



BLAISE PASCAL
PT 2024-2025

Révisions R9

Optique géométrique

Ressources en ligne

Scanner ou cliquer sur les QR-code pour accéder aux ressources.



Cartes mémo, réalisées par C. Cayssiols.



Vidéos, réalisées par JJ. Fleck.
Les vidéos « l'essentiel » et « démonstrations principales » sont très adaptées à des révisions.



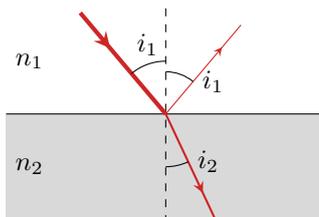
QCM d'applications.
Choisir d'abord le mode « j'apprends » puis éventuellement le mode « je révise ».

Les deux dernières ressources correspondent au programme de PCSI, un peu plus vaste que celui de PTSI : me demander en cas de doute sur ce que vous devez savoir ou pas.

Rappels de cours

A - Lois de Descartes, angles limite de réfraction et de réflexion totale

A.1 - Lois de Snell-Descartes

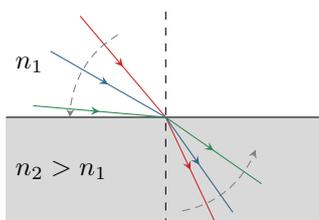


- ▷ Le rayon incident, le rayon réfléchi et le rayon réfracté appartiennent à un même plan, appelé plan d'incidence ;
- ▷ L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence ;
- ▷ Les angles d'incidence et de réfraction sont reliés par

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 .$$

Conséquence : le rayon lumineux est plus proche de la normale dans le milieu d'indice le plus élevé : p.ex. si $n_2 > n_1$ alors $\sin i_2 < \sin i_1$ donc $i_2 < i_1$ car les angles sont compris entre 0 et $\pi/2$, ce qui est le cas sur la figure ci-contre.

A.2 - Cas $n_2 > n_1$: angle maximal de réfraction



Comme $n_2 > n_1$, le rayon est plus proche de la normale dans le milieu ②. La figure ci-contre montre alors clairement que lorsque l'incidence devient rasante ($i_1 \rightarrow \pi/2$) alors l'angle de réfraction atteint une valeur seuil. Cette valeur s'obtient à partir de la loi de la réfraction en se plaçant à la limite,

$$n_1 \sin \frac{\pi}{2} = n_2 \sin i_{2,\max} \quad \text{donc} \quad \sin i_{2,\max} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{et} \quad i_{2,\max} = \arcsin \frac{n_1}{n_2} .$$

Cette expression n'est surtout pas à retenir (trop de risque de confusion avec la réflexion totale), mais il faut savoir la retrouver.

Illustration : Ceux qui ont l'habitude d'aller à la piscine ont certainement déjà constaté ce phénomène : lorsque vous vous placez les yeux dans l'eau à faible profondeur sous la surface et que vous regardez « au loin », vous observez un « plafond d'eau » et vous ne pouvez pas voir ce qui se passe au dessus la surface, tous les rayons étant trop déviés pour qu'ils puissent atteindre votre œil. Sur la figure 1, aucun rayon issu de l'air et incident au point I ne peut parvenir à l'œil du nageur. S'il observe le point I, le nageur verra l'eau mais pas les rayons issus de l'extérieur de la piscine.

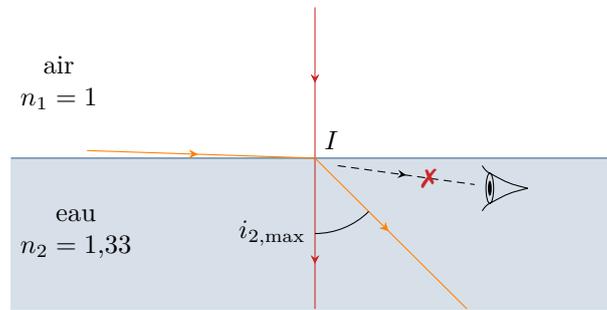
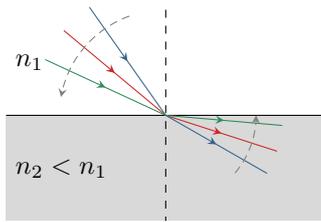


Figure 1 – À la piscine. Attention sur le schéma : si l'observateur regarde vers le point I , ce n'est pas son œil qui émet des rayons lumineux dirigés vers I mais des rayons lumineux issus de I qui parviennent à son œil. Ici, aucun rayon réfracté en I ne peut atteindre l'œil de l'observateur, qui ne voit donc pas ce qui se passe dans l'air.

A.3 - Cas $n_2 < n_1$: réflexion totale



Comme $n_2 < n_1$, le rayon est cette fois plus éloigné de la normale dans le milieu ②. La figure ci-contre montre alors clairement que l'angle de réfraction devient rasant ($i_2 \rightarrow \pi/2$) pour une valeur seuil $i_{1,\max}$ de l'angle d'incidence. Au delà, le rayon incident ne peut plus être réfracté : il ne pénètre pas dans le milieu ②, c'est le phénomène de **réflexion totale**. Comme précédemment, la valeur de l'angle limite de réflexion totale s'obtient à partir de la loi de la réfraction en se plaçant à la limite.

$$n_1 \sin i_{1,\text{lim}} = n_2 \sin \frac{\pi}{2} \quad \text{donc} \quad \sin i_{1,\text{lim}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{et} \quad i_{1,\text{lim}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}.$$

Figure 2 – Réflexion totale.

On peut proposer une démonstration plus mathématique de ce résultat, en cherchant une condition pour que l'équation $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$, d'inconnue i_2 (i_1 est un paramètre), admette une solution. On a

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

donc cette équation admet une solution si et seulement si

$$\frac{n_1}{n_2} \sin i_1 \leq 1 \quad \text{soit} \quad \sin i_1 \leq \frac{n_2}{n_1}$$

La solution (donc le rayon réfracté!) existe toujours si $n_2 < n_1$, et il y a réflexion totale si $n_2 < n_1$ et

$$i_1 \geq \arcsin \frac{n_2}{n_1} = i_{1,\text{lim}}$$

Cette expression n'est pas à retenir, mais il faut savoir la retrouver. Concrètement, tous les rayons arrivant sur le dioptre avec une incidence $i_1 > i_{1,\max}$ sont totalement réfléchis.

Illustration : Ceux qui ont un aquarium peuvent observer ce phénomène quotidiennement. Lorsque vous regardez votre poisson préféré de loin, il semble se réfléchir sur le fond de l'aquarium exactement comme dans un miroir, voir figure 3 : les angles sont tels que la réflexion est totale, donc toute l'énergie lumineuse du rayon réfléchi aboutit dans votre œil. Au contraire, vous n'observez rien de tel lorsque vous regardez le poisson de plus près car l'énergie lumineuse est réfractée : vous pouvez éventuellement voir un reflet, mais il est beaucoup moins lumineux que le poisson lui-même.

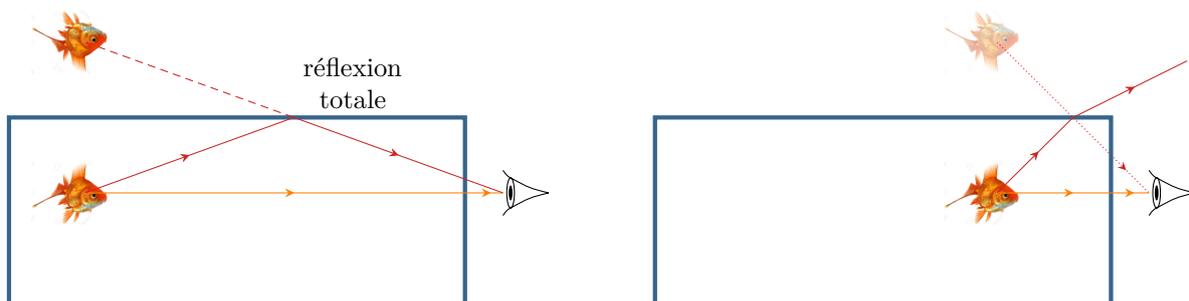


Figure 3 – Un poisson dans un aquarium. Pour simplifier le schéma, je n'ai pas tenu compte de la réfraction par le verre de l'aquarium (importante pour des calculs quantitatifs mais qui ne change rien qualitativement).

A.4 - Fibre optique à saut d'indice

• **Modèle** : cœur cylindrique d'indice n_c entouré d'une gaine d'indice n_g , voir figure 4, la lumière se propage le long de la fibre par réflexions totales sur la gaine

↪ on doit avoir $n_g < n_c$ et $i_c > i_{c,lim} = \arcsin \frac{n_g}{n_c}$.

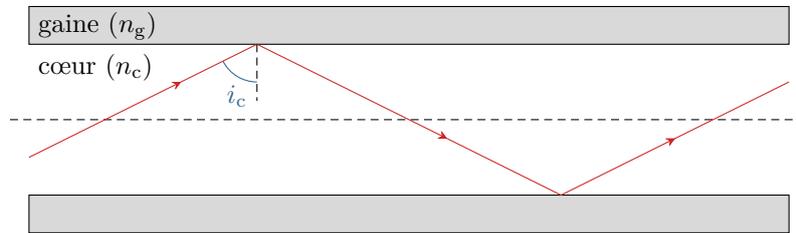


Figure 4 – Schéma de principe d'une fibre optique.

• **Angle d'acceptance** : angle maximal d'incidence dans l'air en entrée de fibre pour qu'un rayon se propage sans atténuation.

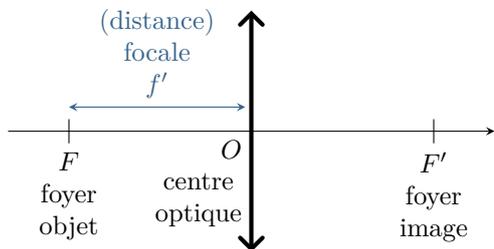
Démonstration : application de la loi de la réfraction entre l'air et le cœur à l'entrée de la fibre pour un angle $i_c = i_{c,lim}$.

• **Dispersion intermodale** : les rayons inclinés différemment ne parcourent pas la même distance dans la fibre, et donc mettent une durée différente pour la parcourir. Pour une fibre de longueur L ,

$$\begin{cases} \tau_{min} = \frac{L}{c/n_c} = \frac{n_c L}{c} \\ \tau_{max} = \frac{L/\sin(i_{c,lim})}{c/n_c} = \frac{n_c^2 L}{n_g c} \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \Delta\tau = \frac{n_c L}{c} \left(\frac{n_c}{n_g} - 1 \right).$$

B - Lentilles

• **Vocabulaire, rayons particuliers**

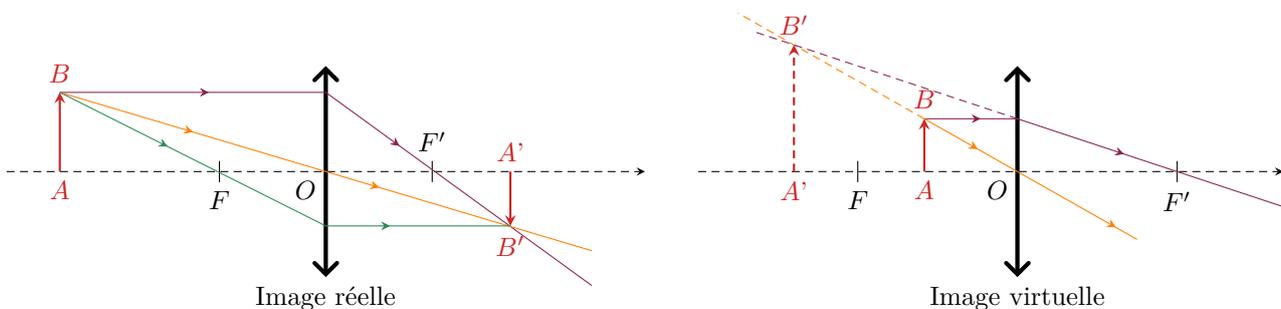


La position des foyers d'une lentille divergente par rapport au centre optique est inversée, et sa distance focale est négative.

- ▷ Un **rayon incident passant par le centre optique O** n'est pas dévié ;
- ▷ Un **rayon incident parallèle à l'axe optique** émerge en passant par le foyer objet ;
- ▷ Un **rayon incident passant par le foyer objet F** émerge parallèlement à l'axe optique.

▷ Le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant F' est appelé **plan focal image**, deux rayons incidents parallèles s'y coupent ↪ c'est donc dans ce plan que se forment les images des objets situés à l'infini.

▷ Le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant F est appelé **plan focal objet**, deux rayons se coupant dans ce plan émergent de la lentille parallèlement l'un à l'autre ↪ l'image d'un objet se trouvant dans le plan focal objet se forme donc à l'infini.



• **Image réelle ou virtuelle**

- ▷ **Image réelle** : les rayons émergents s'y coupent réellement, on peut l'observer sur un écran ;
- ▷ **Image virtuelle** : les rayons émergents ne s'y coupent pas, mais leur prolongement rectiligne le fait. On ne peut pas l'observer sur un écran, il s'agit d'une « illusion d'optique » visible uniquement à l'œil, qui interprète comme si les rayons se propageaient en ligne droite.

- **Relations de conjugaison et de grandissement**

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

↑
déf

Il existe d'autres relations impliquant les foyers, qui seront rappelées si nécessaire.

- **Former une image sur un écran à distance connue**

Une question courante est celle du choix d'une lentille permettant de former une image sur un écran dont la distance D par rapport à l'objet est connue. En posant x la distance entre l'objet et la lentille, la question peut se reformuler comme celle de l'existence de solutions à l'équation portant sur x que fournit la relation de conjugaison.

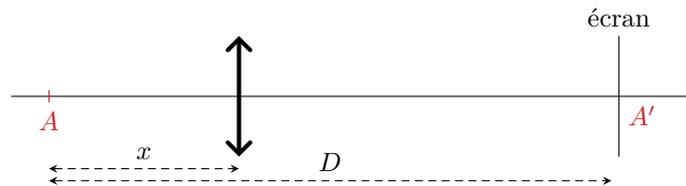


Figure 5 – Former une image sur un écran à distance connue.

La relation de conjugaison s'écrit dans cette situation

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{soit} \quad \frac{1}{D-x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{f'} \quad \text{d'où} \quad x^2 - Dx + Df' = 0.$$

Il n'est possible de former l'image que si cette équation admet des racines réelles, c'est-à-dire si son discriminant est positif :

$$D^2 - 4Df' \geq 0 \quad \text{soit} \quad \boxed{f' \leq \frac{D}{4}}.$$

Ainsi, seules les lentilles de focale suffisamment courte conviennent. Poursuivre la résolution permet de déterminer les deux positions de la lentille qui conviennent, qui sont symétriques par rapport au milieu du segment AA' .

C - Instruments d'optique

C.1 - Principes généraux

- **Instrument subjectif ou objectif** (ces mots sont hors programme, mais les distinguer est important)
 - ▷ *Instrument subjectif* : destiné à l'observation à l'œil, donc pour qu'il n'ait pas à accommoder (cf. ci-dessous), l'image finale doit être formée à l'infini.
 - ▷ *Instrument objectif* : instrument muni d'un capteur sur lequel une image finale réelle doit se former.

- **Instruments d'optique à deux lentilles** (ou plus ...)

- ▷ La lentille côté objet est appelée **objectif**, et pour un instrument subjectif la lentille côté œil est appelée **oculaire**.
- ▷ *Méthode d'étude* : traiter les lentilles les unes après les autres, l'image formée par la première lentille (**image intermédiaire**) sert d'objet à la deuxième.
 - ↔ l'image intermédiaire d'un instrument subjectif doit se former dans le plan focal image de l'oculaire.

C.2 - L'œil

- **Modélisation**

- ▷ une lentille de focale variable (le **crystallin**) + un capteur (la **rétine**) situé à distance fixe ;
- ▷ des muscles déforment le cristallin pour modifier sa focale et permettre à l'œil d'**accomoder** ;
- ▷ l'œil est au repos (= n'accomode pas) lorsqu'il observe un objet situé à l'infini, c'est pourquoi cette situation est privilégiée dans les instruments d'optique subjectifs (pas d'accommodation = moins de fatigue visuelle).

Remarque : attention, pour que l'image d'un objet à distance finie se forme sur la rétine, la focale du cristallin *n'est pas* égale à la distance cristallin-rétine.

- **Caractéristiques de la vision** : pour un œil sans défaut,
 - ▷ point le plus proche visible nettement = **punctum proximum** : environ 20 cm devant l'œil ;
 - ▷ point le plus éloigné visible nettement = **punctum remotum** : à l'infini ;
 - ▷ pouvoir de résolution angulaire : 1' (une minute d'arc), c'est-à-dire $1/60 = 0,017^\circ$.

C.3 - Appareil photo

- **Modélisation** : un diaphragme + une lentille de focale réglable appelée **objectif** (en pratique une association de lentilles déplaçables les unes par rapport aux autres) et déplaçable + un capteur.

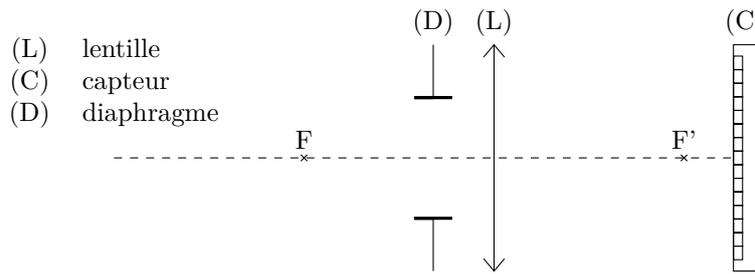


Figure 6 – Modélisation d'un appareil photo.

- **Champ** = zone de l'espace dont l'image se forme sur le capteur.
- **Profondeur de champ** = distance entre le premier et le dernier point dont l'image semble nette sur le capteur, c'est-à-dire dont la tâche est de diamètre inférieure à celui d'une cellule élémentaire du capteur (\approx pixel), voir figure 7.
 ~> la profondeur de champ est contrôlée par le diamètre d'ouverture du diaphragme et la taille d'une cellule élémentaire.

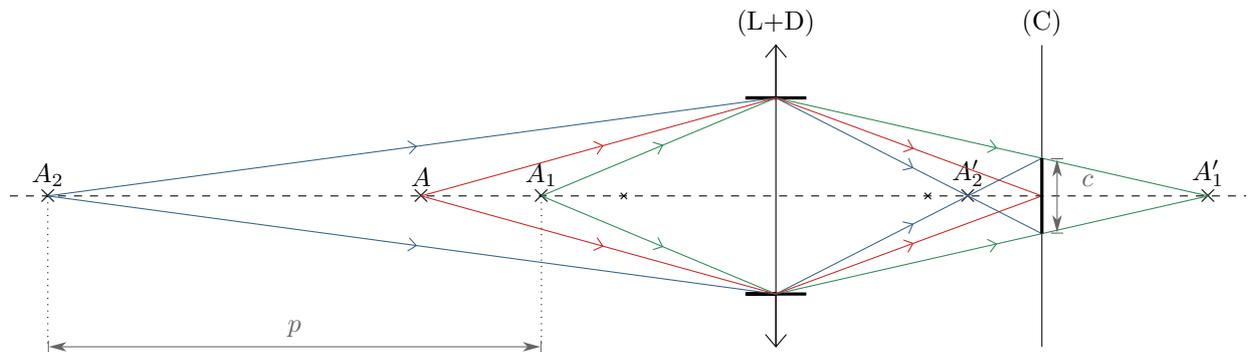


Figure 7 – Mise au point et profondeur de champ. (Version couleur sur le site de la classe). Le diaphragme et la lentille sont représentés dans le même plan. La mise au point est réalisée pour l'objet A, mais tous les objets situés entre A_1 et A_2 auront une image sur le pixel représenté de taille inférieure ou égale à son diamètre c , si bien que toutes ces images apparaîtront nettes sur la photo. La profondeur de champ p est la distance entre ces deux points.

C.4 - Lunette astronomique

- **But** : instrument destiné à observer à l'œil (~> instrument subjectif) un objet situé à l'infini.
- **Modélisation** : deux lentilles appelées **objectif** et **oculaire**

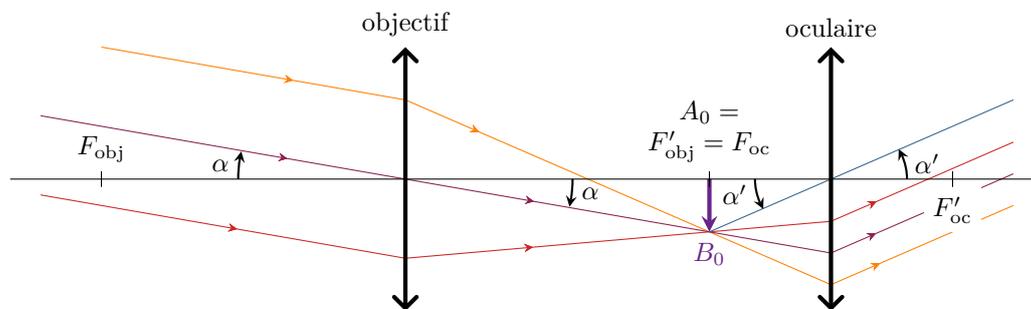
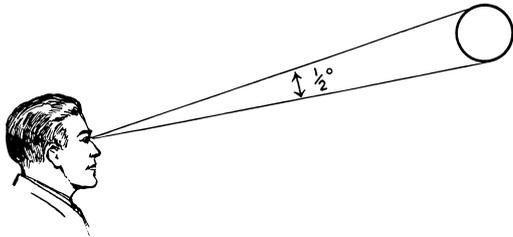


Figure 8 – Modélisation d'une lunette astronomique.

L'image intermédiaire se forme dans le plan focal image de l'objectif, et doit aussi se trouver dans le plan focal objet de l'oculaire pour que l'image finale se forme à l'infini.

~> distance objectif-oculaire = $f'_{obj} + f'_{oc}$.



- **Grossissement angulaire** : parler de la hauteur ou du diamètre d'un objet ou d'une image à l'infini n'a pas de sens : sa « taille » est décrite par l'angle entre ses deux extrémités vues du point d'observation, parfois appelé **taille angulaire** ou **diamètre apparent**.

On considère généralement (et implicitement) qu'un des rayons extrêmes est aligné avec l'axe optique.

Démonstration dans le cas de la lunette : en raisonnant autour de l'image intermédiaire, et en se méfiant que $\alpha < 0$,

$$\begin{cases} \tan \alpha \simeq \alpha = -\frac{A_0 B_0}{f'_{\text{obj}}} \\ \tan \alpha' \simeq \alpha' = +\frac{A_0 B_0}{f'_{\text{oc}}} \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \boxed{G = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}}}$$

Le grossissement est négatif, signe que l'image est renversée : un rayon venant du haut de l'astre est vu en sortie comme venant du bas.

Applications de cours

Seuls les étudiants du groupe de TD PT seront interrogés en colle sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !*

R9.1 - On considère un rayon lumineux se propageant d'un milieu ① vers un milieu ② tels que $n_1 < n_2$. On note i_1 l'angle d'incidence sur le dioptre plan séparant les deux milieux. Représenter la situation sur un schéma et établir l'expression de l'angle maximal de réfraction $i_{2,\text{max}}$.

R9.2 - On considère un rayon lumineux se propageant d'un milieu ① vers un milieu ② tels que $n_1 > n_2$. Représenter la situation sur un schéma et montrer que, si l'angle d'incidence est supérieur à une valeur maximale $i_{1,\text{max}}$ à déterminer, alors le rayon lumineux est totalement réfléchi et ne pénètre pas dans le milieu ②.

R9.3 - Sur un exemple donné par l'interrogateur, construire l'image d'un objet réel par une lentille **convergente**. On s'attachera en particulier aux cas « moins simples » : image virtuelle ou à l'infini.

(★) **R9.4** - Sur un exemple donné par l'interrogateur, construire l'image d'un objet réel par une lentille **divergente**.

R9.5 - Considérons un objet A et un écran séparés d'une distance D . On souhaite former l'image de l'objet sur l'écran avec une lentille de distance focale f' . Établir une condition sur D et f' pour que cela soit possible.

R9.6 - Rappeler la modélisation d'une lunette astronomique, en justifiant notamment la distance devant séparer les deux lentilles, et tracer la marche des rayons dans la lunette. Définir le grossissement angulaire et le déterminer en fonction des focales des deux lentilles.

Pour s'entraîner

- 💡 Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
- ✂ Difficulté technique et calculatoire ;
- ⊕ Exercice important.

Flasher ou cliquer pour accéder au corrigé



Exercice 1 : Détecteur de pluie sur un pare-brise

💡 2 | ✂ 2



- ▷ Lois de Snell-Descartes ;
- ▷ Réflexion totale.

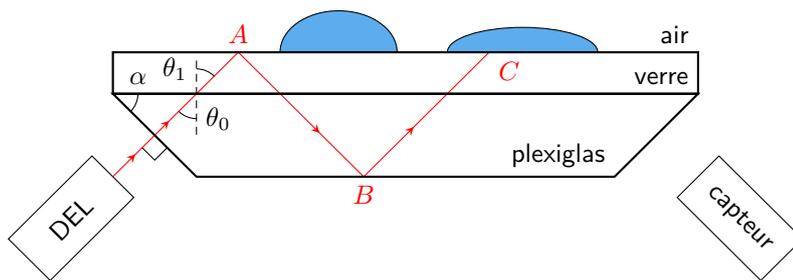
Cet exercice propose de s'intéresser à un modèle simplifié du système de détection automatique de pluie qui commande la mise en route des essuies-glaces d'une voiture.

Document 1 : Principe de fonctionnement d'un détecteur de pluie

Adapté du site <http://www.fiches-auto.fr>.

De plus en plus fréquent pour finalement devenir un équipement généralisé sur presque toutes les gammes de véhicules, le système d'essuie-glace automatique est aujourd'hui un accessoire banal. Cependant, si la grande majorité

des gens a compris que cet ensemble était composé d'un capteur couplé à de l'électronique, peu de monde sait réellement comment le capteur fonctionne. Voici l'explication d'un des procédés les plus utilisés.



Comme indiqué sur le schéma, un bloc de plexiglas biseauté situé à l'intérieur du bloc rétroviseur est collé au verre du pare-brise. Une diode électroluminescente (DEL) envoie un pinceau lumineux infrarouge en incidence normale sur le biseau. Un capteur lumineux mesure en permanence l'intensité de la lumière en sortie de la pièce biseautée : plus il y a d'eau sur la vitre, plus elle est faible. Le capteur de pluie pilote ainsi l'essuie-glace en fonction de la quantité d'eau détectée et sélectionne automatiquement la vitesse de balayage la plus efficace.

Données :

- ▷ angle du biseau : $\alpha = 50^\circ$;
- ▷ indices optiques : plexiglas $n_p = 1,50$; verre du pare-brise $n_v = 1,55$; eau $n_e = 1,33$.

- 1 - Pourquoi utilise-t-on un rayonnement infrarouge ?
- 2 - Montrer qu'à l'interface plexiglas \rightarrow verre $\theta_0 = \alpha$.
- 3 - En déduire la valeur de θ_1 . Commenter.

On suppose pour toute la suite que la différence d'indice entre le plexiglas et le verre est suffisamment faible pour pouvoir négliger tous les phénomènes de réflexion et réfraction à cette interface. En particulier, l'angle d'incidence en A est égal à θ_0 .

- 4 - En l'absence de pluie, existe-il un rayon réfracté au point A ou au point C ? Justifier.
- 5 - En présence de gouttes de pluie sur le pare-brise, placées comme sur la figure, existe-il un rayon réfracté au point C ? Justifier.
- 6 - Expliquer pourquoi plus il y aura de gouttes sur le pare-brise, moins l'intensité lumineuse reçue par le capteur sera importante.

Exercice 2 : Microscope optique

PT A 2017 | 💡 2 | ✂ 2

- ▷ Instrument d'optique ;
- ▷ Relations de conjugaison ;
- ▷ Construction de rayons.

Le microscope est modélisé sur la figure 9 par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille L_1 , de centre O_1 et de distance focale image $f'_1 = 5$ mm) et l'autre constituant l'oculaire (lentille L_2 de centre O_2 et de distance focale image $f'_2 = 15$ mm).

On fixe $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120$ mm. On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.

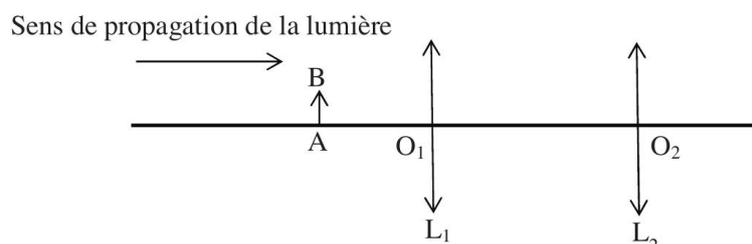


Figure 9 – Schéma du microscope optique classique.

On rappelle la relation de conjugaison d'une lentille et l'expression du grandissement γ :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{OA'}{OA}.$$

1 - Les relations précédentes sont valables à condition que les rayons lumineux satisfassent les conditions de Gauss. Donner ces deux conditions.

2 - Si F'_1 est le foyer image de L_1 et F_2 le foyer objet de L_2 , on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique $\Delta = \overline{F'_1 F_2}$. Exprimer Δ en fonction de f'_1, f'_2, D_0 puis calculer sa valeur.

Un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance d de L_1 , à sa gauche, de façon à ce que l'image $A'B'$ donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

3 - Exprimer d en fonction de f'_1 et Δ puis calculer sa valeur.

4 - Exprimer le grandissement γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ puis calculer sa valeur.

5 - Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?

6 - Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle α' sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = |\alpha'/\alpha|$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance $D = 250$ mm. L'objet étant de petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles.

7 - Exprimer G en fonction de Δ, D, f'_1 et f'_2 puis calculer sa valeur.

Exercice 3 : Tripleur de focale de Barlow

oral banque PT | 💡 2 | ✂️ 2

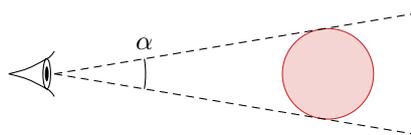


- ▷ Instrument d'optique ;
- ▷ Relations de conjugaison ;
- ▷ Construction de rayons.

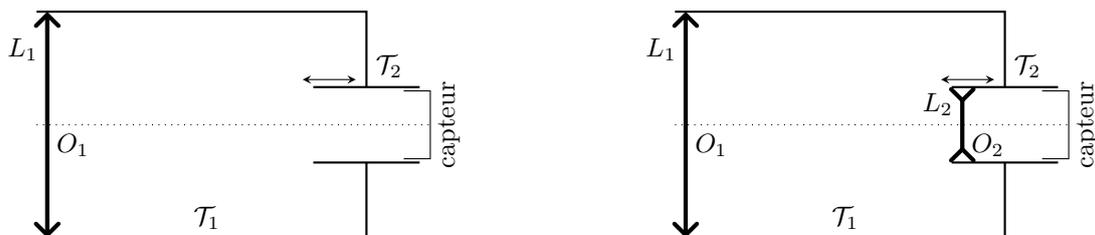
Données :

- ▷ Les orbites de la Terre et de Jupiter sont coplanaires ;
- ▷ Rayon des orbites : $R_T = 1,50 \cdot 10^8$ km et $R_J = 7,80 \cdot 10^8$ km ;
- ▷ Diamètre de Jupiter : $D_J = 1,40 \cdot 10^5$ km ;

1 - Quel est l'angle maximal α_0 sous lequel on peut observer Jupiter ?



On souhaite photographier Jupiter à travers un télescope, voir figure 10a, assimilé à une lentille mince convergente de focale $f'_1 = 2550$ mm. L'image doit se former sur le capteur. Le tube \mathcal{T}_2 peut coulisser à l'intérieur du tube \mathcal{T}_1 pour régler la mise au point.



(a) Dispositif simple

(b) Dispositif avec tripleur de focale

Figure 10 – Dispositif de photographie de Jupiter.

2 - À quelle distance placer le capteur pour obtenir une image nette ? Quel est alors le diamètre maximal de Jupiter sur le capteur ?

Pour agrandir l'image, on intercale une lentille divergente L_2 de distance focale f'_2 entre la lentille L_1 et le capteur, voir figure 10b. La distance d entre la lentille L_2 et le capteur est fixe, égale à 200 mm. On admet que le foyer image F'_1 de la lentille L_1 se situe entre la lentille L_2 et le capteur.

3 - Compléter la figure 11 en traçant le point image B' du point objet B situé à l'infini.

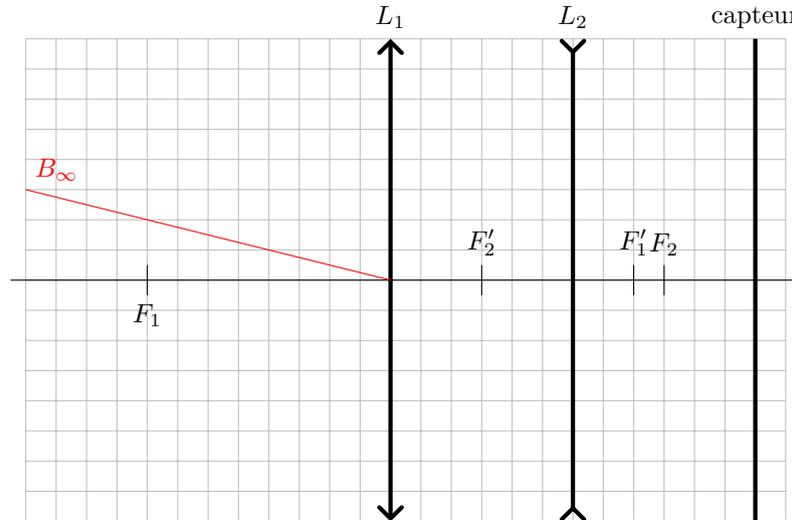


Figure 11 – Marche des rayons dans l'instrument.

4 - Comment faut-il choisir f'_2 et comment placer le tube T_2 pour que le dispositif produise sur le capteur une image de Jupiter trois fois plus grande que précédemment ?

5 - Le dispositif est alors qualifié de « tripleur de focale ». Expliquer.

Exercice 4 : Distance hyperfocale d'un appareil photo

oral banque PT | 💡 2 | ✂ 2 | Ⓜ



- ▷ Relation de conjugaison ;
- ▷ Profondeur de champ.

On étudie la distance hyperfocale d'un appareil photographique, c'est-à-dire la distance à partir de laquelle l'image est nette lorsque la mise au point est faite à l'infini. L'objectif est modélisé par une lentille mince convergente de focale $f' = 50$ mm, le diaphragme par un cercle de diamètre $D = 4$ mm.

1 - Schématiser la situation en indiquant les foyers et la position du capteur.

Toujours en effectuant la mise au point à l'infini, on s'intéresse à un objet A placé sur l'axe optique à une distance d de l'objectif. On note Δ la distance $F'A'$ entre le foyer image de l'objectif et l'image A' de A .

2 - Montrer que

$$\Delta = \frac{f'^2}{d - f'}$$

Proposer une approximation sachant que $d \geq 1$ m.

3 - Montrer à l'aide d'un schéma que le diamètre de la tâche lumineuse sur le capteur s'approche par Df'/d .

4 - On considère un appareil photo dont le cercle de confusion a pour diamètre $a = 0,02$ mm. Le cercle de confusion est le plus grand diamètre au niveau du capteur d'une tâche lumineuse perçue nette sur la photo. En déduire la distance hyperfocale, c'est-à-dire la plus petite valeur de d pour laquelle l'image est nette.

Données : relations de conjugaison pour un couple de points conjugués (A, A') de l'axe optique.

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \overline{FA} \overline{F'A'} = -f'^2.$$