Autour des lois de Snell-Descartes

Objectifs du TP

- Mettre en évidence les phénomènes de réflexion totale et de réfraction limite.
- Vérification de la loi de Snell-Descartes pour la réfraction.
- Mesurer l'indice optique du plexiglas par plusieurs méthodes, en évaluant l'incertitude de mesure.

Matériel et méthodes

- Demi-disque en plexiglas mobile sur un disque gradué.
- Source de lumière blanche.

I Introduction

On dispose un demi-disque en plexiglas, d'indice n_v sur un disque gradué en degrés. On utilise une source de lumière blanche (fente source) pour étudier :

- le passage du milieu d'indice $1,00$ vers celui d'indice n_v ;
- le passage du milieu d'indice n_v vers celui d'indice $1,00$.

Régler la source de sorte que le faisceau de lumière soit toujours perpendiculaire à la face circulaire du demi-disque de plexiglas.

1 Représenter la configuration du dispositif dans les deux cas, en prenant un rayon lumineux qui arrive à l'interface air/plexiglas avec un angle d'incidence non nul.

II Indice du plexiglas - première méthode

2 Proposer une expérience permettant d'observer :

- le phénomène de réfraction limite (par passage d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent) ;
- le phénomène de réflexion totale.

Réaliser l'expérience et noter vos observations.

3 On note i_l l'angle d'incidence au-delà duquel il y a réflexion totale. Montrer que l'indice du verre s'écrit $n_{\text{v}} = \dfrac{1}{\sin i_{\text{l}}}$.

4 Mesurer i_{l} et évaluer son incertitude-type. En déduire l'indice optique du plexiglas et son incertitude-type. La valeur de référence du plexiglas est 1,51. Évaluer l'écart normalisé et conclure.

III Indice du plexiglas - autres méthodes

5 On utilise le dioptre plexiglas/air. Mesurer les angles d'incidence i et de réfraction r avec leurs incertitudes-type respectives $u(i)$ et $u(r)$.

6 À l'aide du logiciel *Regressi*, tracer $\sin r$ en fonction de $\sin i$ en faisant apparaître les incertitudes. La loi de Snell-Descartes est-elle vérifiée ?

En déduire n_v et son incertitude-type. Conclure à partir de l'écart normalisé.

7 On se propose d'estimer l'indice du plexiglas n_v par une méthode statistique. Nous disposons pour cela de plusieurs mesures de n_v correspondant à $n_{v,exp} = \sin r / \sin i$.

Utiliser le code python sur le dossier Groupes/Classe pour obtenir une mesure de n_v.

Conclure à partir de l'écart normalisé.

Capacités exigibles (programme officiel)

- Réaliser une regression linéaire.
- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique.
- Mettre en évidence la réfraction limite et la réflexion totale.

Mise en œuvre d'objet et d'image. Autocollimation

Objectifs du TP

- Vérifier expérimentalement les différentes constructions géométriques par les lentilles.
- Mettre en œuvre la méthode d'autocollimation.

Matériel et méthodes

- Banc d'optique.
- Lumière blanche.
- Une diapositive.
- Boite de lentilles + miroir plan.
- Lentilles convergentes $f' = 10$ cm et $f' = 20$ cm.

I Réalisation du dispositif

- Placer l'écran à 40 cm de la diapositive (placée à l'envers) à l'extrémité du banc d'optique.
- Intercaler la lentille L_1 de distance focale $f' = 10$ cm et la déplacer jusqu'à voir l'image nette sur l'écran.
- Où se trouve la lentille par rapport à la diapositive et l'écran ? Qu'en pensez-vous par rapport à la théorie ? Mesurer le grandissement transversal.

On se sert dans la suite de l'image obtenue comme objet pour les montages suivants. Repérer sa position puis retirer l'écran.

II Vérification des constructions

II.1 Les constructions de la lentille convergente

On utilise une lentille convergente L_2 de distance focale $f' = 20$ cm.
Pour chaque expérience, faire le tracé théorique et comparer à l'image observée.

- Objet réel avant F :
  Former la nouvelle image sur un écran. Qu'observez-vous ?
- Objet réel entre F et O :
  Rapprocher L_2 de l'objet, qu'observez-vous ? Puis placer l'objet entre F et O, où est l'image ?
- Objet virtuel :
  Rapprocher encore L_2 de L_1 jusqu'à ce que l'objet devienne virtuel. Peut-on recueillir l'image sur un écran ? Mesurer le grandissement transersal.

II.2 Les constructions de la lentille divergente

On utilise une lentille divergente L_3 de vergence $V = -3\ \delta$.

- Proposer et mettre en oeuvre un protocole permettant d'observer l'image d'un objet par une lentille dans les 3 cas suivants : objet réel, objet virtuel entre O et F, objet virtuel après F.
- Vérifier que vos observations sont compatibles avec le tracé théorique.

II.3 Conclusion

On dispose d'un objet réel. Comment peut-on distinguer une lentille convergente, d'une lentille divergente ?

III Fabrication d'un objet à l'infini (autocollimation)

Il suffit de placer un objet dans le plan focal objet d'une lentille convergente et d'utiliser l'image à l'infini comme nouvel objet.

La méthode utilisée porte le nom **d'autocollimation**.

III.1 Explication

On place un miroir plan devant la lentille convergente (Figure 1.1). L'objet A va donner une image A' à travers le système lentille-miroir.

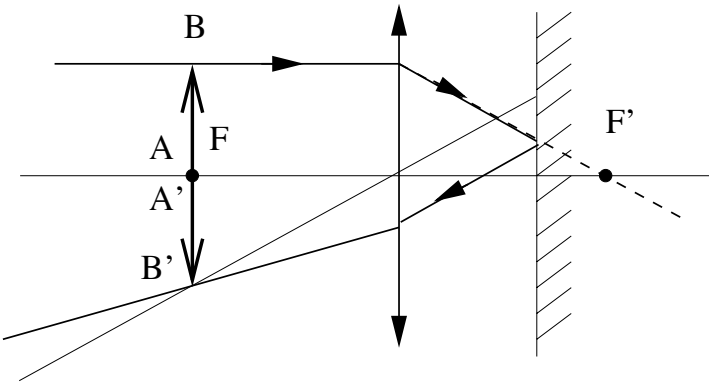


FIGURE 1.1: Autocollimation

Si l'objet est placé dans le plan focal objet de la lentille, alors on a

$$A = F \xrightarrow{\text{lentille}} \infty \xrightarrow{\text{miroir}} \infty \xrightarrow{\text{lentille}} A' = F$$

Attention, puisque la lumière change de sens, il faut penser dans les raisonnements à inverser les foyers objet et image, sachant que les deux foyers sont symétriques par rapport à la lentille.

Ainsi $A = A'$: l'objet et l'image sont dans le même plan et on les voit **simultanément nets**. D'autre part, le grandissement est -1 (image renversée).

III.2 Manipulation

- On place la lentille convergente et on tient le miroir plan derrière la lentille, à la main en l'inclinant légèrement ce qui ne change pas grand chose. On cherche la position de la lentille donnant une image nette sur le cache de l'objet.
- Mesurer la distance lentille-objet. Conclure.
- On a fabriqué un objet à l'infini. Comment procéder pour recueillir l'image de cet objet sur un écran ?

// Capacités exigibles (programme officiel)

- Savoir former l'image d'un objet par une lentille.
- Décrire le caractère virtuel/réel d'une image.
- Mesurer un grandissement transversal.
- Donner un critère expérimental pour distinguer une lentille convergente d'une lentille divergente.
- Connaître et mettre en œuvre la méthode d'autocollimation.

Relation de conjugaison de Descartes

Objectifs du TP

- Vérifier la formule de conjugaison de Descartes par deux méthodes.
- Réaliser une regression linéaire, évaluer une incertitude-type A.
- Utiliser une simulation Monte-Carlo.

Matériel et méthodes

- Banc d'optique.
- Lumière blanche.
- Une diapositive.
- Boite de lentilles + miroir plan.
- Lentilles convergentes $f' = 10$ cm et $f' = 20$ cm.
- Viseur à frontale fixe.

I Vérification de la formule de conjugaison de Descartes

I.1 Manipulation

On prend comme objet une diapositive et une lentille convergente $f' = 10$ cm.

- L'objet A est fixe sur le banc d'optique. Noter sa position x_A et estimer $u(x_A)$.
- Pour 6 positions différentes de la lentille, déterminer x_O, $u(x_O)$, $x_{A'}$ et $u(x_{A'})$.
- Rentrer ces valeurs dans *Regressi* et définir les grandeurs $y = \frac{1}{\overline{OA'}}$ et $x = \frac{1}{\overline{OA}}$.
- Tracer y en fonction de x en faisant apparaître les barres d'incertitude. Tracer la droite modèle et indiquer les paramètres de cette droite.
- Vos résultats sont-ils compatibles avec la relation de conjugaison de Descartes ?

I.2 Mesure de f'

Afin d'avoir une meilleure estimation de la distance focale, on peut utiliser une méthode statistique.
À partir de la relation de conjugaison de Descartes, on peut obtenir plusieurs mesures de f' car $f' = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}}$.
À l'aide du programme Python dans le dossier Groupe/Classe, déterminer la mesure de f'. Conclure.

II Vérification de la formule de conjugaison à l'aide d'un viseur à frontale fixe

II.1 Description et réglage du viseur

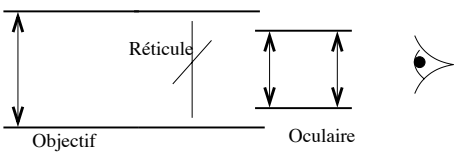


FIGURE 1.1: Structure d'un viseur.

Un viseur est constitué de deux tubes : l'un contenant l'objectif et le réticule, l'autre contenant l'oculaire. La distance objectif-réticule étant fixée, on parle de viseur à frontale fixe. L'oculaire est réglable de manière à s'adapter à chaque utilisateur.

Le réglage du viseur est simple : il suffit de régler l'oculaire de manière à voir le réticule net, puis on déplace le viseur sur le banc d'optique de manière à voir net l'objet visé.

II.2 Protocole

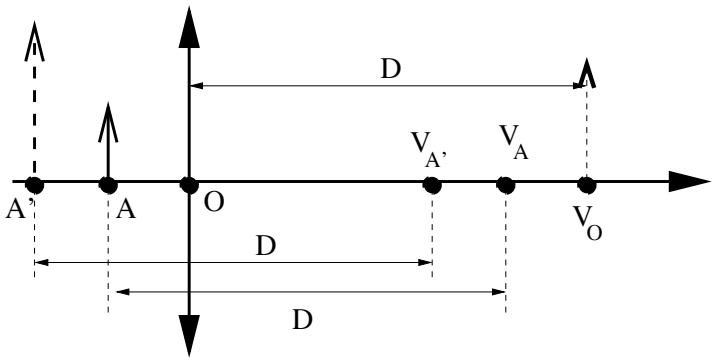


FIGURE 1.2: Méthode de visée.

On étudie le cas d'une lentille de distance focale f', et d'un objet placé avant la lentille. On désire vérifier la relation de conjugaison de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{\mathrm{OA'}}} - \frac{1}{\overline{\mathrm{OA}}} = \frac{1}{f'}$$

Pour cela, on vise d'abord l'objet A et on repère la position du viseur $\mathrm{V_A}$. On place la lentille en une position qu'on appelle O et on la vise en repérant par exemple des traces à sa surface ou une pointe de crayon que l'on tient à proximité immédiate ; la position du viseur est alors $\mathrm{V_O}$. Enfin, on déplace le viseur jusqu'à voir l'image (placée en $\mathrm{A'}$) nette et on appelle $\mathrm{V_{A'}}$ la position du viseur. Puisque la distance entre le viseur et ce qu'il vise est constante, comme le montre la figure 1.2, les positions relatives des points $\mathrm{V_A}$, $\mathrm{V_{A'}}$ et $\mathrm{V_O}$ sont les mêmes que celles des points A, $\mathrm{A'}$ et O et **il n'y a pas besoin de connaître la distance de visée** D. Pour vérifier la relation de conjugaison, il suffit de remplacer les points A, $\mathrm{A'}$ et O par $\mathrm{V_A}$, $\mathrm{V_{A'}}$ et $\mathrm{V_O}$:

$$\frac{1}{\overline{\mathrm{V_OV_{A'}}}} - \frac{1}{\overline{\mathrm{V_OV_A}}} = \frac{1}{f'}$$

Utiliser un viseur est le seul moyen de déterminer la position d'une image virtuelle puisqu'on ne peut pas la recueillir sur un écran.

II.3 Manipulation

- Placer la lentille divergente de vergence -3δ et la diapositive l'une contre l'autre en accolant les cavaliers.
- Repérer l'intervalle dans lequel se trouve $\mathrm{V_{A'}}$, noter la demi-étendue $\Delta\mathrm{V_{A'}}$. Faire de même pour $\mathrm{V_O}$.
- Enlever la lentille et repérer l'intervalle dans lequel se trouve $\mathrm{V_A}$. Noter la demi-étendue $\Delta\mathrm{V_A}$.
- Calculer la vergence v de la lentille avec la formule de conjugaison.
- Pour déterminer l'incertitude-type sur v, on réalise une simulation Monte-Carlo. Compléter le code Python avec vos valeurs de demi-étendue, et exécuter le code. En déduire la valeur mesurée de v et conclure.

Capacités exigibles (programme officiel)

- Savoir décrire et utiliser un viseur à frontale fixe.
- Savoir faire une régression linéaire.
- Simuler un processus aléatoire de variation de valeurs expérimentales pour évaluer l'incertitude.

Modélisation de l'appareil photographique

Objectifs du TP

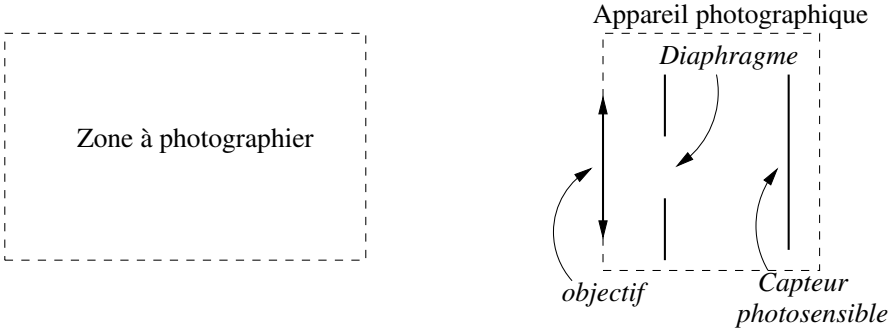
- Réaliser un appareil photographique « éclaté » réglé à l'infini.
- Caractériser le rôle du diaphragme (luminosité, profondeur de champ).

Matériel et méthodes

- Banc optique gradué, source de lumière (avec rallonge de fil) et condenseur.
- Diaphragme de diamètre ajustable.
- Capteur de lumière (photodiode).
- Lentilles convergentes et divergentes de distance focales connues.
- Ecran blanc et grille quadrillée.
- Objets : lettre et fente.
- Logiciel regressi.
- Code python sur les incertitudes de type A

I Introduction : rappels sur l'appareil photographique

On étudie dans ce TP un modèle d'appareil photographique éclaté dont les principaux éléments sont rappelés ci-dessous :



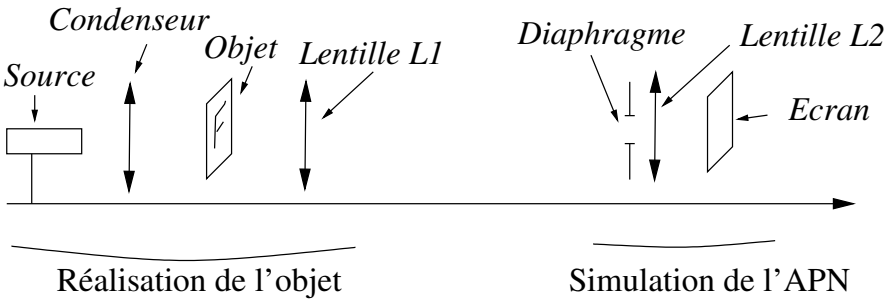
Dans un appareil photographique numérique (APN), l'image se forme sur un capteur constitué de pixels. Il y a stigmatisme approché si l'image d'un objet ponctuel est au niveau du capteur de taille inférieure à celle du pixel. On étudie des situations où l'objet est suffisamment loin de l'objectif pour que l'on puisse se placer dans les conditions de Gauss : il y a également aplanétisme approché et l'image peut être considérée nette.

En macrophotographie ce n'est pas nécessairement le cas : l'objectif étant très proche de l'objet à photographié les angles incidents peuvent être élevés.

Le photographe contrôle essentiellement deux paramètres pour une prise de vue :

- La durée d'exposition : plus elle est est élevée, plus l'image obtenue est claire.
- L'ouverture, via le diamètre du diaphragme : plus le diaphragme est fermé, moins, à durée d'exposition constante. le capteur reçoit de lumière. L'image est alors plus sombre.

II Profondeur de champ



1 On utilise un objet à l'infini. En utilisant la méthode d'auto-collimation, réaliser un tel objet l'aide d'une lentille convergente $\mathcal{L}_1$ de focale $f_1' = 10$ cm. On prendra soin d'éclairer l'objet correctement à l'aide du condenseur.

2 L'appareil photo est constitué du diaphragme, d'une lentille $\mathcal{L}_2$ de focale $f_2' = 20$ cm et d'un écran. Quelle doit être la distance lentille écran ? Réaliser l'image d'une diapositive (lettre F).

3 On déplace très légèrement la lentille $\mathcal{L}_1$. L'image reste-t-elle nette ?

Le diaphragme permet de contrôler la profondeur de champ de l'image. Pour un capteur constitué de pixels de dimension ε placé dans le plan focal image de l'objectif de l'APN, l'image est nette sur le capteur tant que l'objet est à une distance d_{obj} de l'objectif

$$d_{\text{obj}} > d_{\text{min}} \qquad \text{avec} \qquad d_{\text{min}} = f' \frac{\text{D}}{\varepsilon}$$

4 A l'aide d'un tracé géométrique et de la relation de conjugaison de Descartes, établir la relation précédente.

Pour la vérifier on propose le protocole suivant :

- On enlève le condenseur.
- On remplace l'objet initial par une fente fine, l'APN étant réglé sur l'infini et étant placé à l'extrémité du banc optique.
- On remplace l'écran par une grille simulant la matrice CCD du capteur. On fait l'image de la fente fine sur un des traits de la grille (qui représente le milieu d'un pixel). Un pixel est représenté par un carré de 1 cm de côté.
- On fixe un diamètre D du diaphragme.
- On enlève alors la lentille $\mathcal{L}_1$ ayant servi à produire l'objet à l'infini et on accole la source à la fente. On doit alors observer un disque lumineux. L'objet pour l'APN est alors à distance finie.
- On déplace en bloc la source et la fente jusqu'à atteindre la limite de stigmatisme. On note alors la distance d_{min}.
- On réitère le processus (soit directement, soit en changeant la taille du diaphragme).

5 En réalisant le protocole, établir le résultat de la mesure de d_{min}/D. On réalisera une estimation de l'incertitude de mesure de type A. Connaissant la valeur de référence de f'/ε, déterminer l'écart normalisé et conclure.

III Observations qualitatives

III.1 Luminosité

On mesure la luminosité de l'image en un point à l'aide d'un photodiode alimentée : la tension relevée par un voltmètre est proportionnelle à l'éclairement reçu $\mathcal{E}$.

6 Se remettre dans la configuration d'un objet à l'infini fabriqué avec la lentille $\mathcal{L}_1$ et la lettre. Faire l'image sur l'écran. Puis remplacer l'écran par la photodiode préalablement alimentée. Régler le condenseur de sorte que l'éclairement soit le plus uniforme possible au niveau de la première lentille. Fermer alors progressivement le diaphragme pour observer l'évolution de la luminosité.

III.2 Influence de la distance focale

7 En changeant la lentille $\mathcal{L}_2$, vérifier (qualitativement) que plus la distance focale est élevée, plus l'image est grande et le champ angulaire petit. Que peut-on dire de l'encombrement du dispositif en fonction de la focale ?

Capacités exigibles (programme officiel)

- **Étudier** l'influence de la **focale**, de la **durée d'exposition**, du **diaphragme** sur la **formation des images**.