Optique Géométrique

Département de Physique, Université de Fribourg

Romain De Groote

13 mai 2026

1 Introduction

L'optique est l'une des branches les plus duales de la physique. En effet, elle peut être à la fois décrite par ondes et analysée selon un modèle quantique, mais aussi par des rayons lumineux suivant des trajectoires géométriques. Cette dualité est à la base de nombreuses applications technologiques, allant des lentilles correctrices aux systèmes de communication par fibre optique. Ce laboratoire se concentrera sur l'optique géométrique, en explorant les principes fondamentaux qui régissent la propagation de la lumière à travers différents milieux. Les lois de la réflexion et de la réfraction, ainsi que les concepts de focalisation et d'imagerie seront étudiés. L'objectif est de comprendre comment la lumière réagit lorsqu'elle change de milieu. Ces concepts seront mis en pratique à travers une série d'expériences visant à illustrer les phénomènes optiques courants.

2 But de l'expérience

Dans ce laboratoire, une série de 6 expériences seront réalisées afin d'illustrer les principes fondamentaux de l'optique géométrique. Chaque expérience vise à démontrer un aspect spécifique de la propagation de la lumière, en mettant l'accent sur les lois de la réflexion et de la réfraction, ainsi que sur les concepts de focalisation et d'imagerie. La première visera à vérifier la loi de Snell au travers de la réfraction de la lumière d'un bloc de plexiglas. La seconde expérience consistera à étudier le grossissement de 2 lentille minces divergentes et l'étude de la profondeur de champ d'une lentille. La troisième expérience sera axée sur l'observation de l'influence du placement d'un diaphragme oculteur sur l'image provoqué par une lentille divergente. La quatrième expérience consitera en la création d'une loupe et en l'étude de son influence. La cinquième expérience portera sur la construction d'un microscope composé et l'étude de son pouvoir de résolution. Enfin, la sixième expérience consistera en la construction d'un télescope de type Kepler puis de type Galliléen.

3 Contexte théorique

L'optique géométrique est une branche de la physique qui étudie la propagation de la lumière en termes de rayons lumineux. Elle repose sur plusieurs principes fondamentaux, dont les plus importants sont les lois de la réflexion et de la réfraction. L'optique ne peut être considérée comme géométrique que si les distances étudiées sont bien plus importantes que la longueur d'onde du rayon lumineux étudié.

3.1 Loi de Snell

Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre, sa vitesse change, ce qui provoque une déviation de sa trajectoire. Ce phénomène est décrit par la loi de Snell, qui établit une relation entre les angles d'incidence et de réfraction, ainsi que les indices de réfraction des deux milieux. La loi de Snell s'exprime mathématiquement comme suit :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \tag{3.1}$$

où n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des deux milieux, et θ_1 et θ_2 sont les angles d'incidence et de réfraction, respectivement. L'indice de réfraction n d'un milieu est défini comme le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide c et la vitesse de la lumière dans ce milieu v. En connaissant l'angle de réfraction et l'angle d'incidence, il est possible de déterminer le rapport entre les indices de réfraction des deux milieux.

3.2 Lentilles minces et caméra

Une lentille mince est un dispositif optique qui réfracte la lumière pour former une image d'un objet. Les lentilles peuvent être convergentes (positives) ou divergentes (négatives), en fonction de leur forme. La distance focale f d'une lentille mince est due à la courbure de ses surfaces. Il est possible de la déterminer à partir de la formule de la lentille mince avec ses courbures R_1 et R_2 et l'indice de réfraction n du matériau de la lentille :

$$f \pm \delta f = \left[(n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)\right]^{-1} \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial n}\delta n\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial R_1}\delta R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial R_2}\delta R_2\right)^2}, [f] = \text{mm} \quad (3.2)$$

avec

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f}{\partial n} &= -\frac{1}{(n-1)^2\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \\
\frac{\partial f}{\partial R_1} &= -\frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^2 R_1^2} \\
\frac{\partial f}{\partial R_2} &= \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^2 R_2^2}
\end{aligned}$$

La courbure d'une surface d'une lentille peut est déterminée à l'aide d'un sphéromètre, qui mesure la hauteur h de la surface par rapport à une référence plane. La courbure R est alors donnée par la formule suivante :

$$R \pm \delta R = \frac{(L-D)^2}{6h} \pm \sqrt{\left(\frac{2*(L-D)}{6h}\delta L\right)^2 + \left(\frac{-2(L-D)}{6h}\delta D\right)^2 + \left(\frac{(L-D)^2}{6h^2}\delta h\right)^2}, [R] = \text{mm} \quad (3.3)$$

3.3 Loupe

Le grossissement d'une loupe est défini comme le rapport entre la taille de l'image formée h_i par la loupe et la taille de l'objet observé h_o :

$$M \pm \delta M = \frac{h_i}{h_o} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{h_o}\delta h_i\right)^2 + \left(\frac{-h_i}{h_o^2}\delta h_o\right)^2} \quad (3.4)$$

mais aussi comme le rapport entre la distance de l'objet à la loupe s_o et la distance de l'image à la loupe s_i :

$$M \pm \delta M = -\frac{s_i}{s_o} \pm \sqrt{\left(\frac{-1}{s_o}\delta s_i\right)^2 + \left(\frac{s_i}{s_o^2}\delta s_o\right)^2} \quad (3.5)$$

La distance de l'image à la loupe s_i peut être déterminée à l'aide de la formule de la lentille mince :

$$s_i \pm \delta s_i = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta f}{f^2\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}\right)^2}\right)^2 + \left(\frac{\delta s_o}{s_o^2\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}\right)^2}\right)^2}, [s_i] = \text{mm} \tag{3.6}$$

3.4 Microscope et télescope

Un microscope composé est constitué de deux lentilles : l'objectif et l'oculaire. Le grossissement total M d'un microscope composé dépend de la distance focale de l'objectif f_o et de l'oculaire f_e :

$$M \pm \delta M = \frac{f_o}{f_o - s_o} \cdot \frac{250}{f_e} \pm \sqrt{\left(\frac{250\, s_o}{f_e(f_o - s_o)^2}\delta f_o\right)^2 + \left(\frac{250\, f_o}{f_e(f_o - s_o)^2}\delta s_o\right)^2 + \left(\frac{250\, f_o}{f_e^2(f_o - s_o)}\delta f_e\right)^2} \tag{3.7}$$

où s_o est la distance de l'objet à l'objectif.

Les télescopes de type Kepler et Galliléen utilisent également des lentilles pour former des images d'objets éloignés. Le télescope de type Kepler utilise deux lentilles convergentes, tandis que le télescope de type Galliléen utilise une lentille convergente et une lentille divergente. Le grossissement M d'un télescope est donné par la formule suivante :

$$M_\infty \pm \delta M_\infty = -\frac{f_o}{f_e} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{f_e}\delta f_o\right)^2 + \left(\frac{f_o}{f_e^2}\delta f_e\right)^2} \tag{3.8}$$

4 Déroulement de l'expérience

4.1 Vérification de la loi de Snell

Pour cette expérience, un faisceau de lumière est dirigé vers un bloc de plexiglas à différents angles d'incidence. La position du faisceau réfracté est mesurée pour des angles d'incidences compris entre 15° et 75°, permettant ainsi de calculer les angles de réfraction correspondants. Une régression linéaire est ensuite effectuée pour vérifier la validité de la loi de Snell et déterminer l'indice de réfraction du plexiglas. Le montage de l'expérience est illustré à la figure 4.1.

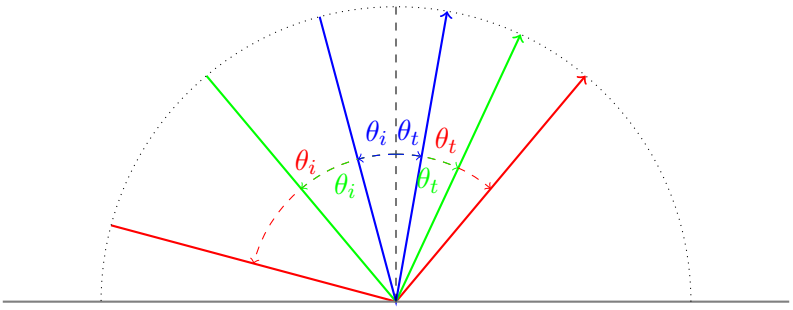


FIGURE 4.1 – Schéma de l'expérience de vérification de la loi de Snell.

4.2 Lentilles minces et caméra

4.2.1 Courbure

Les courbures de deux lentilles minces divergentes de distance focale de 400 mm et de 100 mm sont déterminées à l'aide d'un sphéromètre. Le sphéromètre est utilisé pour mesurer la hauteur h de la

surface de la lentille par rapport à sa base plane. En utilisant la formule de la courbure, la courbure R de chaque lentille est calculée à partir des mesures obtenues. La distance focale des lentilles est ensuite mesurée à l'aide d'une règle et de notre vue.

4.2.2 Distance focale

Pour cette expérience, une lampe est montée sur un rail et une cible en papier y est placée. Un support amovible pouvant accueillir une lentille est placé plus loin sur le rail, suivi d'un écran déplaçable. Le montage de l'expérience est illustré à la figure 4.2.

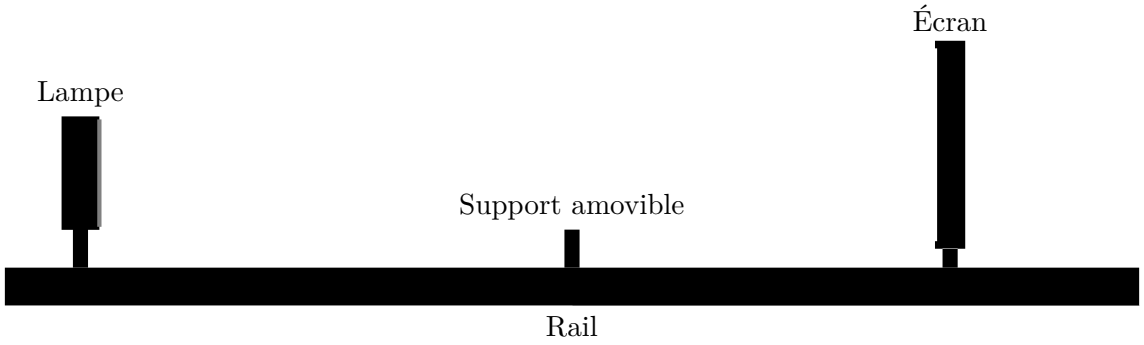


FIGURE 4.2 – Schéma de l'expérience avec les lentilles minces.

Une lentille mince de distance focale de $f = 250$ mm est placée sur le support amovible et mise à des distances de $350, 500$ et 650 mm de la lampe. Pour chaque position, la distance entre la lentille et l'écran est ajustée jusqu'à ce que l'image formée soit nette. Le facteur de grossissement M de la lentille est calculé pour chaque position en utilisant la formule du grossissement. Le montage de l'expérience est illustré à la figure **??**.

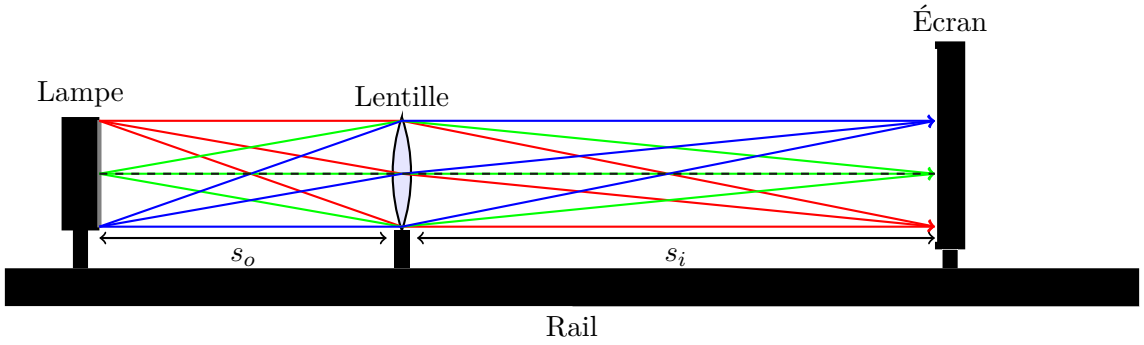


FIGURE 4.3 – Schéma de l'expérience avec les lentilles minces et les variations de s_o.

4.3 Diaphragme occulteur

Dans cette expérience, l'influence du placement d'un diaphragme occulteur sur l'image formée par une lentille divergente est étudiée. Un diaphragme occulteur est placé d'abord entre la lampe et la lentille, puis entre la lentille et l'écran. L'effet du diaphragme sur la qualité de l'image formée est observé et analysé. Le montage de l'expérience est illustré à la figure 4.4.

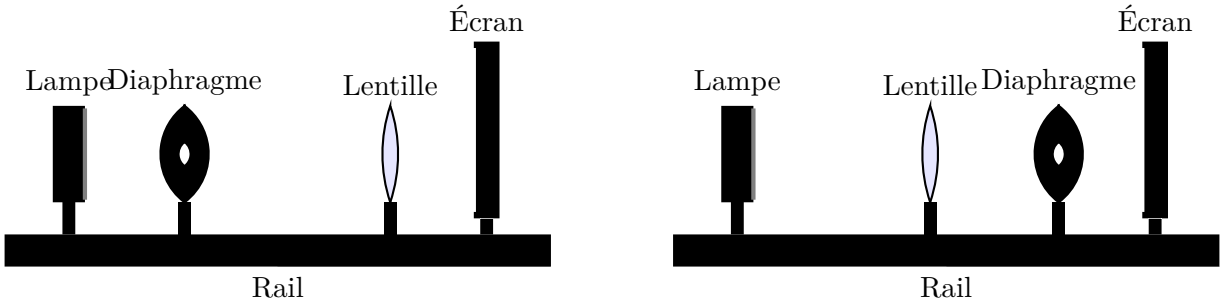


FIGURE 4.4 – Schéma de l'expérience avec le diaphragme occulteur.

4.4 Loupe

Dans cette expérience, l'effet d'une loupe sur l'image d'un objet est étudié. La loupe est placée entre l'objet et l'œil de l'observateur, et l'image formée est observée. L'influence de la distance entre la loupe et l'objet sur la taille et la netteté de l'image est analysée. Ensuite une lentille mince de distance focale de 75 mm est placée entre la lampe et l'écran. Puis une deuxième lentille mince de distance focale de 35 mm est accollée à la première lentille. L'effet de cette configuration sur l'image formée est observé et analysé. Le montage de l'expérience est illustré à la figure 4.5.

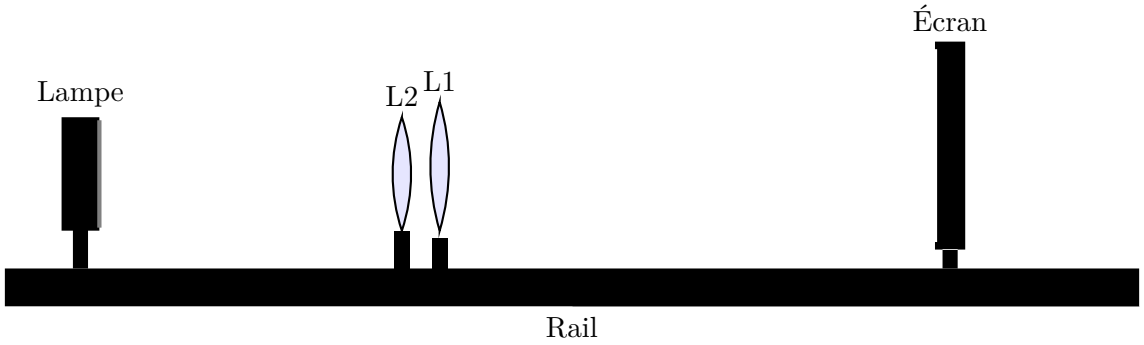


FIGURE 4.5 – Schéma de la loupe.

4.5 Microscope composé

Un microscope composé est construit en utilisant deux lentilles minces convergente de distance focale de 50 mm et 200 mm. Le facteur de grossissement du microscope est calculé à partir de la distance focale des lentilles et de la distance entre l'objectif et l'oculaire.

4.6 Télescope de type Kepler et Galliléen

Un télescope de type Kepler est construit en utilisant deux lentilles convergentes de 50 mm et 200 mm de distance focale. Un télescope de type Galliléen est construit en utilisant une lentille convergente de 200 mm de distance focale et une lentille divergente de -50 mm de distance focale. Le grossissement de chaque télescope est calculé à partir de la distance focale des lentilles utilisées.

5 Résultats

5.1 Vérification de la loi de Snell

En mesurant les angles d'incidence et de réfraction pour différents angles d'incidence, une régression linéaire est effectuée pour vérifier la validité de la loi de Snell. L'indice de réfraction ainsi trouvé est de :

$$n \pm \delta n = 1.51 \pm 0.01$$

5.2 Lentilles minces et caméra

5.2.1 Courbure

Les distances focales des lentilles minces divergentes sont déterminées dans un premier temps grâce à l'équation 3.2 à partir de leurs courbures mesurées à l'aide du sphéromètre. Les résultats sont les suivants :

$$f_{400,\mathrm{R}} \pm \delta f_{400,\mathrm{R}} = 378.76\,\mathrm{mm}$$
$$f_{100,\mathrm{R}} \pm \delta f_{100,\mathrm{R}} = 101.61\,\mathrm{mm}$$

Et les distances focales mesurées sont les suivantes :

$$f_{400,\mathrm{M}} \pm \delta f_{400,\mathrm{M}} = (400 \pm 1)\,\mathrm{mm}$$
$$f_{100,\mathrm{M}} \pm \delta f_{100,\mathrm{M}} = (100 \pm 1)\,\mathrm{mm}$$

5.2.2 Distance focale

Grâce à l'équation 3.4, les facteurs de grossissement pour les différentes positions de la lentille sont calculés. Les résultats sont les suivants :

$$M_{350,\mathrm{im}} \pm \delta M_{350,\mathrm{im}} = -2.6 \pm 0.28$$
$$M_{500,\mathrm{im}} \pm \delta M_{500,\mathrm{im}} = -1.0 \pm 0.14$$
$$M_{650,\mathrm{im}} \pm \delta M_{650,\mathrm{im}} = -0.60 \pm 0.01$$

et grâce à l'équation 3.5 :

$$M_{350,\mathrm{dist}} \pm \delta M_{350,\mathrm{dist}} = -2.5 \pm 0.10$$
$$M_{500,\mathrm{dist}} \pm \delta M_{500,\mathrm{dist}} = -1.0 \pm 0.00$$
$$M_{650,\mathrm{dist}} \pm \delta M_{650,\mathrm{dist}} = -0.63 \pm 0.00$$

5.3 Diaphragme occulteur

On observe que le placement du diaphragme occulteur entre la lampe et la lentille varie les extrémités de l'image, alors que le placement entre la lentille et l'écran fait varier la luminosité de l'image.

5.4 Loupe

Le nouveau grossissment créé avec la deuxième lentille peut être calculé grâce à l'équation 3.4 [1] :

$$M_{\text{loupe}} = 1.45$$

5.5 Microscope composé

Le grossissement du microscope composé est calculé grâce à l'équation 3.7 :

$$M_{\text{microscope}} \pm \delta M_{\text{microscope}} = -4.81 \pm 0.36$$

5.6 Télescope de type Kepler et Galliléen

Les grossissements des deux télescopes sont calculés grâce à l'équation 3.8 :

$$M_{\text{Kepler}} = -4$$
$$M_{\text{Galliléen}} = 4$$

6 Discussion

L'indice de réfraction du plexiglas est cohérent avec les valeurs typiques pour ce matériau, qui se situent généralement entre 1.49 et 1.52.

Les facteurs distances focales mesurées sont cohérentes avec les valeurs indiquées pour les lentilles utilisées, cependant la distance focale calculée à partir de la courbure est plus basse que la distance focale attendue pour la lentille de 400 mm. Cela peut être dû à des erreurs de mesure dans la détermination de la courbure, mais il est peu probable que cela soit dû à un problème intrasèque à la lentille, comme la mesure directe de la distance focale est cohérente avec les valeurs attendues. En ce qui concerne les facteurs de grossissement de la lentille mince de 250 mm, les deux méthodes de calculs donnent des résultats similaires. Il est alors possible d'observer que la présence d'une lentille divergente va en tout cas inverser l'image formée. De plus, lorsque la lentille est placée à exactement $2f$, l'image formée est de la même taille que l'objet. À partir de là, rapprocher la lentille de l'objet va faire grossir l'image formée, alors que l'éloigner va faire rétrécir l'image formée.

En ce qui concerne le placement du diaphragme occulteur, il devient alors visible que le placement entre la lampe et la lentille fait varier les extrémités de l'image formée, alors que le placement entre la lentille et l'écran fait varier la luminosité de l'image formée. Cela peut être expliqué par le fait que le placement du diaphragme entre la lampe et la lentille va stopper les rayons lumineux les plus lointains. Par ce fait, les extrémités de l'image formée ne seront plus éclairées. Le placement du diaphragme entre la lentille et l'écran va quant à lui faire varier la quantité de lumière qui atteint l'écran, ce qui va faire varier la luminosité de l'image formée. Le montage de l'expérience est illustré à la figure 6.1.

1. Dans ce cas, h_o est la taille de l'image créée par la première lentille et h_i par la combinaison des deux lentilles.

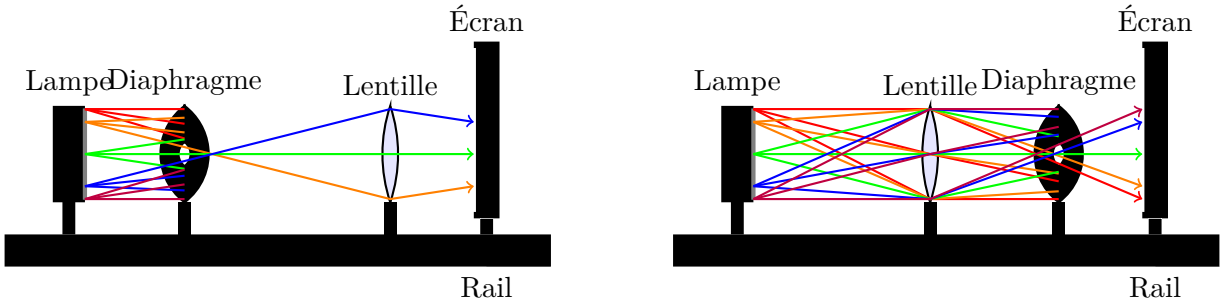


FIGURE 6.1 – Schéma de l'expérience avec le diaphragme occulteur avec rayons lumineux (les couleurs sont à titre indicatif).

Concernant la loupe, l'utilisation de cette dernière permet un grossissement de l'image formée à partir d'une lentille divergente. En effet, la lentille divergente va faire en sorte que l'image formée par la première lentille soit plus proche de la lentille que l'objet lui-même, ce qui va faire que le grossissement de la loupe soit plus important. Cela s'observe aussi bien à l'oeil nu avec une lentille qu'avec un système monté et simulé grâce au 2 lentilles.

Enfin, quant au grossissement du microscope composé et du télescope de Kepler, l'image produite est inversé par rapport à l'objet, alors que pour le télescope de Galliléen, l'image produite est droite par rapport à l'image réelle. Cela est dû à la combinaison de la lentille convergente et de la lentille divergente dans le télescope Galliléen. La lentille divergente va éloigner les rayons lumineux du centre de l'image formée, ce qui va inverser l'image formée par la lentille convergente, alors que la lentille divergente va rapprocher les rayons lumineux du centre de l'image formée, si l'observateur est assez loin, alors les rayons lumineux vont retraversés l'axe de la lentille, ce qui va réinverser l'image formée par la lentille convergente.

7 Conclusion

En conclusion, cette série d'expériences à permis une familliarisation avec les principes fondamentaux de l'optique géométrique, notamment les lois de la réflexion et de la réfraction, ainsi que les concepts de focalisation et d'imagerie. La vérification de la loi de Snell a confirmé la relation entre les angles d'incidence et de réfraction, ainsi que les indices de réfraction des milieux étudiés. L'étude des lentilles minces a permis de comprendre comment la courbure des lentilles influence leur distance focale et leur capacité à former des images. L'influence du placement du diaphragme occulteur a été observée, mettant en évidence son impact sur la qualité de l'image formée. L'utilisation d'une loupe a démontré comment elle peut grossir une image formée par une lentille divergente. Enfin, la construction d'un microscope composé et de télescopes a illustré les principes de formation d'images et de grossissement dans ces dispositifs optiques.

8 Annexes

- Results 123 : Geometrical Optics
- Graphique : Vérification de la loi de Snell