

TP7 : Quelques instruments d'optique

Lors de cette séance, vous serez amenés à travailler sur des ateliers tournants. Les différentes parties sont complètement indépendantes.

1 Caractérisation d'un prisme

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES TRAVAILLÉES :

- ▷ Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice.
- ▷ Utiliser des vis micrométriques et un réticule.
- ▷ Régler et mettre en oeuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.
- ▷ Mesurer l'indice de réfraction d'un prisme.

MATÉRIEL :

Goniomètre, prisme, lampe spectrale, miroir.

Un **prisme** est un cylindre transparent à base triangulaire, souvent en verre ou en plexiglas.

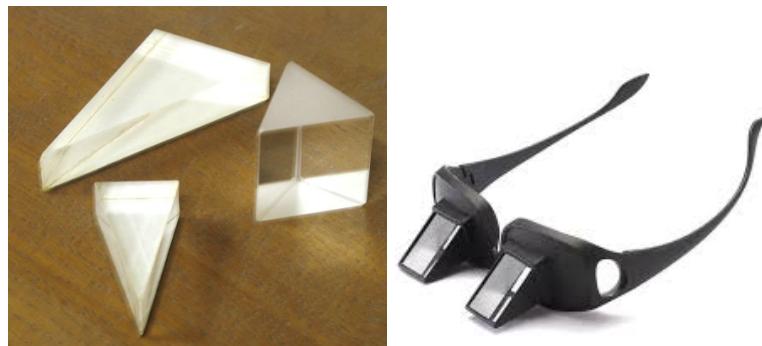


FIGURE 1 – Gauche : prismes ; droite : lunettes d'escalade

Ses utilisations sont diverses, il peut servir par exemple :

- ▷ en physique fondamentale, pour disperser la lumière et faire de la spectroscopie ;
- ▷ dans les lunettes d'escalade, pour assurer un(e) partenaire sans lever la tête.

Le phénomène de **réfraction** sur ses faces lui permet de dévier un faisceau de lumière incidente, comme illustré sur le schéma ci-dessous, où on a isolé un rayon lumineux pour faciliter la lecture.

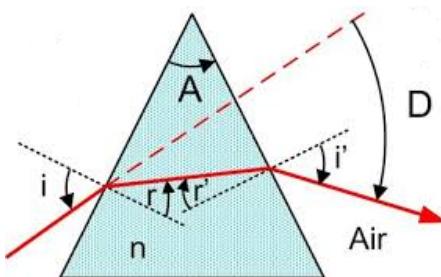


FIGURE 2 – Déviation d'un rayon lumineux par un prisme

Un prisme isocèle est caractérisé par son angle au sommet A, et par son **indice de réfraction** n , grandeur physique sans unité dont la valeur dépend du matériau dans lequel le prisme a été taillé.

Une étude théorique montre que dans une configuration où $i = i'$, l'**angle de déviation** D prend sa valeur minimum D_m , telle que :

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

PROBLÉMATIQUE :

Comment mesurer l'indice de réfraction d'un prisme ?

1.1 Présentation du goniomètre

Nous allons mesurer de façon indirecte l'indice de réfraction d'un prisme, en nous appuyant sur la relation (1) ci-dessus. Pour ce faire, il nous faudra mesurer, aussi précisément que possible, l'angle au sommet A et l'angle de déviation minimale D_m .

Un **goniomètre** nous permettra de mesurer ces angles avec précision.

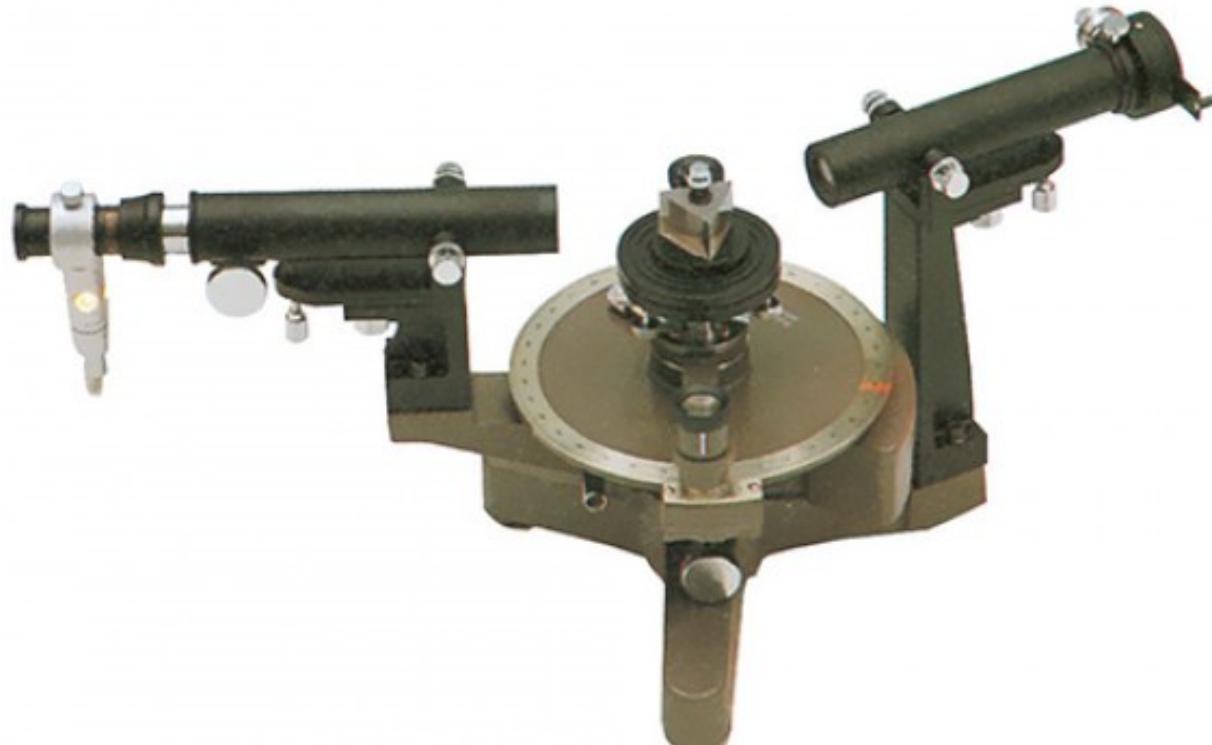


FIGURE 3 – Photographie d'un goniomètre

Un goniomètre se compose de trois éléments essentiels :

- ▷ un **collimateur** qui guide une lumière incidente pour la transformer en un faisceau de rayons parallèles ;
- ▷ une **lunette**, qu'on peut tourner autour du socle auquel est fixé le collimateur ;
- ▷ un dispositif similaire à un rapporteur, muni d'un **vernier** pour mesurer les angles avec une grande précision.

1.2 Réglages préliminaires

Si nécessaire, on commence par retirer le support avec le prisme grâce à la grosse vis, afin qu'il ne gêne pas lors des réglages.

1.2.1 Réglage de la lunette

1. On commence par régler l'**oculaire** de la lunette (lentille du côté de l'œil lors des observations).

- Allumer la lampe incluse dans l'oculaire.
- Viser à travers la lunette : le **réticule** (croix verticale) doit apparaître net. Tourner la molette métallique juste derrière l'oculaire pour régler la netteté si besoin.

2. On règle ensuite l'**objectif** (lentille située du côté où se trouve l'objet à observer) par **autocollimation**.

- Avec la molette rectangulaire coulissante située au niveau de la lampe, insérer une **lame semi-réfléchissante** sur la trajectoire de la lumière.
- Placer un miroir derrière l'oculaire. Il doit former une image nette si le réglage est bien fait. Modifier le réglage si besoin.
- Éteindre l'alimentation et retirer la lame semi-réfléchissante.

1.2.2 Réglage du collimateur

Le but de ce réglage est de simuler une source lumineuse à l'infini, ce qui peut se faire en produisant un faisceau de lumière parallèle. Pour cela, il faut mettre la fente par laquelle rentre la lumière dans le plan focal objet de la lentille du collimateur.

- Placer une lampe spectrale (à vapeur de sodium ou de cadmium, par exemple), derrière la fente du collimateur, et allumer cette lampe.
- Tourner la lunette pour qu'elle soit en face du collimateur.
- Ouvrir la fente du collimateur avec la molette située juste à côté de cette dernière.
- Observer la fente à travers la lunette. Tourner légèrement la lunette pour qu'elle soit bien en face de la fente, dont on réglera l'ouverture pour qu'elle soit fine.
- Tourner la molette du collimateur (grosse molette métallique) jusqu'à ce que la fente apparaisse nette à travers la lunette.

Q1. Appeler l'enseignant pour qu'il valide votre réglage.

1.3 Mesure de l'angle au sommet du prisme

- Replacer le support avec le prisme entre le collimateur et la lunette, et le bloquer en utilisant la grosse vis.
- Placer le côté du prisme avec l'angle A du côté du collimateur.
- Tourner la lunette pour voir la fente (remarque : vous pouvez repérer l'image à l'œil nu avant de tourner la lunette, ça aide à faire le réglage).
- Régler si besoin la hauteur de la lunette avec la molette noire située en-dessous d'elle.
- Viser le bord fixe de la fente.
- Lire l'angle avec le vernier à l'aide de la notice ci-dessous, noter sa valeur.

Lecture d'un vernier :

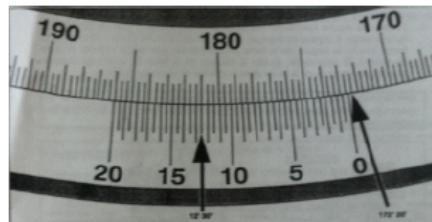


FIGURE 4 – Lecture d'un angle en utilisant un vernier : illustration

Avec le rapporteur, on lit d'abord l'angle en degrés à $20'$ d'arc près, tronquée à sa valeur inférieure, en regardant entre quelles graduations se trouve le zéro de l'échelle extérieure. Dans l'exemple illustré ci-dessus, on trouverait $172^{\circ}20'$.

On observe ensuite l'échelle du vernier et on détermine quelle graduation se trouve pile en face d'une graduation du cercle intérieur. On ajoute ensuite la mesure obtenue au résultat retenu plus haut.

Sur l'exemple donné, il s'agit de la graduation intermédiaire entre $12'$ et $13'$ d'arc, soit $12'30''$. L'angle mesuré vaut donc $172^{\circ}32'30''$, soit 172 degrés, 32 minutes et 30 secondes d'arc.

- Tourner la lunette pour voir la fente de l'autre côté par rapport à l'axe du collimateur.
- Lire le nouvel angle avec le vernier, noter sa valeur.

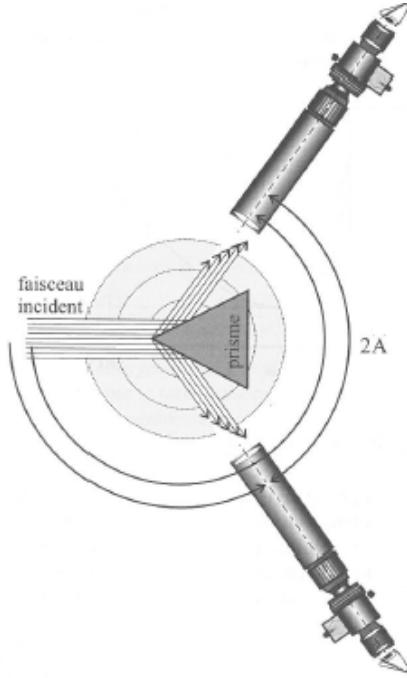


FIGURE 5 – Illustration des deux positions de la lunette et lien avec l'angle au sommet

Q2. Exploiter vos mesures pour calculer l'angle A.

1.4 Mesure du minimum de déviation

- Réglér le collimateur pour qu'il envoie la lumière sur une face du prisme autre que la base.
- Tourner la lunette jusqu'à observer une image de la fente. Remarque : comme le prisme disperse la lumière, il existe plusieurs images de la fente, toutes de couleurs différentes, qui correspondent chacune à une raie spectrale. On choisit l'une d'elles comme référence.
- Tourner le support jusqu'à atteindre le minimum de déviation (la fente finit par "rebrasser chemin"). Mesurer l'angle affiché par le rapporteur et le vernier et noter sa valeur.
- Tourner le prisme et refaire la même chose en visant l'autre face. Mesurer l'angle avec le rapporteur et le vernier et noter sa valeur.

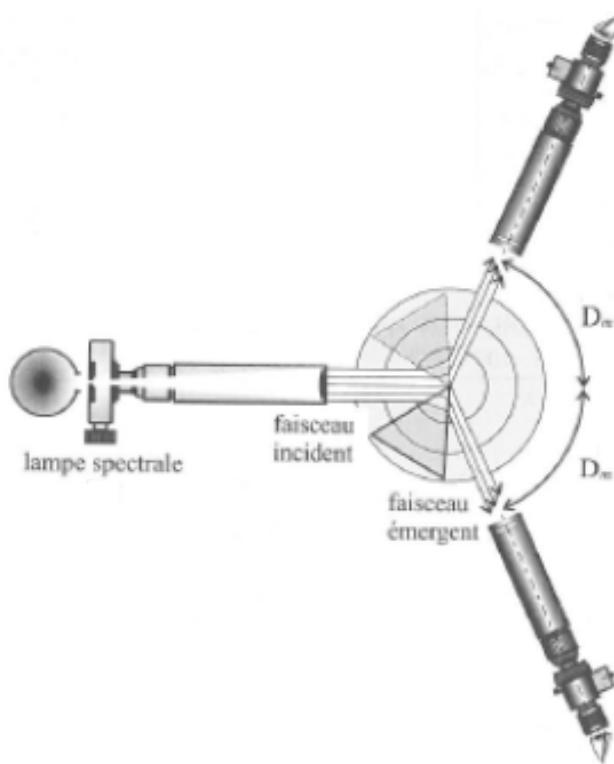


FIGURE 6 – Illustration des deux configurations adoptées et lien avec l'angle de déviation minimale D_m

Q3. En utilisant vos mesures, calculer l'angle de déviation minimale D_m .

Q4. En déduire la valeur de l'indice de réfraction du prisme avec trois chiffres significatifs, en vous appuyant sur la formule (1).

Q5. Si le temps le permet, reprendre la mesure de l'angle de déviation minimale D_m en vous appuyant sur d'autres raies de la lampe spectrale à disposition. La valeur de l'angle de déviation minimale dépend-elle de la longueur d'onde de la lumière ? Si oui, indiquer qualitativement l'effet d'une variation de longueur d'onde.

2 Spectrométrie de sources lumineuses courantes

CAPACITÉ EXPÉRIMENTALE TRAVAILLÉE :

► *Relever des longueurs d'onde sur un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.*

MATÉRIEL :

Spectromètre à fibre optique et logiciel associé, diverses sources lumineuses : lampe à incandescence, laser à gaz, lampes spectrales.

Une **fibre optique** a l'apparence d'un câble, destiné à guider la lumière sur une certaine distance grâce au phénomène de **réflexion totale** sur ses parois internes.

Un **spectroscop**e est un appareil qui repose sur l'utilisation d'un dispositif dispersif, comme un **prisme** ou un **réseau optique**. Il permet de séparer spatialement les différentes composantes spectrales de la lumière issue d'une source lumineuse : on observe alors, sur un écran, le **spectre d'émission** de cette source. Les spectroscopes sont souvent gradués de façon à pouvoir associer chaque radiation monochromatique à sa longueur d'onde.

Lorsqu'un spectroscop est muni d'un capteur qui enregistre l'intensité lumineuse I qui atteint chaque pixel, on peut tracer avec un logiciel une représentation graphique de $I = f(\lambda)$. Le spectroscop est alors qualifié de **spectromètre**. Il permet une caractérisation plus précise des sources lumineuses.



PROBLÉMATIQUE :

Comment caractériser une source lumineuse ?

En optique, on classe les spectres des sources lumineuses en trois catégories :

- les **spectres continus** : un intervalle de radiations monochromatiques est présent, même si leur intensité n'est pas forcément la même ;
- les **spectres de raies** : seules certaines radiations monochromatiques sont présentes, séparées les unes des autres ;
- les **spectres monochromatiques**, qui ne comportent qu'une seule radiation.

Pour utiliser le spectromètre à fibre optique fourni, on vise une source lumineuse avec l'entrée de la fibre optique. Le spectre $I(\lambda)$ s'affiche alors sur l'écran de l'ordinateur, quand on ouvre le logiciel associé.

— Observer les spectres des sources lumineuses à disposition.

Q6. Classer les spectres dans les trois catégories, en justifiant.

Q7. Pour les spectres de raies ou monochromatiques, relever les valeurs des longueurs d'onde associées aux principales raies.

Le spectre de la lampe à vapeur de sodium comporte un doublet : deux raies de longueurs d'onde très proches, à 589,0 nm et 589,6 nm respectivement.

Q8. Indiquer si le spectromètre permet de résoudre ces deux raies, autrement dit, de les distinguer l'une de l'autre. Conclure quant à l'incertitude-type $u(\lambda)$ associée à la mesure des longueurs d'onde avec ce dispositif.

Quand un spectre est continu, on peut le modéliser par un **spectre de corps noir**, qui est une courbe en cloche. La loi de Wien indique que la longueur d'onde λ_{max} qui correspond au maximum de cette courbe en cloche vérifie :

$$\lambda_{max} = \frac{2,90 \times 10^{-3}}{T}$$

où λ_{max} est exprimée en mètre et T désigne la température absolue (en kelvin K) en surface de la source lumineuse associée.

Q9. Estimer la température des sources lumineuses qui ont donné lieu à un spectre continu. Commenter.

3 Modélisation d'un projecteur

CAPACITÉ EXPÉRIMENTALE TRAVAILLÉE :

▷ *Choisir une lentille en fonction des contraintes expérimentales, choisir sa focale de façon raisonnée et aligner l'ensemble du système optique.*

MATÉRIEL :

Source de lumière blanche, objet (lettre P), lentilles minces convergentes, banc d'optique, supports, écran.

Un vidéoprojecteur permet de former sur un écran l'image d'un objet lumineux, que ce soit dans une salle de classe, à la maison ou au cinéma. Il comporte une lentille mince convergente. Pour que l'image soit nette et prenne toute la taille de l'écran, on déplace la lentille par rapport à l'objet en la laissant proche de ce dernier. L'image est agrandie par rapport à l'objet et est dans le bon sens sur l'écran.



PROBLÉMATIQUE :

Comment illustrer expérimentalement le principe de fonctionnement d'un vidéoprojecteur ?

Q10. Proposer un montage pour répondre à la problématique, le mettre en œuvre et l'étudier. Dans votre compte rendu, vous justifierez soigneusement la modélisation retenue. Le montage sera introduit, décrit et analysé en détail. Vous confronterez, autant que possible, l'expérience et la théorie : position, taille et sens de l'image, etc.