + 19' = 3^\circ 49' = 3,82^\circ$  car  $1 \text{ minute} = \frac{1}{60} \text{ degré}$ .

## Exemple de lecture sur le vernier en photo :



Exemple de lecture sur le vernier en vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=OjWFGA8LXNY>

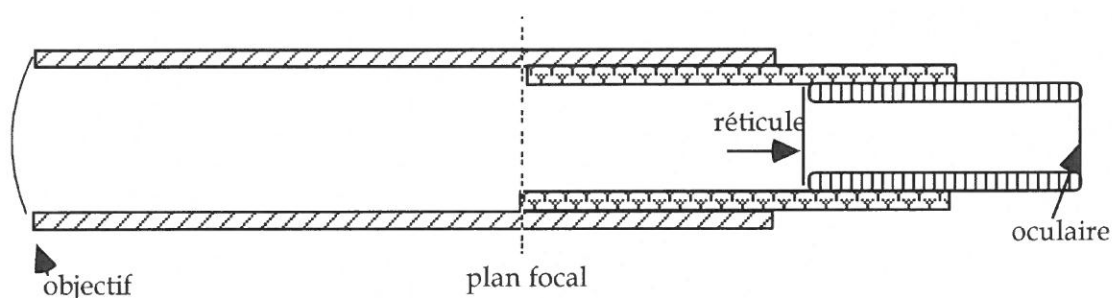
### III – Réglages

#### 1) *Le collimateur*

Il est déjà réglé par construction de telle sorte que, la fente d'entrée étant éclairée par la lampe les rayons lumineux sortant soient tous parallèles au plan du cercle gradué.

#### 2) *La lunette*

- Régler le tirage de l'oculaire pour voir les fils du réticule nets (ce réglage dépend de la vue de chacun).
- Mettre l'axe optique de la lunette parallèle au plan du cercle gradué : l'image de la fente doit alors être coupée en deux par le fil horizontal du réticule.
- Amener le réticule dans le plan focal de l'objectif en déplaçant l'ensemble oculaire-réticule. L'image est alors nette ; la lunette est dite "réglée à l'infini".



#### 3) *La fente*

La source lumineuse utilisée pour éclairer la fente est une « lampe spectrale » : elle n'émet qu'un nombre limité de radiations monochromatiques (spectre discret) dont les longueurs d'onde sont bien déterminées. Pour cette manipulation, on utilisera la lampe à vapeur présente sur la paillasse.

- On place simplement la source devant la fente : ce dispositif simple est utilisable quand la source est intense ou quand peu de lumière suffit.
- Fermer la fente pour qu'elle soit la plus fine possible.
- Rendre la fente bien parallèle au fil vertical du réticule.

Remarque 1 : On cherchera toujours à obtenir une fente fine mais assez lumineuse pour pouvoir faire des mesures précises.

Remarque 2 : Lorsqu'on sera amené à relever la position angulaire  $L_1$  ou  $L_2$  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.



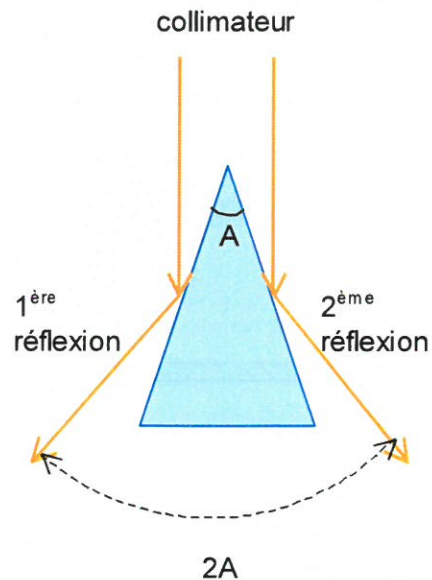
## IV – Mesures

Regarder avant de venir en salle la vidéo « Utilisation du goniomètre avec un prisme » :

<https://www.youtube.com/watch?v=QLtb80X9CTo>

### A) Mesure de l'angle au sommet A du prisme.

On utilise la lampe à vapeur spectrale présente sur le poste de travail. On place le prisme, l'arête face au collimateur les deux faces à peu près également inclinées sur les rayons incidents. **Le prisme restant fixe**, on déplace la lunette de façon à pointer successivement les images par réflexion sur l'une et l'autre face. Les deux faces du prisme se comportent pour le pinceau de lumière issu du collimateur comme deux miroirs faisant entre eux un angle  $A$  : l'angle entre les deux positions de la lunette vaut alors  $2A$ . Soit  $L_1$  et  $L_2$  les deux positions de la lunette pour une position donnée (fixe) du prisme.



Exprimer  $A$  en fonction des 2 lectures  $L_1$  et  $L_2$ .

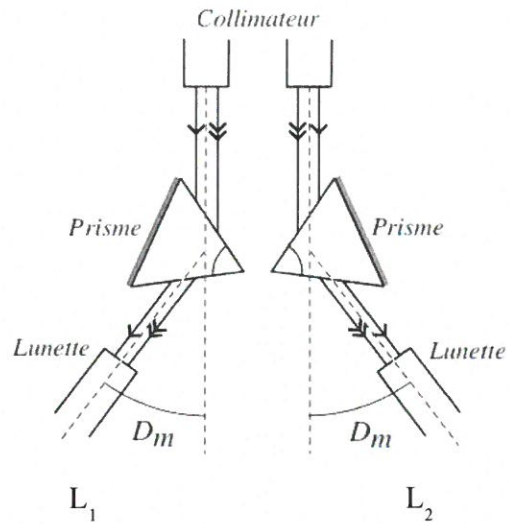
Pour une position donnée (fixe) du prisme, faites 5 mesures de  $L_1$  et  $L_2$  (en bougeant la lunette entre chaque mesure). En dresser le tableau et en déduire :

- $L_1$  moyen,  $L_2$  moyen
- $\Delta L_1$  et  $\Delta L_2$  (on utilisera la loi de l'étendue)
- L'angle au sommet  $A$
- L'incertitude  $\Delta A$
- Présenter le résultat sous la forme  $A = \dots \pm \dots$  en degrés et minutes d'angles.

## B) Détermination précise de $D_m$ pour une longueur d'onde donnée.

On fait tomber le faisceau parallèle sortant du collimateur sur une face du prisme sous une incidence oblique. On place la lunette de façon à obtenir l'image de la fente par réfraction à travers le prisme pour une longueur d'onde donnée (par exemple celle qui donne une raie verte très intense). On fait ensuite tourner le prisme en déplaçant simultanément la lunette de telle manière que l'image de la fente  $F$  se fasse toujours au point de croisé du réticule.

Lorsqu'on fait tourner le prisme en suivant avec la lunette, on constate qu'il faut d'abord tourner la lunette dans le même sens que le prisme puis dans le sens contraire. L'angle entre la lunette, au moment où l'image rebrousse chemin et la direction du faisceau incident, est égal à  $D_m$ .



Pour avoir plus de précision, on repère la position  $L_1$  de la lunette au minimum de déviation, la position correspondante du prisme étant  $ABC$  ; on repère ensuite la nouvelle position  $L_2$  de la lunette lorsqu'on est à nouveau au minimum de déviation, la position du prisme étant  $A'B'C'$ . L'angle entre ces deux positions de la lunette est  $2D_m$ .

Exprimez  $D_m$  en fonction des 2 lectures  $L_1$  et  $L_2$ .

Réalisez 5 mesures de  $L_1$  et  $L_2$  (en bougeant la lunette entre chaque mesure). En dresser le tableau et en déduire :

- $L_1$  moyen,  $L_2$  moyen
- $\Delta L_1$  et  $\Delta L_2$  (on utilisera la loi de l'étendue)
- L'angle de déviation minimale  $D_m$
- L'incertitude  $\Delta D_m$
- Présenter le résultat sous la forme  $D_m = \dots \pm \dots$  en degrés et minutes d'angles.

## C) Calcul de l'indice $n$

La précision des mesures d'angle effectuées grâce au goniomètre permet d'obtenir une valeur de l'indice  $n$  avec au moins 6 chiffres significatifs a priori. Calculer l'indice de réfraction  $n$  du prisme et l'incertitude  $\Delta n$  à l'aide des formules rappelée plus haut. Vous prendrez pour  $A$ ,  $\Delta A$ ,  $D_m$  et  $\Delta D_m$  les valeurs mesurées. Présenter le résultat sous la forme  $n = \dots \pm \dots$



## Partie 2. Identification d'une source lumineuse par spectroscopie à prisme

Le principe du spectroscopie à prisme repose sur le fait que l'indice du prisme et donc la déviation subie par un faisceau lumineux le traversant, dépend de la longueur d'onde de la lumière qui s'y propage. A travers la lunette de visée, on observe un spectre de raie (constitué par les images de la fente d'entrée correspondant à chacune des longueurs d'onde de la source lumineuse) séparées les unes des autres grâce au pouvoir dispersif du prisme.

### A) Spectre d'émission et absorption de source lumineuse

La lumière est constituée par des **radiations de nature électromagnétique** : les propriétés de ces radiations dépendent en particulier de leurs longueurs d'onde. Une longueur d'onde s'exprime habituellement en microns ( $\mu\text{m}$ ), en Angströms ( $\text{\AA}$ ) ou en nanomètres (nm).

$$1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-3} \mu\text{m}$$

$$1\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4} \mu\text{m}$$

Les radiations qui impressionnent l'œil (auxquelles l'œil est sensible), dites radiations visibles, ont des longueurs d'onde  $\lambda$  comprises entre 0,4 et 0,8  $\mu\text{m}$  environ (tableau 1).

$\lambda$ (nm)	390-455	455-492	492-577	577-597	597-622	622-780
Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge

Tableau 1 : Valeurs approchées des longueurs d'onde (dans le vide) pour les diverses couleurs.

### Travail préparatoire à rédiger avant la venue en salle de TP

Une lumière est dite .....lorsqu'elle ne comprend qu'une seule radiation de longueur d'onde bien déterminée ; des radiations de longueur d'onde différentes se traduisent à la vision par des couleurs ..... L'ensemble des radiations composant une lumière est appelé spectre de cette lumière. Une lumière peut avoir un spectre ..... (ou discret), c'est à dire ne comportant qu'un nombre défini de radiations (ex: lumière émise par une lampe à vapeur métallique) ou un spectre....., c'est à dire comportant toutes les radiations qui couvrent sans discontinuité un domaine spectral (ex : La lumière blanche est un mélange de toutes les couleurs du spectre visible).

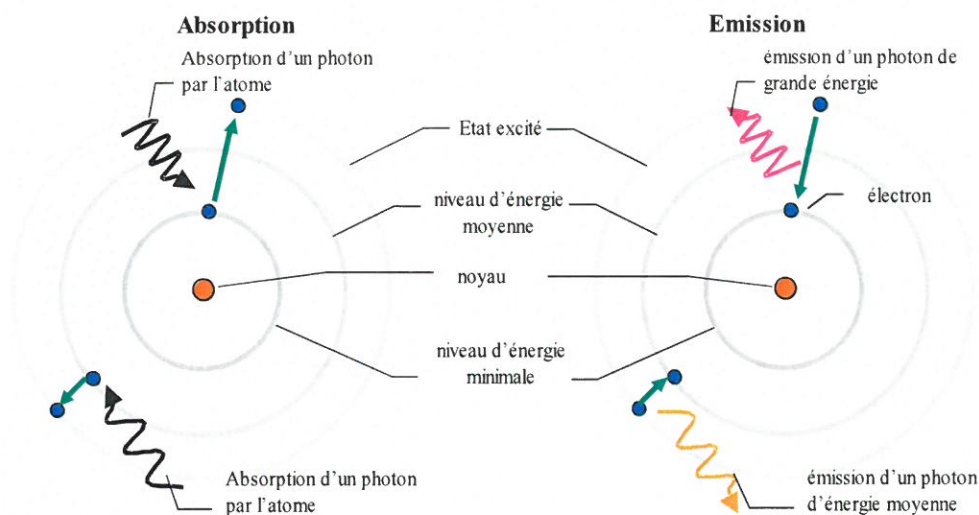
### Notions de spectre d'émission et d'absorption

Le mécanisme exact de l'émission de rayonnement par un atome est lié à la distribution de son nuage d'électrons. Chaque électron occupe habituellement son état d'énergie le plus bas et l'atome est dans son état dit fondamental. L'atome se trouve dans un état dit excité lorsqu'il a subi un processus capable de lui fournir de l'énergie (par exemple, une collision avec un photon ou un atome).

Lorsqu'une quantité appropriée d'énergie  $\Delta E$  est fournie à un atome, il réagit en l'absorbant et en faisant passer un électron à un niveau d'énergie supérieur: c'est le processus **d'absorption**. L'absorption est une transformation de l'énergie rayonnante (photon) en chaleur.



L'atome excité revient spontanément à un état plus bas : il restitue l'énergie d'excitation  $E$  sous la forme de lumière (photon): c'est le processus d'**émission**. La longueur d'onde de la lumière émise est reliée à l'énergie à l'aide de la formule de Planck :  $E = h \nu$ , où  $h$  est une constante et  $\nu$  la fréquence de l'onde émise (dans le vide,  $\nu = c/\lambda$  avec  $c$  la célérité de la lumière).



La spectroscopie a commencé avec Newton et ses expériences qui utilisaient la lumière blanche et les prismes. Elle a pour objectif d'étudier le spectre d'un gaz. La projection de la lumière émise par un gaz à travers une fente dans un écran opaque vers un prisme (schéma 2) sépare alors l'étroit faisceau incident en ses bandes de couleurs constituantes : les **raies spectrales**.

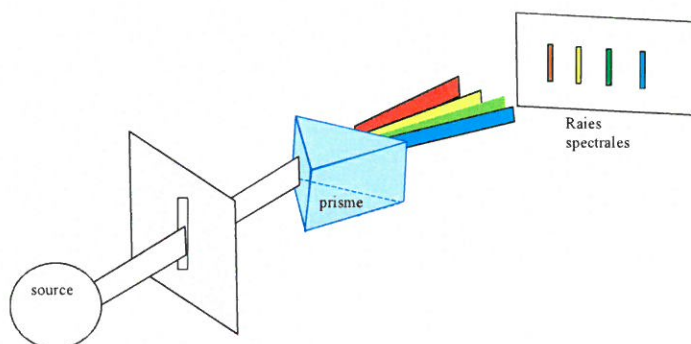


Schéma 2 : Formation des raies spectrales par un prisme

La séparation des raies est due au pouvoir dispersif du prisme : l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde (loi de Cauchy), et par conséquent la déviation également : à une longueur d'onde correspond une déviation :  $n(\lambda) \Rightarrow D(\lambda)$ . Aujourd'hui, il existe d'autres dispositifs plus compacts présentant souvent un pouvoir dispersif très important, basés sur la diffraction de la lumière par un réseau (phénomène observé lors de la décomposition de la lumière par un compact disque).

Quand un gaz est excité, il émet des rayonnements de longueurs d'onde bien spécifiques et l'on observe des raies colorées sur un arrière-plan noir : c'est le **spectre d'émission**. Inversement, quand la lumière blanche passe à travers le même gaz, les atomes absorbent ces mêmes longueurs d'onde spécifiques : c'est le spectre d'absorption ; on voit alors des raies noires sur un arrière-plan de lumière de couleur variant lentement. Leur intensité dépend de l'épaisseur de la couche et de la concentration.

Par exemple, le tableau 2 liste les quatre raies d'émission de l'hydrogène dans le visible.

Raie	$H_\alpha$	$H_\beta$	$H_\gamma$	$H_\delta$
$\lambda$ (nm)	656	486	434	410

Tableau 2 : Spectre visible de l'hydrogène

## B) Description du spectroscopie à prisme:

**Regarder avant de venir en salle la vidéo  
« Spectroscopie à prisme » :**  
<https://www.youtube.com/watch?v=S1yhAENeTc0>

Le spectroscopie à prisme comporte essentiellement

1) *Un collimateur* constitué par une lentille convergente dans le plan focal de laquelle est placée une fente fine parallèle à l'arête du prisme : il en sort donc un faisceau de rayons parallèles.

2) *Un prisme* En imposant aux rayons lumineux qui le traversent une déviation fonction de l'indice, donc de la longueur d'onde, il permet de séparer les radiations composantes d'une lumière complexe : un tel appareil est dit dispersif.

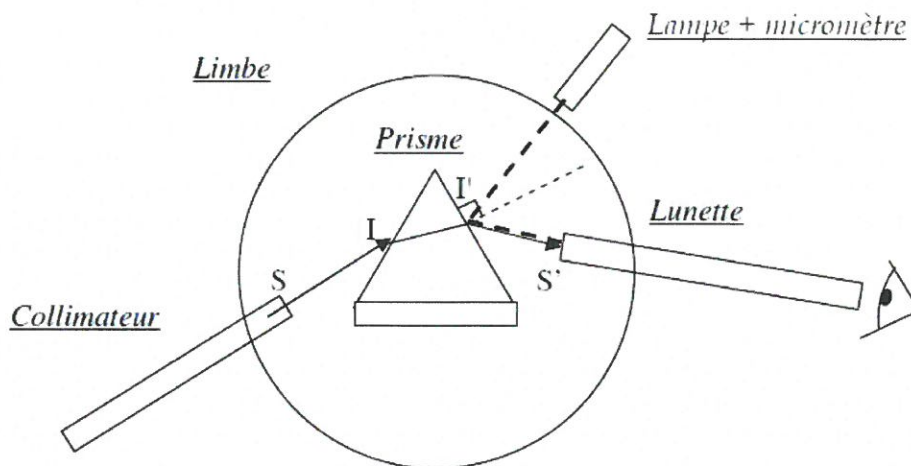
3) *Une lunette d'observation* du type lunette astronomique permet d'observer l'image à l'infini de la fente que donne le collimateur.

4) *Un dispositif de repérage*

## C) Manipulation

Pour mesurer la longueur d'onde d'une raie, il faut connaître la loi qui lie la longueur d'onde de cette raie à sa position dans le plan focal. La manipulation consiste en l'étalonnage du spectroscopie puis en la détermination des longueurs d'onde caractéristiques d'une source en émission ou d'un milieu absorbant.

### 1. Réglages préalables



- Placer la source lumineuse en face de la fente du collimateur, dans l'axe de ce collimateur : le prisme est alors bien éclairé, condition nécessaire pour un bon fonctionnement de l'appareil.
- Le collimateur est toujours réglé à l'infini. **Ne pas y toucher.**
- Le prisme équilatéral en flint dans le spectroscopie utilisé, éclairé en lumière parallèle, doit être placé au minimum de déviation pour les radiations moyennes du spectre de la lumière visible.

- Pour cela, mettre la lunette au point sur une radiation du milieu du spectre (radiation verte) par action sur la vis. Chercher alors à se placer au minimum de déviation pour cette raie. Pour cela, faire tourner le prisme en suivant avec la lunette pour maintenir la raie verte sur la croisée des fils de réticule ; au moment où l'image rebrousse chemin : l'angle des rayons SI et S' I' est minimum. Dorénavant, prisme et collimateur resteront fixes.
- Amener le micromètre dans le champ de la lunette et mettre au point. On réglera le micromètre de manière à placer la 1<sup>ère</sup> raie verte sur la graduation 7 (l'échelle doit être horizontale !). Ne plus toucher ensuite au micromètre.

N.B. : 1°) Ne jamais forcer la vis de commande de la fente.

2°) La déviation étant fonction de la longueur d'onde, retoucher si nécessaire le tirage de la lunette pour viser les raies extrêmes du spectre.

3°) Vérifier, par rotation de la lunette, que l'ensemble des raies du spectre peut être positionné sur l'axe gradué.

## 2. Étalonnage du spectroscopie

Dans le modèle utilisé les repérages se font au moyen du micromètre. Une graduation, gravée sur verre éclairé convenablement, est placée au plan focal d'une lentille qui fait correspondre à chaque point de cette graduation un faisceau de rayons parallèles qui se réfléchit sur la face de sortie du prisme. L'image arrive sur l'objectif de la lunette et converge en un point du plan focal de ce dernier. On obtient donc, dans ce plan focal, une image de la graduation. Si l'image apparaît à l'envers, tourner la lampe sans vous brûler, afin que l'image soit droite. Éclairant alors la fente du spectroscopie par diverses sources de radiations monochromatiques de longueurs d'onde connues, on note pour chacune d'elles la division  $x$  du micromètre avec laquelle la raie correspondante est en coïncidence. Le micromètre est gradué de 0 à 30.

N.B. : l'unité de  $x$  est arbitraire : les valeurs de  $x$  ne correspondent ni à des micromètres, ni des millimètres !

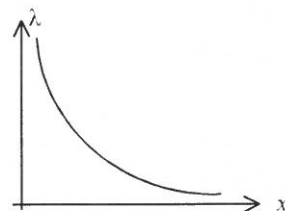
La source connue utilisée est une lampe à vapeur de Mercure-Cadmium. Présenter les mesures réalisées dans un tableau :

### SPECTRE DE L'ÉTALON MERCURE-CADMIUM

( on y a reporté uniquement les longueurs d'onde des raies les plus intenses)

Raies	Rouge intense	Jaune 1 intense	Jaune 2 intense	Verte 1 intense	Verte 2 intense	Bleu 1 intense
$\lambda$ (nm)	$644 \pm 1$	$579 \pm 1$	$577 \pm 1$	$546 \pm 1$	$508 \pm 1$	$480 \pm 1$
Position $x$ (u.a)						
Raies	Bleu 2 intense	Bleu-Violet intense	Violette intense			
$\lambda$ (nm)	$468 \pm 1$	$436 \pm 1$	$404 \pm 1$			
Position $x$ (u.a)						

Tracer très soigneusement sur papier millimétré la courbe  $\lambda = f(x)$  appelée courbe d'étalonnage (on rappelle que les radiations visibles ont des longueurs d'onde comprises entre 0.4 et 0.8  $\mu\text{m}$ ).





### **3. Mesure de longueurs d'onde inconnues en émission**

On remplace la lampe à vapeur de Mercure-Cadmium par la lampe "inconnue". Repérer sur le micromètre les positions des raies observées. En déduire par le graphique les longueurs d'ondes correspondantes. Présenter les résultats dans un tableau analogue au précédent.

La précision sur ces mesures dépend du soin apporté au graphique, de l'erreur de lecture sur le micromètre, de la région spectrale où se trouve la raie. Pour déterminer l'incertitude sur les valeurs de longueurs d'onde déterminées graphiquement, on ne prendra en compte que l'incertitude de lecture sur le micromètre (on prendra  $\Delta x = 0,1$ ). Déduire graphiquement les valeurs de la précision  $\Delta \lambda$  pour chaque raie.

**A partir du relevé des longueurs d'onde réalisé, en le comparant aux tables bibliographiques ou aux spectres relevés à l'aide d'un spectromètre à réseau commercial, identifier la source inconnue.**