

TP 3 : Lunettes astronomiques et goniomètres

Objectifs :

Ce TP comporte deux expériences : l'étude d'un prisme à l'aide d'un goniomètre, et l'étude de la lunette astronomique.

Matériel :

lunette astronomique	goniomètre
banc optique horizontal gradué ; lampe blanche ; un objet ; des lentilles ; un écran	lampe spectrale un prisme un goniomètre

Le compte-rendu doit contenir les réponses aux questions de l'énoncé (en gras) mais pas uniquement. Il doit être présenté comme un exposé écrit de votre séance. En particulier, n'oubliez pas de décrire vos protocoles (introduction des notations avec des schémas, étapes du protocole et matériel pour y parvenir), de présenter vos résultats et de conclure.

Incertitude sur la mesure :

Dans tout le TP, pensez aux différentes sources d'incertitudes et présenter vos résultats correctement : $f' = (... \pm ...) \text{ unité}$.

I Etude d'une lunette astronomique

1 Description et principe de la lunette astronomique

Le réglage d'un instrument d'optique est correct s'il évite toute accommodation de l'œil. Ainsi les muscles ciliaires du cristallin sont au repos. Donc, l'image finale donnée par l'instrument doit être au punctum Remotum (P.R.) de l'œil , c'est-à-dire à l'infini pour un œil emmétrope (« normal »). Dans la suite, on considérera que l'image finale est à l'infini.

Une **lunette astronomique** est un instrument permettant d'observer un **objet se trouvant à l'infini** en donne une **image à l'infini**.

Elle est constituée de deux lentilles convergentes :

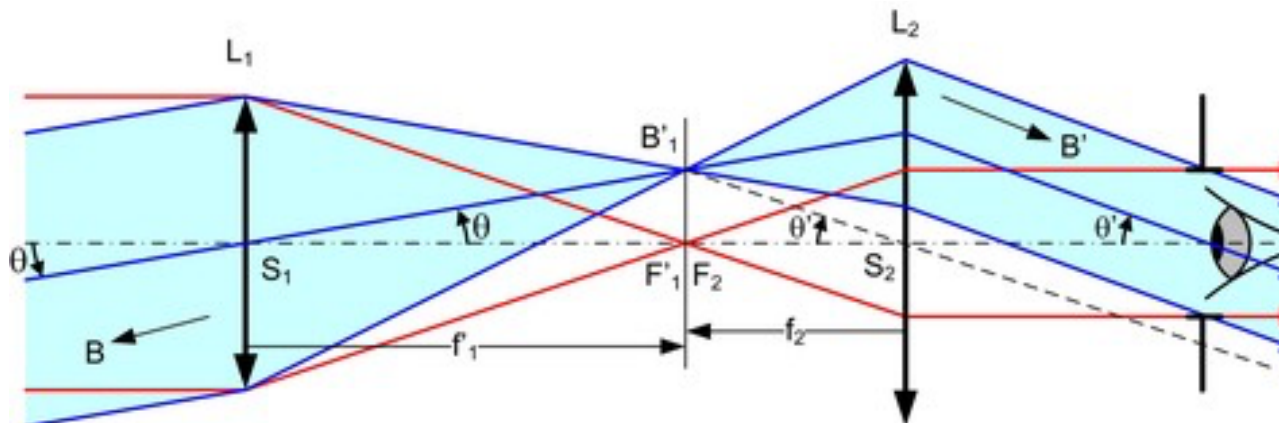
- l'objectif L_1 (coté objet) de grande distance focale, pouvant atteindre 20 m. Il donne dans son plan focal image une image réelle renversée d'un objet à l'infini (étoile lointaine).
- l'oculaire L_2 (coté œil) qui a une petite distance focale, de l'ordre du centimètre. Il donne une image à l'infini de l'image intermédiaire donnée par l'objectif, de telle sorte que l'œil n'ait pas à accommoder.

Nous utilisons le schéma simplifié de la lunette en assimilant l'objectif et l'oculaire à des lentilles minces convergentes. Posons f'_1 la distance focale de l'objectif et f'_2 celle de l'oculaire.

Observons un objet à l'infini de taille angulaire θ . L'objet à l'infini a une image intermédiaire B'_1 située dans le plan focal image de l'objectif. Pour que l'image de B'_1 par l'oculaire soit à l'infini, il faut que B'_1 soit dans le plan focal objet de l'oculaire.

La lunette est donc réglée à l'infini si le foyer objet de l'oculaire est confondu avec le foyer image de l'objectif :

$$\text{Lunette afocale} \Leftrightarrow F'_1 = F_2$$



On peut remarquer sur la figure que, sans lunette, l'œil aura l'impression que les rayons proviennent du bas et qu'avec la lunette, il verra les rayons provenir du haut : l'image est donc renversée. Pour les objets stellaires, cela n'a pas d'importance. Si on souhaite que l'image soit droite, il faut que l'oculaire soit divergent.

2 montage de l'instrument

a. Constitution

Vous avez à disposition 4 lentilles :

L_0 : lentille convergente de focale $f'_0 = 90$ mm

L_1 : lentille convergente de focale $f'_1 = 333$ mm

L_2 : lentille convergente de focale $f'_2 = 125$ mm

L_3 : lentille convergente de focale $f'_3 = 90$ mm

- ☞ Identifier le rôle de chacune des lentilles.
- ☞ Où doit-on placer l'objet ?
- ☞ Où doit-on placer l'écran ?

b. Vérification des focales des lentilles de la lunette

Nous allons dans cette partie « étalonner » les lentilles L_0 , L_1 , L_2 et L_3 , c'est-à-dire déterminer par une méthode optique leurs distances focales respectives. Cette étude préalable s'avère nécessaire pour pouvoir par la suite, mesurer les performances de la lunette en termes de grossissement.

Par la méthode de votre choix (vue au TP précédent) déterminer la focale de chacune des lentilles avec son incertitude.

c. Construction de la lunette

Veillez à bien centrer et aligner les différents éléments optiques !!!

- ☞ Ajuster la position de la lentille L_0 par auto-collimation à l'aide d'un miroir pour avoir l'objet dans son plan focal objet.
- ☞ Ajuster la distance entre L_1 et L_2 pour que les foyers image de L_1 et objet de L_2 soient confondus.
Quand ce réglage est réalisé, tout faisceau de lumière parallèle à l'entrée de l'objectif, est transformé en un faisceau de lumière parallèle à la sortie de l'oculaire.
- ☞ Ajuster la distance entre L_3 et l'écran.

3 Grossissement de la lunette

Le grossissement G d'un instrument afocal est défini par : $G = \frac{\theta'}{\theta}$, avec θ et θ' les diamètres apparents respectivement de l'objet et de l'image. Donc θ est l'angle sous lequel on voit l'objet sans lunette et θ l'angle sous lequel on voit l'objet avec lunette.

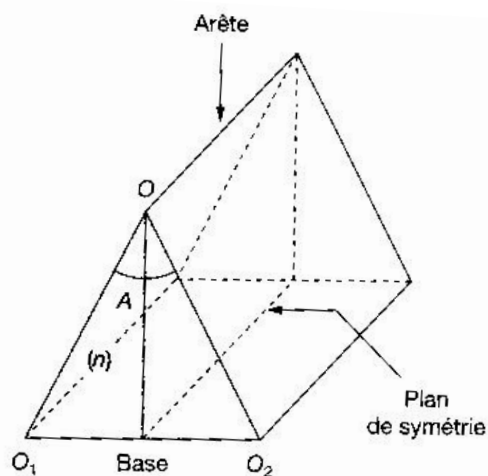
- ☞ Démontrer que $G = \frac{-f'_1}{f'_2}$. Comment interpréter le signe négatif?
- ☞ Comment pourrait-on avoir un grossissement positif?
- ☞ En déduire une valeur pour le grossissement en utilisant les valeurs de f'_1 et f'_2 déterminées précédemment. Donner l'incertitude sur G . On pensera à prendre en compte l'incertitude due au matériel et celle due à l'œil de l'expérimentateur.
- ☞ Mesurer sur l'écran les dimensions $A'B'$ de l'image (avec lunette, c'est-à-dire en présence des lentilles L_0 , L_1 , L_2 et L_3).
- ☞ Mesurer sur l'écran les dimensions A_0B_0 de l'image (sans lunette, c'est-à-dire en présence des lentilles L_0 et L_3 uniquement).
- ☞ Montrer que le grossissement est égal à $G = \frac{A'B'}{A_0B_0}$. En déduire une valeur pour le grossissement.
- ☞ Evaluer les incertitudes sur les mesures.

II Étude d'un prisme à l'aide d'un goniomètre

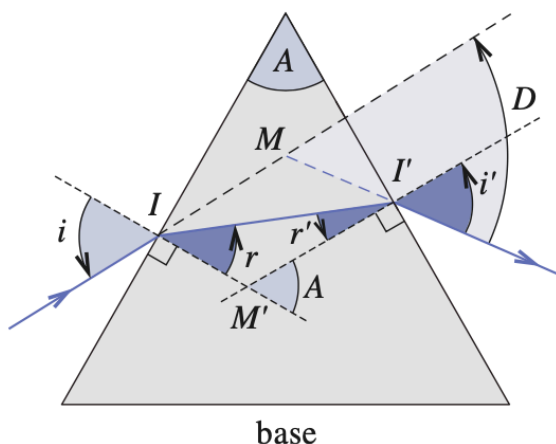
1 Travail préliminaire : formules du prisme

Considérons un prisme droit de base triangulaire, transparent d'indice de réfraction n . En pratique le prisme est fabriqué en verre dont l'indice n se situe entre 1,5 et 1,8 suivant la longueur d'onde.

On note A l'angle du sommet qui fait face à la base du triangle, en général $A \approx 60^\circ$. Le triangle O_1OO_2 est isocèle, ainsi le prisme possède un plan de symétrie passant par l'arête du prisme et perpendiculaire à la base.



Lorsqu'un rayon lumineux entre par une des faces, il subit deux réfractions et ressort dévié par rapport à sa direction d'incidence. La déviation entre les rayons incident et émergent est notée D .



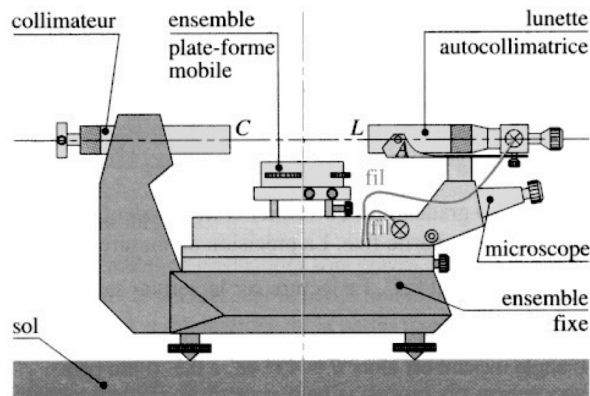
1. Montrer que l'angle de déviation vaut $D = i + i' - A$

2. Montrer que la déviation n'existe que si l'angle d'incidence est supérieur à une valeur limite i_{lim} à déterminer.
3. L'angle D présente un minimum en fonction de i , appelée minimum de déviation D_m . Lorsque le prisme est utilisé au minimum de déviation, les angles i et i' sont égaux. Montrer alors que
$$\sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right) = n \sin(A/2)$$

2 Description du goniomètre

Un goniomètre permet d'effectuer des mesures précises d'angles (précision de l'ordre de la minute d'arc). Il est composé

- de la platine : une plate-forme horizontale, mobile autour d'un axe vertical (Δ). Elle est destinée à recevoir le prisme.

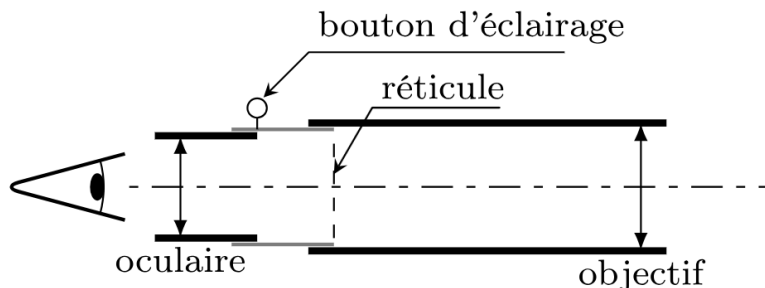


- d'une lunette mobile autour de l'axe (Δ) : qui permet donc de mesurer la déviation subie par le faisceau lumineux après avoir traversé le prisme. Un réticule (deux fils croisés) permet de régler la lunette.
- d'un collimateur fixe qui se compose d'une fente d'ouverture réglable placée au foyer d'une lentille convergente : on obtient ainsi un faisceau de lumière parallèle à la sortie du collimateur.

☞ Allumer la lampe spectral et laisser la allumer tout le long du TP. Si jamais vous l'avez éteint alors que vous n'aviez pas fini, attendez ~ 10 min avant de la rallumer.

a Réglage de la lunette

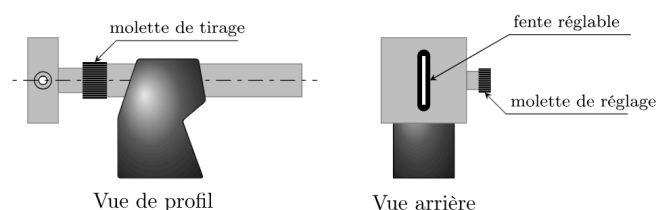
La lunette est bien réglée lorsqu'elle est afocale : elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini comme la lunette astronomique (visible par un œil normal sans accommoder). Pour cela on procède à un réglage par auto-collimation :



- ☞ Éclairez le réticule situé entre l'oculaire et l'objectif de la lunette en basculant le bouton situé sur le côté de la lunette.
- ☞ Réglez le tirage de l'oculaire pour voir nettement le réticule : il est dans le plan focal de l'oculaire
- ☞ Placez un miroir plan (ou utiliser une face du prisme) contre l'objectif et réglez le tirage de l'objectif pour que le réticule image soit dans le même plan que le réticule objet : on voit alors deux réticule nets. La lunette est alors réglée.

b Réglage du collimateur

Un collimateur sert à créer un faisceau de rayons parallèles. Le réglage du collimateur consiste à faire en sorte que la fente source se situe dans le plan focal objet de la lentille du collimateur. Pour cela :



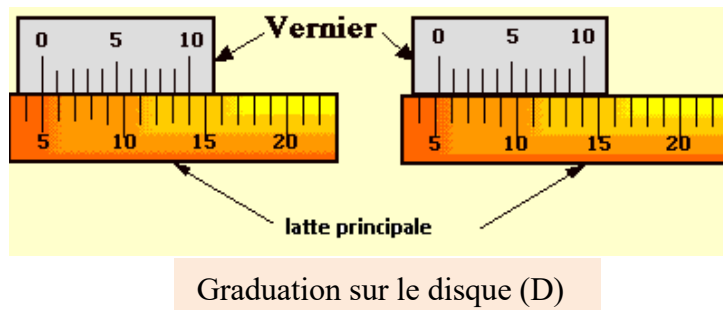
- ☞ Enlever le prisme (c'est-à-dire le plateau dont il est solidaire) puis aligner le collimateur sur l'axe de la lunette.

- ☞ Placer la source lumineuse (lampe spectrale) tout près de la fente du collimateur. Pensez à ouvrir la fente d'entrée mais pas trop tout de même !
- ☞ Viser le collimateur avec la lunette en confondant à peu près leur axe optique. Tourner la bague du collimateur de façon à voir une image nette de la fente dans la lunette.

c Méthode de lecture d'angle au vernier :

L'unité de graduation sur le disque (D) est le demi-degré, de 0° à 360° . Les verniers au $1/30$ permettent des lectures à la minute d'angle près.

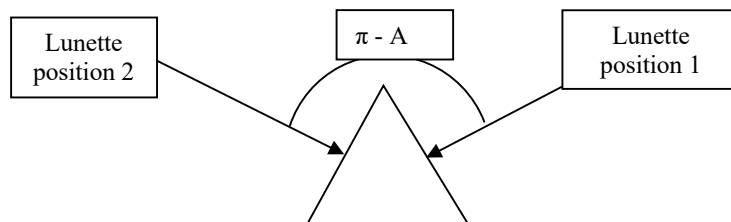
Sur le disque (D), on lit 5° . Puis on cherche la graduation du vernier qui coïncide parfaitement avec une graduation du disque. A gauche, on lit : 5° et $0'$ A droite, on lit : 5° et $2'$ d'angle puisque la deuxième graduation du vernier coïncide avec une graduation du disque.



S'entraîner à la lecture du vernier à la minute à l'aide de l'animation sur le site de l'université de Nantes : <https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Divers/divers/vernier.php>

3 Mesure de l'angle A du prisme

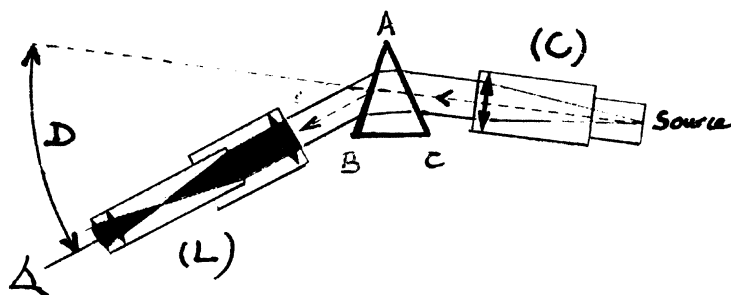
- ☞ Poser le prisme sur la plateforme du goniomètre et fixer le. Le prisme ne doit pas bouger pendant cette mesure.



- ☞ Effectuez une auto-collimation sur une des faces du prisme. Pour cela dirigez la lunette (réticule éclairé) en direction d'une face qui par réflexion produira une image du réticule dans le même plan que le réticule lui-même. Faites coïncider le fil vertical du réticule avec son image. La face du prisme est alors perpendiculaire à l'axe de la lunette. Repérer l'angle α_1 de la position de la lunette.
- ☞ Faire de même sur la deuxième face **sans bouger le prisme**. On a l'angle α_2 .
- ☞ L'angle en valeur absolue entre α_1 et α_2 est $\pi - A$. Calculer l'angle A et estimer les incertitudes.

4 Mesure de l'indice du verre pour une longueur d'onde donnée

- ☞ Eteignez le réticule et placez une lampe à vapeur de sodium devant la fente du collimateur.
- ☞ Tourner la platine pour que le faisceau entrant ne subisse pas de réflexion totale dans le prisme.
- ☞ Chercher à l'œil nu le faisceau réfracté émergent du prisme.



- ☞ Observez le spectre de la source avec la lunette et choisissez une raie spectrale. Ajuster la largeur de la fente de façon à obtenir une précision maximale.

- ☞ En tournant le plateau (et donc en modifiant l'angle d'incidence), remarquez que le faisceau émergent tourne d'un côté puis rebrousse chemin ; à ce moment précis, la déviation est minimum. Lisez l'angle α correspondant à ce minimum. Notez que la précision de la mesure dépend (entre autre) de la finesse des raies.

Remarque : on observe plusieurs images colorées de la fente, la figure obtenue constitue un spectre de raies. Chaque raie correspond à une radiation monochromatique émise par la source lumineuse : il s'agit ici du spectre de la lampe à vapeur de sodium, ce spectre est caractéristique de l'élément Na. La raie la plus intense de ce spectre est jaune, elle correspond en fait à un doublet de radiations de longueurs d'onde très proches (dans le vide : 589,0 nm et 589,6 nm), on prendra pour cette raie la moyenne $\lambda = 589,3$ nm. Vous pouvez aussi travailler avec le Mercure de symbole chimique Hg qui présente un spectre de raies plus riche.

- ☞ Après avoir mesuré les valeurs de α pour trois raies, enlever le prisme et viser le collimateur. Mesurer la valeur α_0 correspondant au trajet direct. On a alors $D_m = |\alpha - \alpha_0|$
- ☞ Calculer la valeur de l'indice n du prisme à partir des mesures de A et D_m . Montrer que cette valeur dépend de la longueur d'onde

5 Variation de l'indice du verre avec la longueur d'onde

Données spectroscopiques :

Sodium :

raies	λ en nm
vert	568,8
doublet jaune	589,0/589,6
rouge	616,0

Mercure :

raies	λ en nm
violette	404,7
bleue	435,8
verte	546,1
jaunes	577,0/579,1

- ☞ Pour chacune des raies du sodium et/ou du mercure, mesurer D_m , en déduire l'indice n du verre pour la longueur d'onde correspondante. Présenter vos résultats dans un tableau donnant la longueur d'onde la valeur de D_m et la valeur de n
- ☞ La loi de Cauchy $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$ avec A et B des constantes, est-elle vérifiée ? Si oui, en déduire les valeurs des constante A et B .