

TP 1a – Lois de Snell-Descartes

L'objectif de ce TP est de vérifier expérimentalement les lois de Snell-Descartes à l'interface entre deux milieux d'indices différents. Plus précisément, on souhaite vérifier expérimentalement la loi de Snell-Descartes pour la réfraction, mettre en évidence le phénomène de réflexion totale, déterminer la valeur de l'angle limite associé et déterminer l'indice de réfraction du plexiglas.

Pour cela il faudra :

- proposer un protocole expérimental adapté au matériel disponible et aux objectifs cherchés,
- mener à bien les manipulations correspondantes,
- noter proprement dans un tableau l'ensemble des résultats des opérations de mesure,
- exploiter rigoureusement ces mesures pour répondre à la problématique.

I Protocole expérimental

Pour répondre aux différentes questions posées dans la problématique, vous disposez du matériel suivant :

- un bloc hémicylindrique en plexiglas,
- un disque tournant gradué sur lequel on pourra disposer l'hémicylindre,
- une source lumineuse envoyant un faisceau de lumière blanche

Décrivez soigneusement le protocole expérimental que vous proposez pour répondre à cette problématique, en l'illustrant par un schéma soigné, en précisant les différentes mesures que vous envisagez et enfin en détaillant la méthodologie suivie pour exploiter les résultats expérimentaux.

II Mesures

Réalisez les différentes mesures en suivant le protocole défini précédemment. Tous les résultats seront soigneusement notés dans votre cahier de TP, en discutant en détail des incertitudes associées. Vous pourrez également tracer le ou les graphes associés à ces tableaux de mesures, en suivant scrupuleusement les recommandations données dans le fascicule de cours « Compétences Transverses ».

III Exploitation des résultats

Interprétez les résultats obtenus précédemment pour répondre aux différentes questions de la problématique posée dans les objectifs du TP.

TP 1b – Réglage et utilisation d'un goniomètre

L'objectif de ce TP est d'apprendre à créer et repérer une direction optique de référence à l'aide d'un collimateur et d'une lunette autocollimatrice, afin de mesurer des angles sur une plateforme goniométrique.
Pré-requis : OS-A, OS-B, OS-D, OS-E, OS-TD1 (prisme), OS-TD2.

I Protocole de réglage du goniomètre

NE JAMAIS ÉTEINDRE LES LAMPES SPECTRALES PENDANT LA SÉANCE !

I.1 Description

La goniomètre est constitué de différentes platines tournant autour d'un axe commun (figure 1). Il est important, pour une bonne compréhension du TP, de bien repérer chacun des éléments :

- la platine du collimateur qui dispose d'une seule vis permettant de la bloquer en position fixe. Bloquer cette platine de façon à ce que le collimateur soit à peu près dans l'axe de la graduation zéro.
- la platine du prisme est constitué de deux parties :
 1. Une platine de graduation en degré et minute d'angle, disposant d'une vis de blocage et d'une vis démultipliée de réglage fin.
 2. Une platine de support du prisme, disposant d'une vis permettant de solidariser le support avec les graduations. Il est important de s'assurer, avant toute mesure, que le support soit solidaire des graduations.

Afin d'éviter tout problème pendant les manipulations, il sera nécessaire de réfléchir à la position relative entre le prisme et sa platine de graduation afin de ne pas empêcher la libre rotation de la lunette.

- la platine de la lunette, disposant d'une vis de blocage et d'une vis démultipliée de réglage fin.

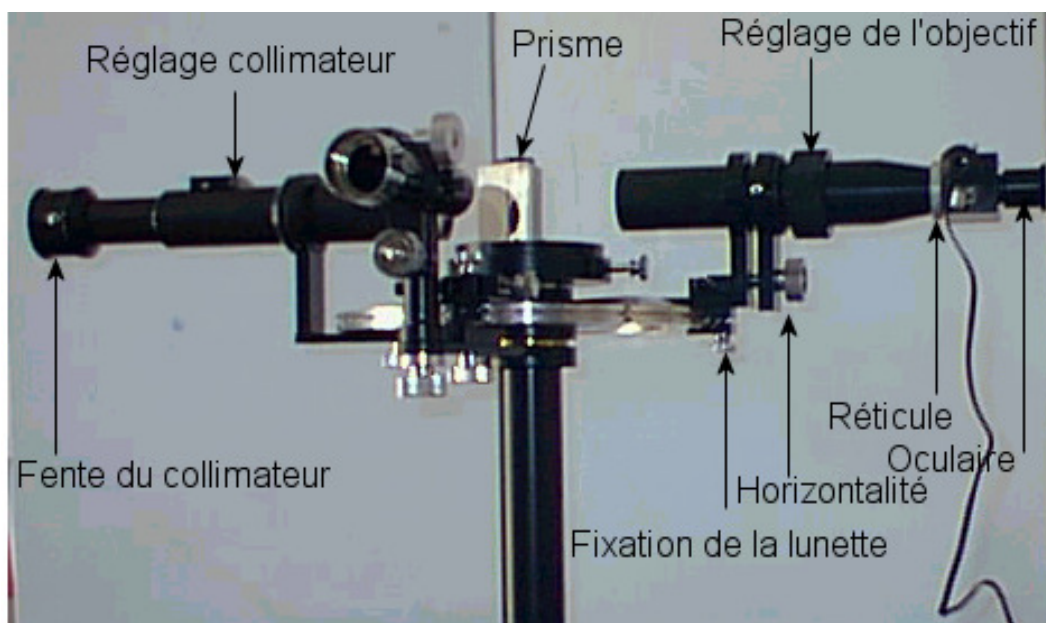


FIGURE 1 – Goniomètre

I.2 Réglage de la lunette

La lunette comporte (figure 1) :

- un oculaire que l'on peut modéliser par une lentille convergente. Cet oculaire est réglable pour être adapté à la vue de l'utilisateur ;
- un dispositif d'autocollimation : c'est une glace semi-transparente escamotable. Elle éclaire le réticule avec la lumière issue de l'ampoule auxiliaire ;
- un réticule R formé de deux fils fins formant une croix supportée par une bague métallique grise qui peut tourner dans son plan ; le réticule est placé au foyer objet de l'oculaire pour se superposer à l'image finale ;
- un objectif assimilable à une lentille convergente, qu'on peut régler en le déplaçant grâce à une bague noire.

a) Horizontalité

Éclairer la fente du collimateur avec la lampe spectrale. Par construction, l'axe du collimateur (YY') est horizontal ; il faut que l'axe de la lunette le soit aussi (figure 2). S'il n'en n'est pas ainsi, on voit au centre du champ de la lunette un point qui n'est pas l'image du centre de la fente. On voit par exemple le bas de la fente. En vissant ou dévissant la vis d'horizontalité, positionner l'axe de la lunette pour voir le milieu de la fente source du collimateur. L'axe de la lunette est approximativement (YY').

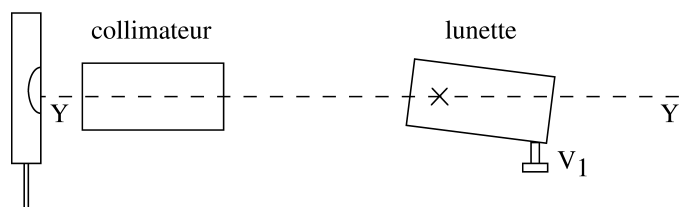


FIGURE 2 – Réglage de l'horizontalité de la lunette

b) Réglage sur l'infini par autocollimation

La lunette est réglée à l'infini (figure 3) lorsque d'un objet initial à l'infini elle donne une image finale à l'infini. Dans ce cas, l'œil normal observe une image à l'infini donc sans accommoder, donc sans fatigue. Cette situation correspond à la phrase synoptique suivante :

$$\infty \xrightarrow{\text{objectif}} A' \xrightarrow{\text{oculaire}} \infty$$

D'après les définitions du foyer image de l'objectif (F'_{obj}) et du foyer objet de l'oculaire (F_{oc}), la seule solution est que l'image intermédiaire A' soit confondue avec F'_{obj} et avec F_{oc} . Le réglage consiste donc à amener le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire dans le même plan matérialisé par un réticule.

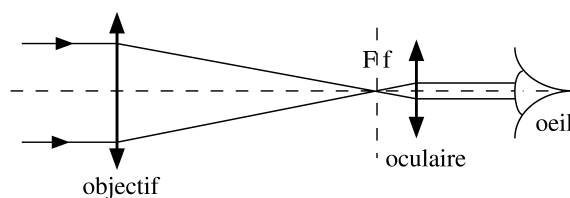


FIGURE 3 – Lunette réglée à l'infini

On commence par placer le plan focal objet de l'oculaire dans le plan du réticule. Pour cela, on tourne la vis de réglage de l'oculaire dans le sens trigonométrique jusqu'au bout de sa course, sans forcer. On tourne ensuite doucement en sens inverse ; on s'arrête dès que le réticule objet est vu net sans effort, ce qui signifie que l'œil est au repos, n'accomode pas, donc que l'image du réticule est bien à l'infini donc que le réticule est bien situé en F_{oc} .

NB : ce réglage est le seul qui dépende de l'opérateur ; on met en fait l'image du réticule à son punctum remotum.

En regardant dans l'oculaire on observe désormais les phénomènes qui se produisent dans le plan du réticule. On amène le plan du réticule (qui est désormais le plan focal objet de l'oculaire) dans le plan focal image de l'objectif. La source de lumière n'est plus la lampe spectrale, qu'on tourne sans l'éteindre, mais la petite ampoule du dispositif d'autocollimation. On s'assure que le faisceau lumineux issu de cette lampe sort bien de la lunette en mettant une feuille de papier à quelques centimètres de l'objectif, du côté de la plate-forme. On doit voir un rond lumineux sur le papier. Sur la figure 4, on voit que le réticule est éclairé par des rayons venant de la droite. C'est en quelque sorte un objet lumineux situé devant une lentille convergente (l'objectif), les rayons venant de droite à gauche. Cette lentille en donne l'image R_0 .

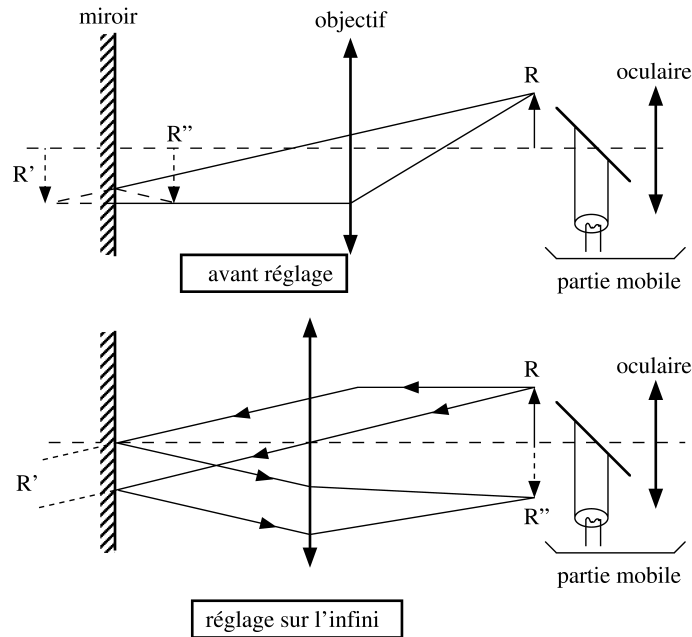


FIGURE 4 – Réglage de la lunette sur l'infini

Lorsque le réglage n'est pas encore réalisé, le foyer de l'objectif est, par exemple, au delà du réticule et l'image R' est réelle. Si l'on intercepte le faisceau avec un miroir, on obtient une image R'' symétrique de R' par rapport au plan du miroir. L'oculaire de la lunette étant réglé de manière à observer exclusivement le plan du réticule, on ne peut pas voir R'' en regardant à travers la lunette. On ne voit que R . Par contre, lorsque le réglage est réalisé, R est dans le plan focal de l'objectif, R' est à l'infini et le faisceau sortant de l'objectif est un faisceau de rayons parallèles. Après réflexion sur le miroir, les rayons reviennent toujours parallèles car le miroir est plan, traversent à nouveau l'objectif qui les fait converger dans son plan focal. R et R'' sont dans le même plan. En regardant à travers la lunette, on observe directement R et R'' , ce qui montre que le réglage est réalisé. Placer un miroir sur la plate-forme et utiliser la bague de réglage de l'objectif pour voir nettement R et R'' .

I.3 Réglage du collimateur

Remarque : ici rien n'est placé sur le plateau. Retirer le miroir de la plateforme et le poser sur la pailleasse. Pour amener la fente source dans le plan focal objet du collimateur, agir sur le tambour de réglage du collimateur de façon à voir dans la lunette (placée en face), nettement et simultanément, le réticule et l'image de la fente source.

II Mesure et expression des valeurs d'angle

Il est possible d'exprimer la valeur d'un angle en degré de deux façons différentes :

- en degré décimal,
- en degré, minute et seconde.

Une minute est égale à un soixantième de degré : $1' = \frac{1}{60}^\circ$

Une seconde est égale à un soixantième de minute : $1'' = \frac{1}{60}' = \frac{1}{3600}^\circ$

La lecture des angles se fait grâce à des verniers de mesure d'angle.

II.1 Lecture des angles au vernier

La plateforme du goniomètre est graduée circulairement à 360° . Cette plateforme est graduée avec une précision d'un demi degré ($30'$ d'angle). La lunette et le plateau qui porte le prisme possèdent tous les deux un vernier de mesure d'angle qui se superposent à la plateforme ; ces verniers, gradués de 0 à 30, permettent une lecture des angles à la minute d'angle près.

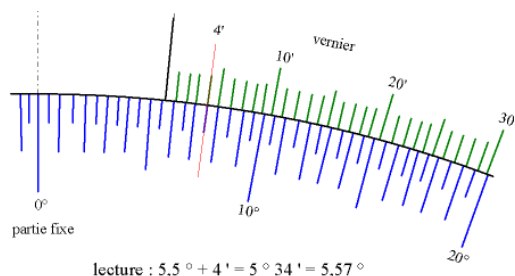


FIGURE 5 – Lecture au Vernier. Source : Wikimedia Commons. Auteur : Christophe Dang Ngoc Chan. Licences GNU FDL 1.2 et CC-BY-SA 3.0.

Le zéro de la partie mobile (le vernier) permet de lire la partie principale de l'angle, en repérant la graduation immédiatement à gauche de la partie fixe. Dans l'exemple ci-dessus, on retient donc $5,5^\circ$.

Il convient ensuite de repérer la graduation de la partie mobile qui est positionnée immédiatement dans l'axe d'une (n'importe laquelle) des graduations de la partie fixe. Cette graduation de la partie mobile donne le complément en minute à la partie principale. Dans l'exemple ci-dessus, on retient donc $4'$.

Au total, on lit : $5,5^\circ + 4'$, ce qui s'écrit $5^\circ 34'$ ou $5,57^\circ$.

II.2 Mesure de l'angle au sommet du prisme A

Mettre en place la plateforme du prisme sur l'axe de rotation et retirer le capot.

1. Donner la relation entre α et A (voir figure 6 (a)).
2. Mettre la base du prisme côté collimateur. Fixer la platine du prisme grâce à sa vis. Éclairer le réticule. En faisant tourner la lunette autour du prisme, on vise successivement les faces AC et BC par autocollimation et on lit leurs positions angulaires γ_{AC} et γ_{BC} . En déduire une mesure de α .
3. Donner la relation entre β et A (voir figure 6 (b)).
4. Arrêter l'éclairage du réticule. On éclaire l'arête A du prisme en la plaçant face au collimateur et on vise successivement les images de la fente par réflexion sur AC et BC et on lit leurs positions angulaires γ'_{AC} et γ'_{BC} . En déduire une mesure de β .
5. Calculer deux mesures de l'angle A grâce aux relations trouvées précédemment et aux mesures de α et β .
Remarque : dans la deuxième méthode, on réalise en fait deux fois une mesure de $2i$. Cela donne la méthode de mesure de l'angle d'incidence i pour la suite du TP.

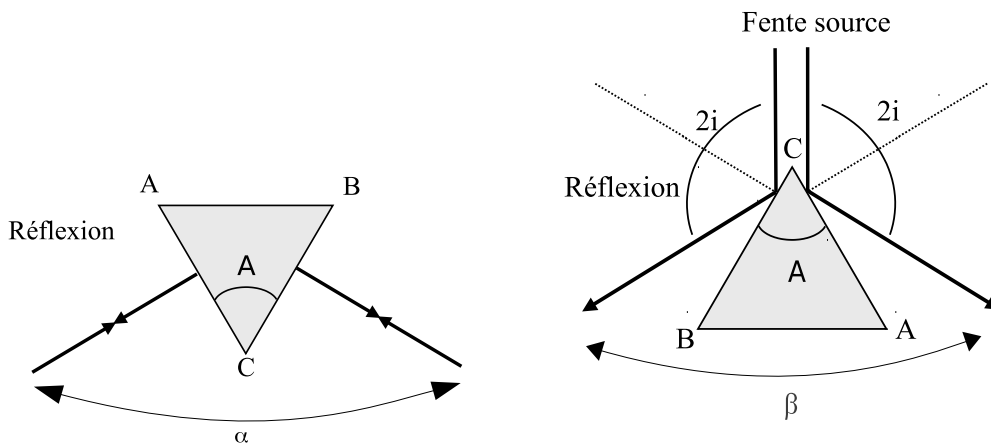


FIGURE 6 – À gauche : (a) mesure de A par autocollimation sur les faces du prisme.
À droite : (b) mesure de A par scission et réflexion du faisceau sur l'arête.

II.3 Méthode de mesure des angles d'incidence i

Pour mesurer les angles d'incidences, on tient compte du fait que le rayon lumineux incident donne naissance à un rayon réfléchi dont l'angle par rapport au rayon incident est $2i$ (voir figure 7). Il suffit donc repérer l'image de la fente source par réflexion sur la face du prisme où arrive la lumière incidente. La position angulaire du rayon incident étant repérée par l'angle γ_0 , si on appelle γ_i la position du rayon réfléchi on a : $2i = \pi - |\gamma_i - \gamma_0|$. À l'inverse, il est également possible de choisir un angle d'incidence donné. On procède ainsi :

- Placer la lunette dans une position angulaire γ_i telle que : $|\gamma_i - \gamma_0| = \pi - 2i$. Fixer la lunette grâce à la vis inférieure de sa plateforme.
 - Tout en observant au travers de la lunette, orienter la plateforme du prisme de façon à ce que l'image de la fente source par réflexion sur le prisme soit visible au centre de la lunette (c'est-à-dire quand le réticule pointe le centre de l'image de la fente source. Attention, la lunette ne doit pas bouger pendant cette étape. Une fois le réglage atteint, fixer la plateforme du prisme grâce à sa vis.
1. Une fois la lunette et le collimateur réglés, placer le collimateur approximativement sur l'angle 0. Repérer grâce à la lunette, la position angulaire précise de la fente source. On appellera cette valeur γ_0 et on notera cette valeur car elle sert dans tout le reste du TP. À partir de cet instant, il ne faut plus modifier la position du collimateur !
 2. Effectuer les manipulations nécessaires pour obtenir un angle d'incidence de 55° .

II.4 Méthode de mesure de la déviation D

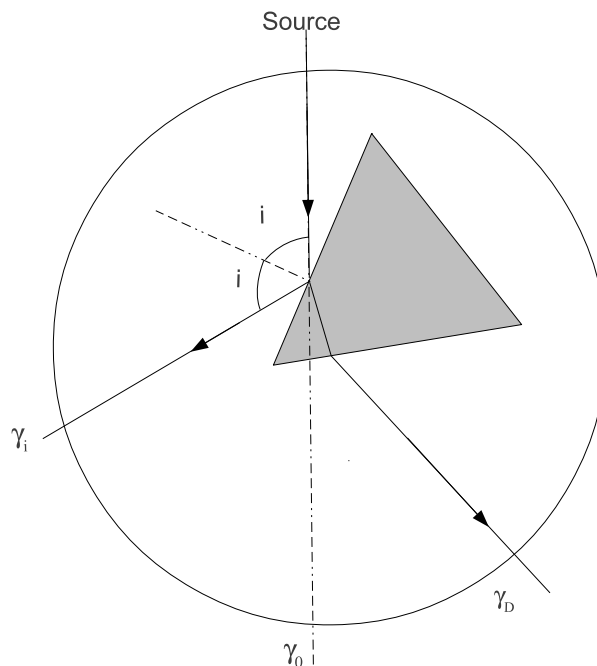


FIGURE 7 – Déviation et incidence

Pour mesurer la déviation D d'un rayon lumineux il faut repérer la position angulaire γ_D du rayon lumineux à la sortie du prisme. Comme la position γ_0 de la fente source est connue, on obtient alors simplement $D = |\gamma_D - \gamma_0|$.

1. Mesurer les déviations D_{vert} et D_{jaune} des rayons vert et jaune, pour l'angle d'incidence 55° .