Physique générale : Optique

Chapitre 0

Conseils généraux

Ce document à pour but de rappeler et résumer les conseils, arguments et astuces qui ont pu être vues et énoncées durant les TDs. Il ne remplace ni les séances en elles-mêmes, où votre participation active est nécessaire (c'est en se trompant qu'on sait comment ne pas faire, et donc comment bien faire), ni les CM de votre professeur-e. J'espère néanmoins qu'il saura vous être utile.

La première partie comporte quelques éléments généraux sur l'optique. D'autres conseils et éléments importants sont mis en valeur quand ils sont pertinents : le code couleur reste le même, dans le but d'avoir une structure facilement navigable. Les bases de réflexion, données ou définitions, sont en vert. Les résultats importants, propriétés ou résultats à trouver, sont en rouge. Les points pivots de réflexion, démonstration ou outils à choisir judicieusement, sont en bleu. Les côtés pratiques, exemples et applications, sont en gris.

Les premiers exercice du chapitre 1 sont intégralement corrigés, et certains mots importants (comme « divergent ») ont une note de fin du chapitre 1 avec une brève définition. Ces exercices représentent la base de comment construire sa réflexion face à un exercice de physique (d'optique particulièrement), mais ils ne sont pas tous corrigés ainsi. Ainsi, vous verrez qu'après quelques exemples, je vous renvoie aux corrigés que vous avez à disposition sur *Claroline*. Les schémas y sont clairs et j'espère que ma retranscription écrite du raisonnement derrière ces schémas suffiront à vous guider. Bonne lecture,

Nora Nicolas – n.nicolas@ip2i.in2p3.fr

Principe des exercices de physique

Tout exercice de physique suit le schéma suivant :

1) Lecture de l'énoncé en français et relevé des données ;
2) Traduction des données en schéma si pertinent, et en expression mathématique si pertinent ;
3) Compréhension de la réponse attendue ;
4) Traduction de la réponse attendue en schéma si pertinent, et en expression mathématique si pertinent ;
5) Détermination d'un ou de plusieurs outils (relation mathématique, règle de construction...) du cours faisant le lien entre les données et la réponse : répéter si besoin d'une réponse intermédiaire ;
6) Application.

Un exemple est donné partie 1.2.

Conseils

Avant d'encadrer un résultat :

1) Vérifer la cohérence mathématique avec la ligne précédente : les signes devant les grandeurs, le nombre de grandeurs, ne pas oublier les fonctions inverses... ;
2) Vérifier l'homogénéité de part et d'autre de l'équation pour les résultats littéraux ;
3) Vérifier la cohérence physique de la valeur numérique, notamment à l'aide d'un schéma.

Important

L'erreur la plus simple mais la plus grave à faire est de se tromper sur une grandeur algébrique :

Toujours vérifier le sens des grandeurs algébriques

Lentilles minces

Exercices d'application

Exercice 1) Constructions optiques dans toutes les situations

Pour construire une image à partir d'un objet, on utilise les règles de construction :

Définition 1.1.1 : Règles de construction

1) Tout rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié ;
2) Tout rayon incident passant par le foyer objet F de la lentille émerge parallèlement à l'axe optique ;
3) Tout rayon indicent parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par le foyer image F' de la lentille.

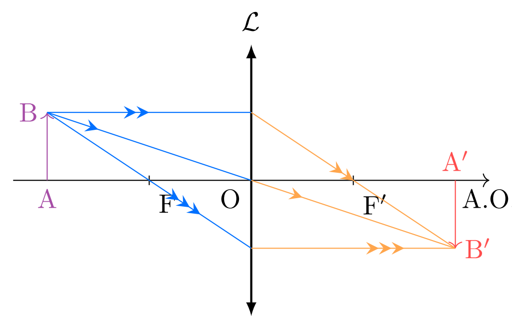
Constructions pour une lentille convergente

1) 1- Objet à distance finie

1) 1- a. Avant le foyer objet

On utilise aisément les règles sus-citées en traçant :

1) Le rayon passant par B et par O : il ne sera pas dévié ;
2) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F' en sortie ;
3) Le rayon passant par B et par F : il émerge parallèle à l'A.O.[1].

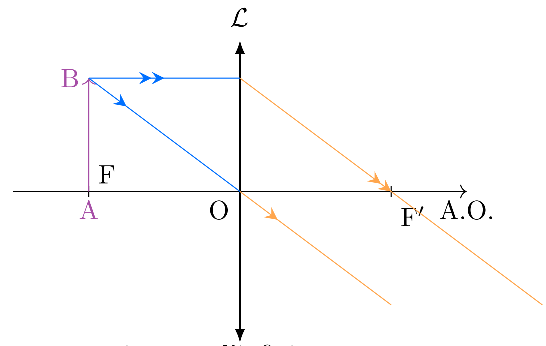


Ces rayons, issus d'un objet réel[2], se croisent après la lentille : on a un faisceau émergent convergent[3] qui donne une image réelle[4].

1) 1- b. Sur le foyer objet

De la même manière, on trace :

1) Le rayon passant par B et par O : il ne sera pas dévié ;
2) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F' en sortie ;
3) Le rayon passant par B et F ne passe pas par le système optique, ce rayon est inutile.



Ainsi, à partir d'un objet réel, on obtient des rayons parallèles qui donnent une image à l'infini.

1) 1- c. Entre le foyer et la lentille

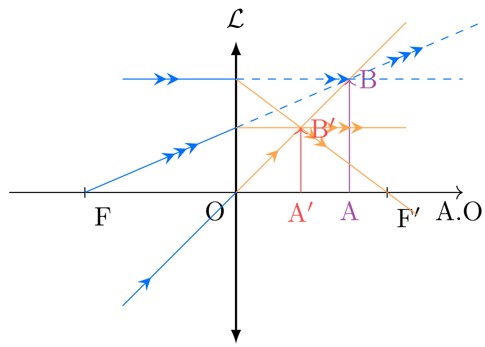
Tout pareil, on trace :

1) Le rayon passant par B et par O : il ne sera pas dévié ;
2) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F' en sortie ;
3) Le rayon passant par B et par F : il émerge parallèle à l'A.O.

1) 1- d. Après la lentille

Bien que la situation semble bizarre, le procédé reste le même. On trace un objet après la lentille, puis on trace :

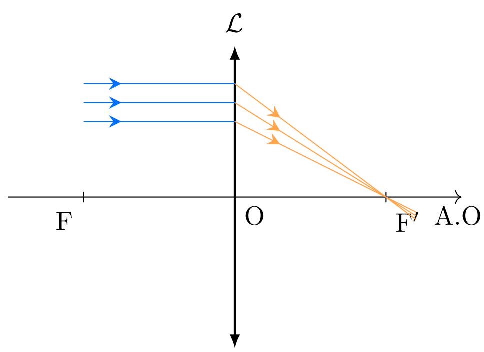
1) Le rayon passant par B et par O : il ne sera pas dévié ;
2) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F' en sortie ;
3) Le rayon passant par B et par F : il émerge parallèle à l'A.O.



La seule différence ici, c'est que les rayons dans l'espace objet du système optique ne peuvent pas atteindre l'objet virtuel[5]. On fait partir les rayons de la gauche du système comme s'ils allaient passer par B, mais une fois arrivés à la lentille on continue les traits en pointillés pour montrer que ce sont des rayons virtuels. Les rayons émergents suivent les règles de la définition 1.1.1, et donnent un faisceau émergent convergent donnant lieu à une image réelle.

1) 2- Objet à l'infini

Des rayons parallèles à l'A.O., d'après la règle de construction numéro 3), émergent en coupant l'A.O. au foyer image.

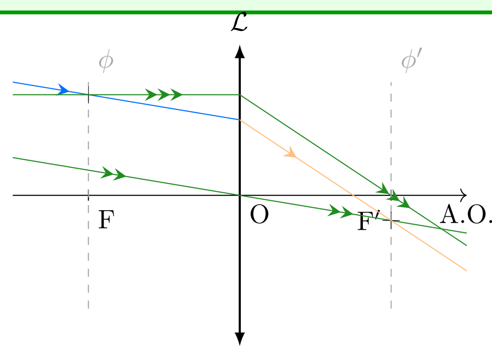


Pour construire les rayons émergents à partir de rayons quelconques, on utilise deux règles supplémentaires :

Définition 1.1.2 : Règles de construction rayons quelconques

4) Deux rayons incidents parallèles entre eux donnent des rayons émergents se coupant dans le plan focal image (au même foyer secondaire image ϕ') ;
5) Deux rayons incidents se coupant dans le plan focal objet (au même foyer secondaire objet ϕ) donnent des rayons émergents parallèles entre eux.

Ainsi, pour construire le rayon émergent d'un rayon quelconque, il suffit de prendre un rayon incident parallèle à celui-ci dont on sait construire le rayon émergent : celui qui passe par F et qui resortira parallèle à l'A.O., ou celui passant par O qui ne sera pas dévié. On sait alors que le rayon émergent de notre rayon incident quelconque devra passer par l'intersection entre le rayon émergent particulier que l'on vient de construire et le plan focal image.



1) 3- Rayon quelconque

De même que précédemment.

Constructions pour une lentille divergente

1) 1- Objet à distance finie

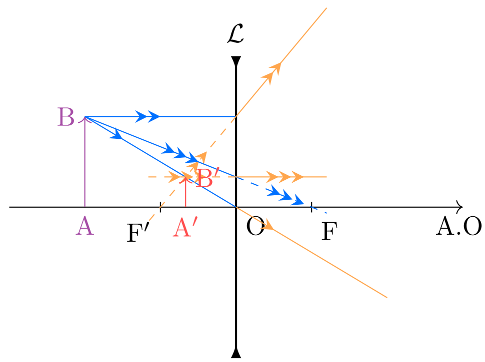
1) 1- a. Avant le foyer image

Les règles de construction pour une lentille divergente sont les mêmes que celles pour la lentille convergente. La seule différence est que les foyers objet et image sont échangés. On trace donc :

1) Le rayon passant par B et par O : il ne sera pas dévié ;

2) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F' en sortie ;

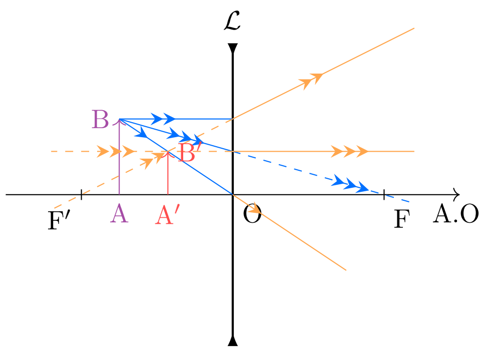
3) Le rayon passant par B et par F : il émerge parallèle à l'A.O.



F' étant maintenant à gauche de O, on trace en pointillés la partie des rayons émergent qui se situe dans l'espace objet (à gauche de la lentille).
À partir d'un objet réel, on obtient un faisceau divergent, dont l'intersection donne une image virtuelle.

1) 1- b. Entre le foyer image et la lentille

Le principe est exactement le même, le résultat est exactement le même.



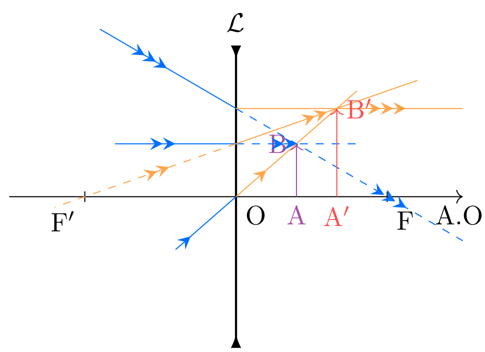
1) 1- c. Entre le foyer objet et la lentille

De la même manière qu'au point 1) 1- d. avec une lentille convergente, on a bien un objet à droite de la lentille, et le procédé reste le même. On trace :

1) Le rayon passant par B et par O : il ne sera pas dévié ;

2) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F' en sortie ;

3) Le rayon passant par B et par F : il émerge parallèle à l'A.O.

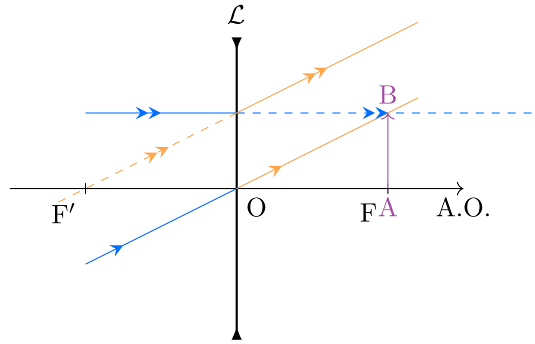


Encore une fois, le rayon 2) provenant de l'espace objet ne peut pas atteindre l'objet virtuel. On le fait partir de la gauche du système optique comme s'il allait passer par B, mais une fois arrivé à la lentille, on continue le trait en pointillés pour montrer que c'est un rayon virtuel. Le rayon émergent suit la règle de la définition 1.1.1 et passe par le foyer image F', qui sera également indiqué en pointillés dans la partie de l'espace objet et en trait plein dans la partie de l'espace image.

Les rayons émergents forment un faisceau convergent, donnant lieu à une image réelle.

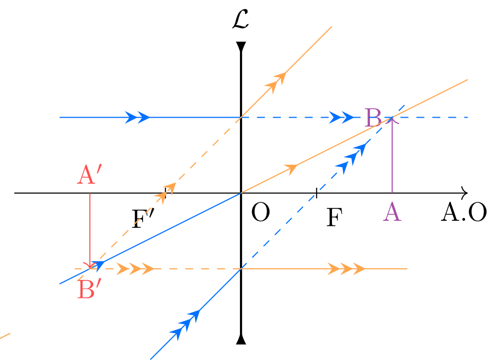
1) 1- d. Sur le foyer objet

Même principe également. Cette fois on a alors des rayons émergents parallèles entre eux donnant une image à l'infini.



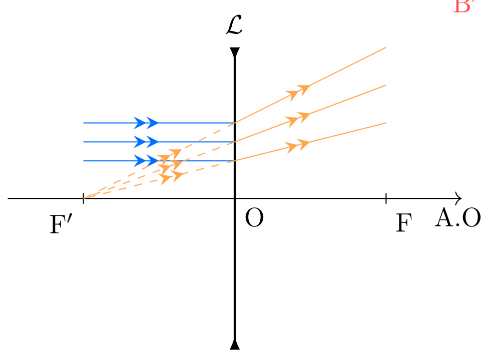
1) 1- e. Après le foyer objet

Même principe qu'à la question précédente. Cette fois les rayons émergents forment un faisceau divergent donnant lieu à une image virtuelle.



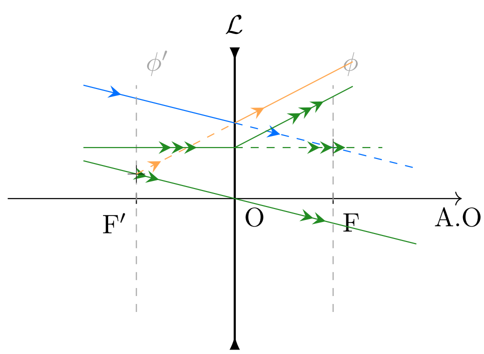
1) 2- Objet à l'infini

Pareil qu'avec la lentille convergente.



1) 3- Rayon quelconque

Pareil qu'à la question précédente.



Important 1.1.1 : Résumé de l'exercice

On a vu qu'à partir de règles de construction simple, il était possible de construire les images, réelles ou virtuelles, à partir de toute situation. On retiendra que le caractère convergent ou divergent d'un faisceau permet de savoir où se forme l'image : dans la prolongation dans le sens positif de la marche des rayons pour un faisceau convergent, et dans la prolongation dans le sens négatif de la marche des rayons pour un faisceau divergent.

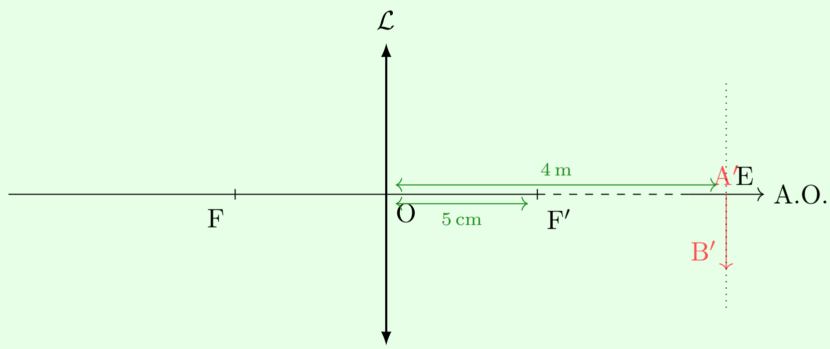
Exercice 2) Vidéoprojecteur

Cet exercice est un exemple d'application d'un raisonnement classique à avoir face à un exercice de physique, en référence au premier encadré de ce document.

La lecture de l'énoncé nous indique que l'on a affaire à une lentille mince. La traduction des données nous donne :

Données

1) $(AB) = 24\,\text{mm}$: « l'objet est une matrice de 24 mm » ;
2) $\overline{OA'} = +4\,\text{m}$: « l'écran se situe à 4 m » (c'est là que se forme l'image, c'est donc la position de A') ;
3) $\overline{OF'} = +5\,\text{cm}$.



On peut en faire un schéma, et c'est vivement conseillé en optique : cela permet, s'il est bien fait, de savoir à quoi s'attendre numériquement si nécessaire. C'est une méthode supplémentaire pour avoir un avis critique sur une réponse numérique.

La compréhension des réponses attendues nous donne :

Résultats attendus

1) Que vaut $\overline{OA}$? : « Déterminer la position et la nature de l'objet » (O est bon point d'intérêt à partir duquel on peut mesurer des distances, et selon la valeur algébrique de $\overline{OA}$ on saura de quel côté de la lentille l'objet se situe, et donc son caractère virtuel ou réel) ;
2) Que vaut $\overline{A'B'}$? : « Déterminer [...] la taille de l'image ».

Les outils dont on dispose qui sont pertinents pour relier les données aux inconnues sont :

Outils du cours

1) Relation de conjugaison pour une lentille mince :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}}$$

2) Grandissement pour une lentille mince :

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}}$$

On est donc en mesure de répondre aux questions :

Application

1) De la relation de conjugaison, on a :

$$\overline{OA} = \left[\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OF'}}\right]^{-1}$$

Et avec les données,

$$\boxed{\overline{OA} = -5\,\mathrm{cm}}$$

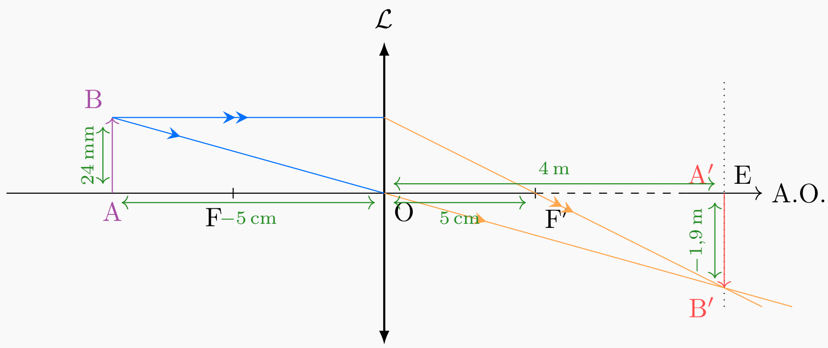
Ainsi, on a un objet réel situé à 5 centimètres à gauche de la lentille.

2) De l'expression du grandissement, on a :

$$\overline{A'B'} = \overline{AB} \times \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Et avec les données,

$$\boxed{\overline{A'B'} = -1{,}9\,\mathrm{m}}$$



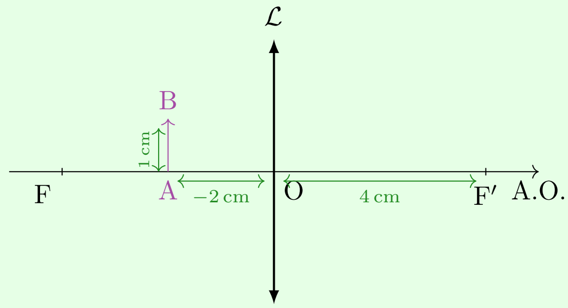
Remarque

Attention, comme on a qu'un seul chiffre significatif, on a $\overline{OA} = -5\,\mathrm{cm}$, ce qui semble correspondre à la position de F, mais en réalité ce n'est qu'une approximation numérique. Comme $\overline{OA'} \gg \overline{OF'}$, le résultat numérique est proche de $-\overline{OF'}$, mais il est évident que si l'objet était en effet au foyer objet, le vidéoprojecteur ne formerait pas l'image sur l'écran mais à l'infini.

Exercice 3) La loupe

Données

1) $\overline{OA} = -2\,\mathrm{cm}$
2) $(AB) = 1\,\mathrm{cm}$
3) $\overline{OF'} = 4\,\mathrm{cm}$



Résultats attendus

1) $\overline{OA'}$?
2) Schéma ;
3) $\overline{OA'} < 0$ ou $\overline{OA'} > 0$?
4) $\overline{A'B'}$?
5) $G =$?

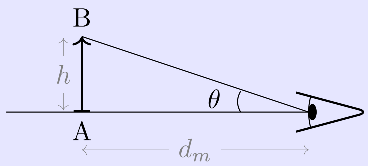
Outils du cours

1) Relation de conjugaison pour une lentille mince ;
2) Règles de construction de rayons ;
3) Bon sens ! ;
4) Grandissement pour une lentille mince ;
5) Définition du grossissement d'un système optique. On définit

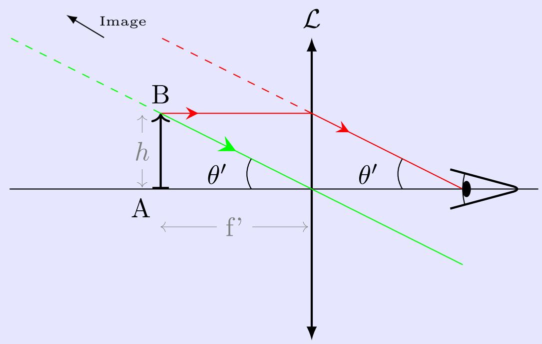
$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

avec

– θ l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu, et on appelle grossissement **commercial** quand on fixe la distance œil-objet à la distance de vision miminale de l'œil emmétrope, $d_m = 25\,\mathrm{cm}$;



– θ' l'angle sous lequel est vue l'image après le système, et dans le grossissement **commercial** on la considère comme formée à l'infini.



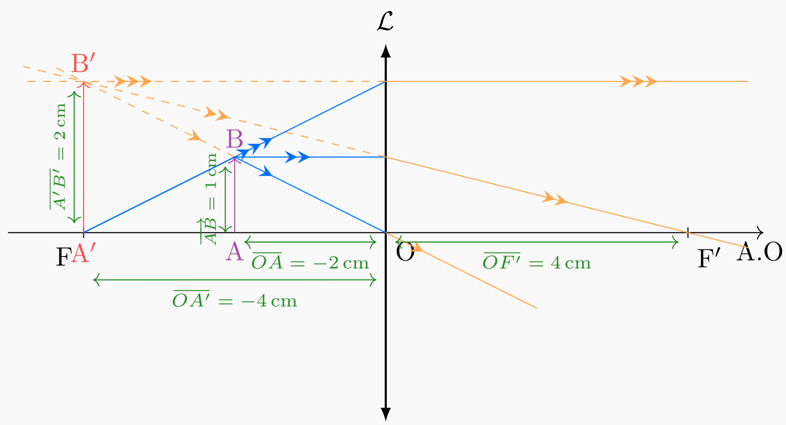
Dans le cas présent l'image n'est pas formée à l'infini, et on n'indique pas la distance de l'œil à l'objet : on va donc définir le grossissement commercial de la loupe. Avec h la taille de l'objet, les schémas précédents donnent

$$\boxed{G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{h}{f'}}{\frac{h}{d_m}} = \frac{d_m}{f'}}$$

Résultats

1) $\boxed{\overline{OA'} = -4\,\mathrm{cm}}$;

2) On a :



3) Image <u>virtuelle</u> ;

4) $\boxed{\overline{A'B'} = 2\,\mathrm{cm}}$;

5) Application : $\boxed{G = 6.25}$

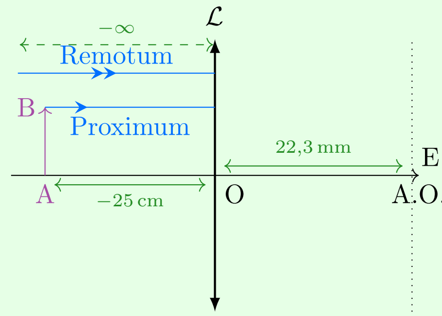
Exercice 4) Œil réduit et accomodation

Données

1) Rétine = écran,

   cristallin = lentille ;
2) Au repos, A à l'infini ;
3) Au *proximum*, A à 25 cm

   ($\overline{OA} = -25\,\text{cm}$).



Résultats attendus

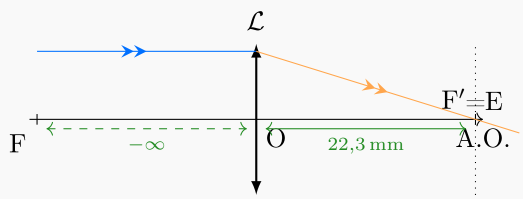
1) $\overline{OF'}_{\text{repos}}$?
2) $\overline{OF'}_{\text{accomodation}}$?

Outils du cours

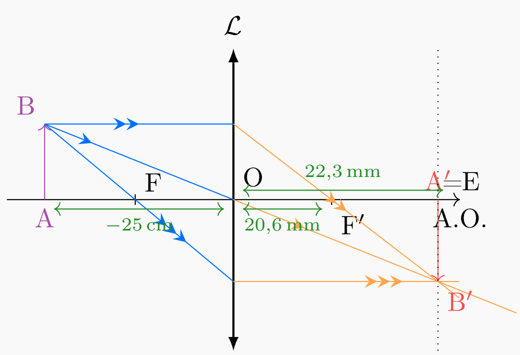
Relation de conjugaison pour une lentille mince, avec $\overline{OA'} = \overline{OE} = 22{,}3\,\text{mm}$ (le principe d'un écran c'est que l'image se forme dessus !!) et $\frac{1}{\overline{OA}} = 0$ quand $\overline{OA} = -\infty$

Résultats

$$\boxed{\overline{OF'}_{\text{repos}} = 22{,}3\,\text{mm}}$$



$$\boxed{\overline{OF'}_{\text{accomodation}} = 20{,}6\,\text{mm}}$$

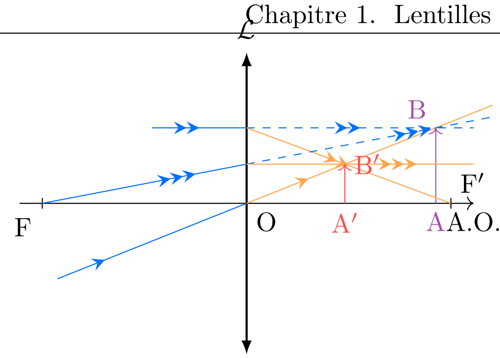


Exercices d'entraînement

Exercice 5) Construction géométrique d'objets

5) 1-

On a une image réelle. Pour trouver B, on dessine dans l'espace image les rayons <u>émergents</u> particuliers des règles de construction 1.1.1 et qui se croisent en B' (c'est bien la finalité d'un objet qui donne une image). On trace, depuis la lentille :



1) le rayon <u>émergent</u> qui passe par O et par B' ;

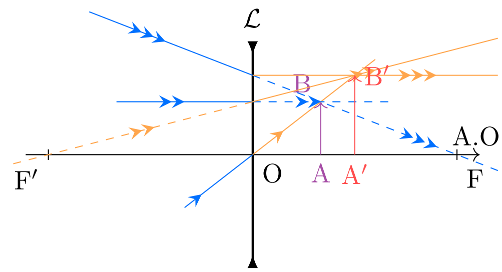
2) le rayon <u>émergent</u> qui passe par F' et par B' ;

3) le rayon <u>émergent</u> parallèle à l'axe optique et passant par B'.

Le premier doit provenir d'un rayon incident passant par B et par F. Le second doit provenir d'un rayon incident passant par B et parallèle à l'A.O. Le dernier n'est pas dévié.

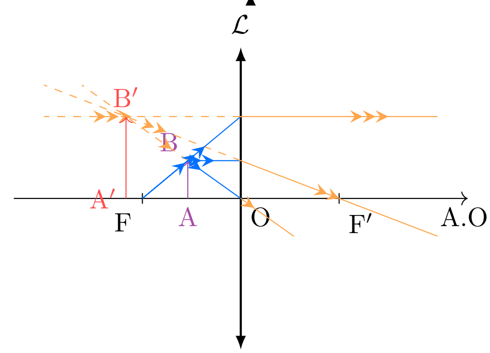
5) 2-

Même exercice, mais on échange F et F'.



5) 3-

On a une image virtuelle. On doit tracer dans l'espace image trois rayons d'intérêt dont la <u>prolongation dans le sens opposé à celle de la marche des rayons</u> passe par B'. Même principe ensuite.



1) le rayon qui passe par O et par B' ;

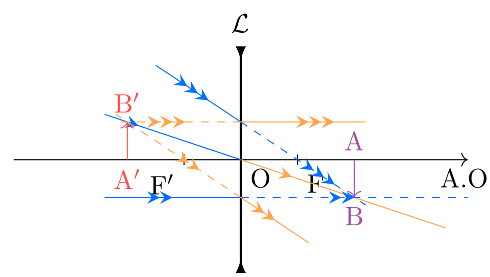
2) le rayon qui passe par F' et par B' ;

3) et le rayon parallèle à l'axe optique et passant par B'.

Le premier doit provenir d'un rayon incident passant par B et par F. Le second doit provenir d'un rayon incident passant par B et parallèle à l'A.O. Le dernier n'est pas dévié.

5) 4-

Même exercice, mais on échange F et F'.



Exercice 6) Trouver la lentille

Pour cet exercice, il faut étudier les liens entre objet et image avec le centre O et le foyer image d'une lentille. On se rend alors compte qu'en traçant une droite de B à B', il est naturel de trouver O à l'intersection de cette droite et de l'axe optique. On peut faire ça pour chaque schéma, et il ne reste qu'à trouver le foyer image.

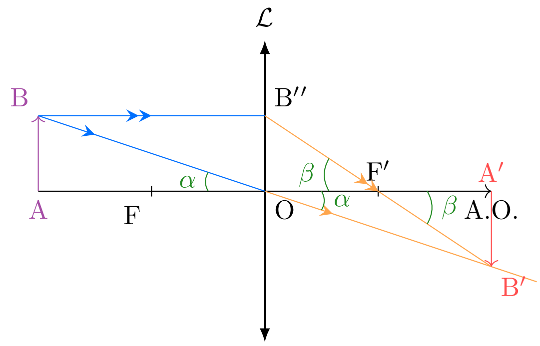
Pour cela, après avoir trouvé O et tracé une lentille (pour le moment, ni convergente ni divergente), il suffit de tracer un rayon partant de B et parallèle à l'axe optique qui, une fois arrivé à la lentille, doit continuer jusqu'à passer en B'. L'intersection de ce rayon et de l'axe optique donne l'emplacement de F'. Il faut cependant faire attention à bien savoir si ce sont les prolongations des rayons ou les rayons eux-mêmes qui partent de B ou qui arrivent en B'. Les schémas sont en ligne sur Claroline.

Exercice 7) Relation de conjugaison

Dans cet exercice, on veut démontrer la relation de conjugaison du cours

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}}$$

en se servant uniquement des rayons particuliers que l'on peut construire pour toute lentille mince, à savoir celui qui passe par le centre optique et ceux qui passent par les foyers. Dans ce genre de démonstration, il est très important de faire attention à l'utilisation des valeurs algébriques des longueurs lorsqu'on applique les formules de trigonométrie. Une bonne technique consiste à utiliser des angles inférieurs à 90° pour lesquels toutes les fonctions trigonométriques sont positives, et à utiliser alors des grandeurs algébriques positives dans l'écriture de ces formules.



Pour trouver la relation de conjugaison, nous utilisons le triangle ABO dans lequel l'angle $\alpha \equiv \widehat{AOB}$ permet d'obtenir la relation

$$\tan(\alpha) = \frac{\overline{AB}}{\overline{AO}}$$

Dans le triangle $OA'B'$, l'angle de même valeur $\widehat{A'OB'} = \alpha$ permet d'obtenir

$$\tan(\alpha) = \frac{\overline{B'A'}}{\overline{OA'}}$$

On démontre ainsi immédiatement la formule du grandissement

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AO}} = \frac{\overline{B'A'}}{\overline{OA'}} \iff \boxed{\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}}$$

Nous définissons ensuite le point intermédiaire B'' qui est l'intersection du rayon partant de B parallèlement à l'axe optique et de la lentille. Ainsi, dans le triangle $OB''F'$, l'angle $\beta \equiv \widehat{F'OB''}$ donne

$$\tan(\beta) = \frac{\overline{OB''}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}}$$

Dans l'autre triangle $F'A'B'$, l'angle de même valeur $\widehat{B'F'A'} = \beta$ donne

$$\tan(\beta) = \frac{\overline{B'A'}}{\overline{F'A'}}$$

On a donc

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{B'A'}}{\overline{F'A'}} \iff \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'F'}}{\overline{OF'}}$$

En remplaçant dans la formule de grandissement, et en utilisant la décomposition

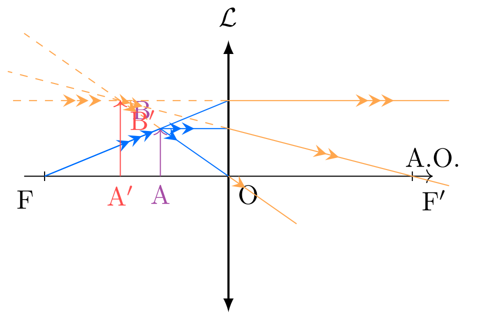
$$\overline{A'F'} = \overline{A'O} + \overline{OF'} = -\overline{OA'} + \overline{OF'}$$

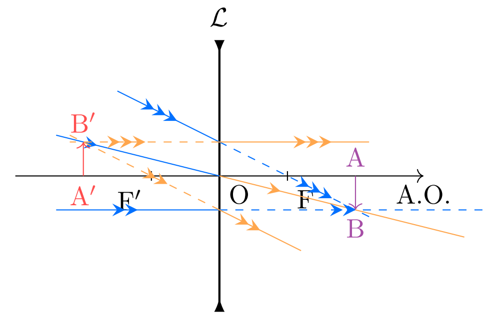
on a donc en divisant les deux côtés par $\overline{OA'}$

$$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'F'}}{\overline{OF'}} = -\frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}} + 1 \iff \boxed{\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}}$$

Exercice 8) Lentilles inconnues

Cet exercice peut paraître déroutant, mais il faut simplement s'en tenir à ce qu'on peut faire. On sait que les rayons émergents doivent se croiser en B', par définition. On peut tracer le rayon de B' à O, c'est toujours une source sûre. Ce rayon doit également passer par B : étant donné qu'on a la position A, on en déduit la position de B qui est à la verticale de A et sur ce rayon.
Ensuite, on peut tracer le rayon émergent parallèle à l'axe optique qui passe par B' (en prolongation). On sait qu'il doit partir de B et coupe l'axe optique en F : on a trouvé B et F !





Exercice 9) Distances focales

Données

1) $\overline{OA} = -6\,\mathrm{cm}$;
2) $\overline{OA'} = 2\,\mathrm{cm}$;

Résultats attendus

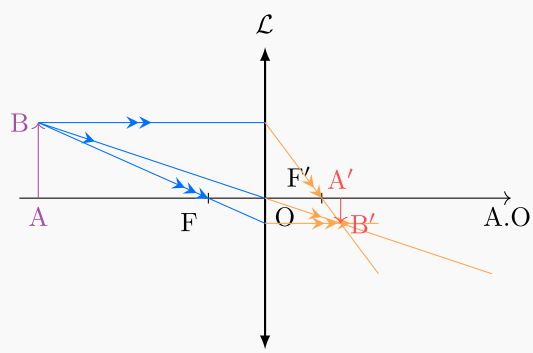
1) $\overline{OF'}$?
2) Nature de la lentille ?

Outils du cours

1) Relation de conjugaison

Résultats

1) $\boxed{\overline{OF'} = 1.5\,\mathrm{cm}}$
2) $\overline{OF'} > 0$ donc $V > 0$: c'est une lentille convergente
3) On obtient :



Exercice 10) Les petits angles

L'objectif de cet exercice est de montrer quantitativement à quoi correspond « l'approximation des petits angles » nécessaire à l'applicabilité des conditions de Gauss. Tout d'abord, rappelons que la relation entre les valeurs d'un angle α en degré et en radians est

$$\alpha(\mathrm{rad}) = \frac{\alpha(^\circ) \times 2\pi}{360} \tag{1.1}$$

Ainsi, nous pouvons remplir le tableau Ce tableau montre que même pour des angles de 25°, l'erreur relative entre l'angle

i (°)	i (rad)	$\sin(i)$	Ecart relatif (%)
8	0.140	0.140	0
10	0.174	0.173	0.57
12	0.209	0.207	0.9
15	0.262	0.259	1.2
18	0.314	0.309	1.6
20	0.349	0.342	2
25	0.436	0.423	3.1

et son sinus est de l'ordre du pourcentage, validant les conditions de Gauss.

Notes

[1]A.O. : axe optique
[2]objet réel : qui existe physiquement, situé avant la face d'entrée du système optique
[3]convergent : dont la prolongation dans le sens positif de la marche des rayons mène à une intersection
[4]image réelle : qui peut être observée sur un support physique dans l'espace image du système, après la face de sortie
[5]objet virtuel : situé après la face d'entrée, n'ayant pas d'existence physique

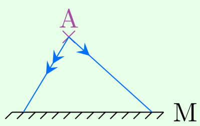
Chapitre 2

Miroirs et dioptres plans

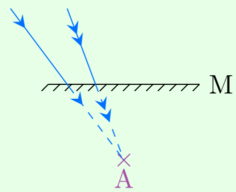
Exercices d'application

Exercice 1) Miroir plan et tracé des rayons

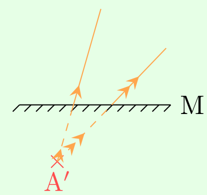
Schéma



Les rayons, incidents, se coupent avant le miroir.



Les rayons, incidents, se coupent après le miroir.



Les rayons, émergents, se coupent après le miroir.

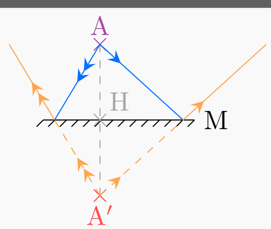
Résultat attendu

Construire les objets et images avec les règles du miroir plan.

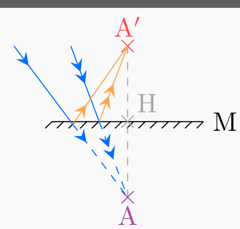
Outils

Image par miroir plan = symétrique. Objet à intersection des indicents, image intersection émergents.

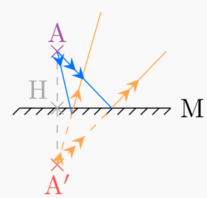
Application



Le symétrique de A donne A' où les rayons émergents se croisent.
A est réel, A' virtuel.



Le symétrique de A donne A' où les rayons émergents se croisent.
A est virtuel, A' réel.

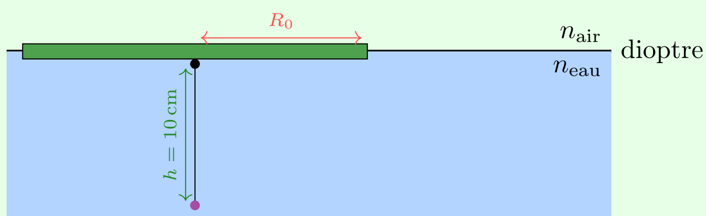


Le symétrique de A' donne A où les rayons incidents se croisent.
A est réel, A' virtuel.

Exercice 2) Une grenouille intelligente

Données

Pour une hauteur de grenouille fixée, il y a une taille de nénuphar permettant à tous les rayons partant de la grenouille de ne pas traverser le dioptre.



But à atteindre

Origine physique de ce phénomène et traduction mathématique.

Outils du cours

Loi de Snell-Descartes :

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

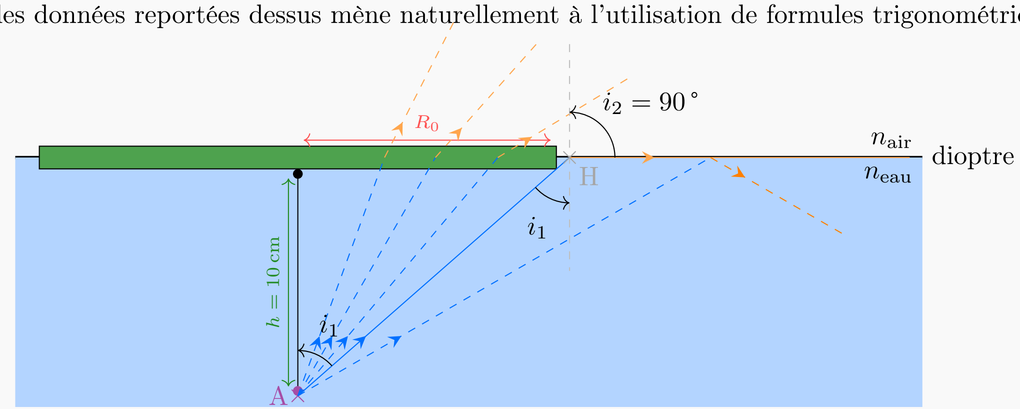
et angle limite de réfraction, tel que :

$$n_1 \sin i_\ell = n_2 \sin 90° = n_2$$

qui indique que pour $n_1 > n_2$, il y a un angle d'incidence à partir duquel il n'y a pas de rayon réfracté (les rayons réfractés font un angle de 90° avec la normale et sont donc parallèles au dioptre).

Application

Pour que les pieds de la grenouille ne soient pas visibles par un prédateur situé en-dehors de l'eau, c'est-à-dire au-dessus du dioptre, il faut simplement qu'il n'y ait pas de rayon partant de ses pieds et qui puissent sortir de l'eau : il faut que tous les rayons avec un angle d'incidence plus faible que cet angle limite soient bloqués par le nénuphar. C'est possible puisqu'on est dans une situation où le rayon passe dans un milieu **moins réfringent**, i.e. $n_2 < n_1$. En effet, dans cette situation il y a une inclinaison du rayon incident qui implique que le rayon émergent est parallèle à la surface, et tous les rayons au-delà de cet angle limite sont tous réfléchis. Un beau, grand schéma avec toutes les données reportées dessus mène naturellement à l'utilisation de formules trigonométriques de $4^{\text{ème}}$.



On voit ici qu'une simple fonction tan permet d'exprimer R_0 :

$$\boxed{\tan i_1 = \frac{R_0}{h}} \tag{2.1}$$

Seulement on n'a pas encore la valeur de i_1. Or, on a déterminé que pour fonctionner l'astuce de la grenouille est d'avoir $i_1 = i_\ell$, et d'après le cours :

$$n_{\text{eau}} \sin i_\ell = n_{\text{air}} \tag{2.2}$$

$$\Leftrightarrow i_\ell = \operatorname{asin} \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{eau}}} \tag{2.3}$$

On peut donc écrire, avec 2.1 et 2.3 :

$$\boxed{R_0 = h \times \tan\left(\text{asin}\,\frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{eau}}}\right) \quad \text{avec} \left\{ \begin{array}{rcl} h & = & 10{,}0\,\text{cm} \\ n_{\text{air}} & = & 1 \\ n_{\text{eau}} & = & 1.33 \end{array} \right.} \tag{2.4}$$

et finalement,

$$\boxed{R_0 = 11{,}4\,\text{cm}} \tag{2.5}$$

Conseil

Pour retenir vos formules trigonométriques, un moyen mnémotechnique :

CAH SOH TOA

pour

$$\cos\alpha = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypothnuse}} \qquad \sin\alpha = \frac{\text{opposé}}{\text{hypothnuse}} \qquad \tan\alpha = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}}$$

Important !

La deuxième plus grosse erreur facile à faire mais cette fois pire que **tout**, c'est d'oublier que :

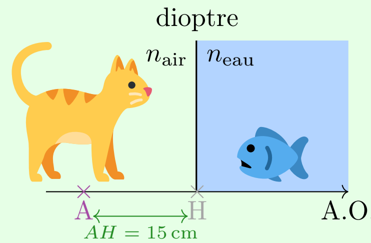
Les angles de la relation de Descartes sont définis entre les rayons et la normale au dioptre !

Il ne faut pas prendre la surface du dioptre comme référence pour définir des angles.

Exercice 3) Le chat et le poisson

Données

1) Aquarium $\equiv$ dioptre plan ;
2) $n_{\text{eau}} = 1.33$, $n_{\text{air}} = 1$;
3) $\overline{HA} = -15\,\text{cm}$.



Résultats attendus

1) Sachant que le poisson observe la lumière partant du chat (point A), que vaut $\overline{HA'}$?
2) Sachant que le <u>chat</u> observe la lumière partant du poisson (point A), que vaut $\overline{HA'}$?

Outils du cours

Relation de conjugaison pour un objet A dans un milieu d'indice n_1, dont l'image A' est dans un milieu d'indice n_2 :

$$\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} = \frac{n_2}{n_1}$$

ou

$$\frac{\overline{HA'}}{n_2} - \frac{\overline{HA}}{n_1} = 0$$

ou

$$0 = \frac{n_2}{\overline{HA'}} - \frac{n_1}{\overline{HA}}$$

qui ressemble « bizarrement » à la relation de conjugaison pour une lentille mince...

Application

1) Dans ce cas, A, le chat, est dans un milieu d'indice $n_1 = 1$; son image par le dioptre plan donne A' dans le milieu d'indice $n_2 = n_{\text{eau}} = 1.33$. On prend le sens de la lumière de l'objet à l'observataire, donc ici de gauche à droite. On adapte la relation de conjugaison :

$$\overline{HA'} = n_{\text{eau}}\overline{HA} = -22{,}5\,\text{cm}$$

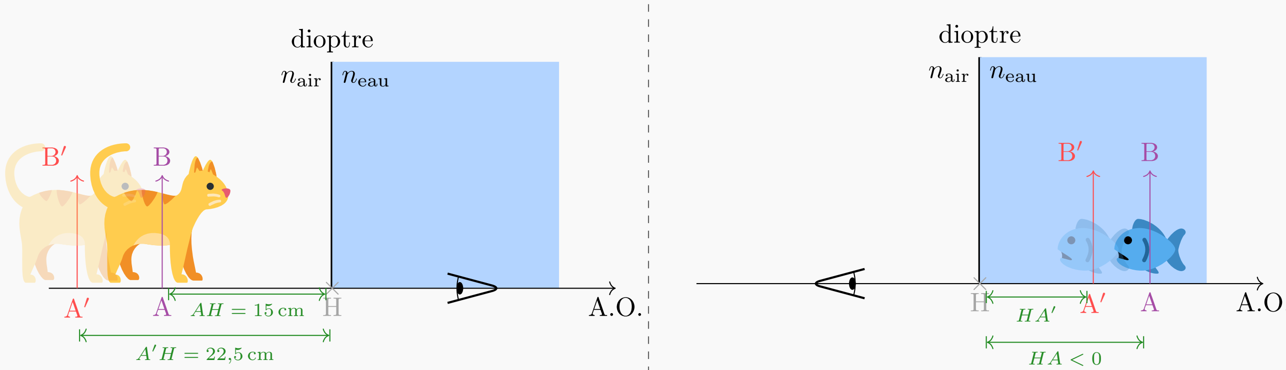
Ainsi, du point de vue du poisson, le chat est plus loin qu'il ne l'est vraiment.

2) Dans ce cas, A, le poisson, est dans un milieu d'indice $n_1 = n_{\text{eau}} = 1.33$, et son image par le dioptre donne A' dans l'air d'indice $n_2 = n_{\text{air}} = 1$. Ici le sens de propagation est de droite à gauche. On réutilise la relation de conjugaison :

$$\overline{HA'} = \frac{\overline{HA}}{n_{\text{eau}}} > \overline{HA}$$

En effet, puisqu'on a posé le sens de propagation de droite à gauche, $\overline{HA} < 0$, et donc $\overline{HA'} > \overline{HA}$ comme $n_{\text{eau}} > 1$. Cela signifie que du point de vue du chat, le poisson est plus près du dioptre qu'il ne l'est vraiment.

Schémas



Conseils

Réécrire les formules telles que dans le cours, **puis** remplacer les données.

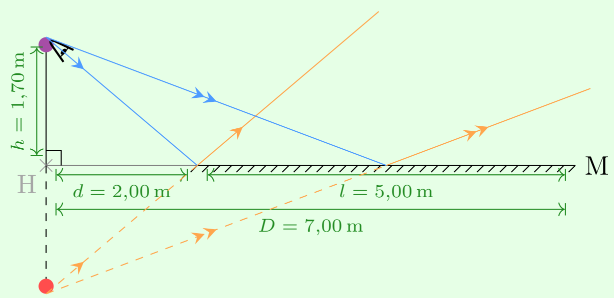
Important

1) Ne pas se tromper sur les grandeurs <u>**algébriques**</u> ;
2) Bien identifier quelle est la source, quæl est l'observataire.

Exercice 4) Champ de vision à travers un miroir plan

4) 1- Propre image

Schéma



Outil

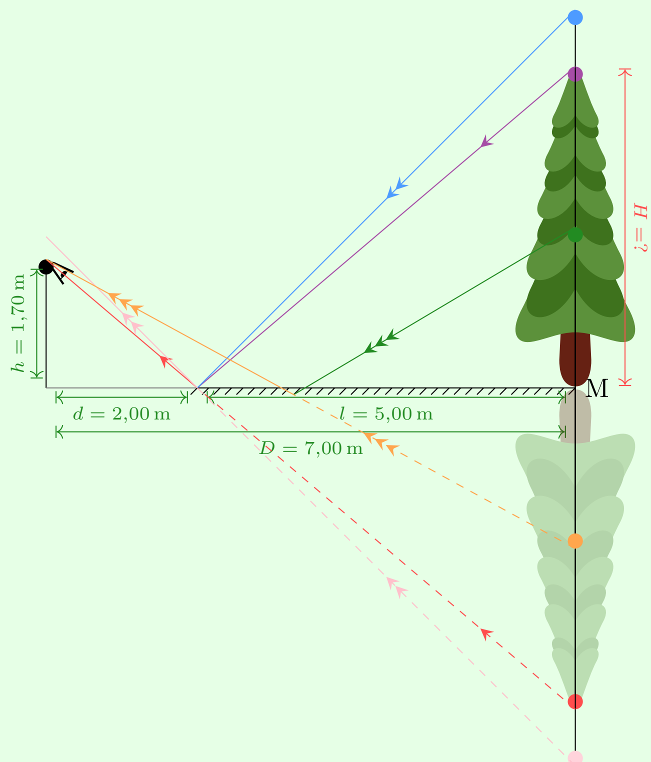
Pour voir une image, il faut qu'un rayon partant de l'image puisse arriver jusqu'à l'œil de l'observataire. Étant donné qu'on travaille avec un miroir, l'image de l'observataire est son symétrique par le plan du miroir (même si le miroir ne s'étend pas jusque-là !).

Application

On voit vite qu'il n'est pas possible qu'un rayon issu de l'image (en rouge) atteigne l'œil (en violet). On comprend par le tracé des rayons réfléchis que seul l'autre côté du lac sera visible.

4) 2- Image arbre

Schéma



Outil

Ici aussi, l'idée est de trouver l'image de l'arbre, et de voir la condition limite pour la taille visible.

Application

Un schéma avec l'image de l'arbre nous permet de voir que le point le plus haut qu'on peut voir par réflexion sur le lac est quand on regarde proche de nous : si on regarde plus loin, on voit en effet plus vers le bas de l'arbre (rayon vert incident, rayon orange émergent). Un arbre qui est trop grand ne sera pas visible en regardant ce point-là (rayon bleu incident, rose émergent). On s'intéresse donc à la construction géométrique formée par le rayon violet incident, rouge émergent, qui nous permet d'appliquer le théorème de Thalès : $\dfrac{H}{l} = \dfrac{h}{d}$, soit

$$\boxed{H = \frac{l \times h}{d}} \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{lcl} l & = & 5{,}00\,\mathrm{m} \\ h & = & 1{,}70\,\mathrm{m} \\ d & = & 2{,}00\,\mathrm{m} \end{array} \right.$$

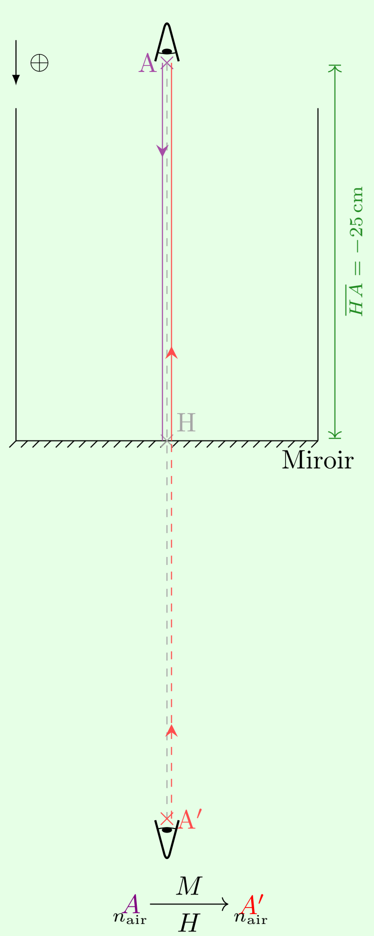
D'où

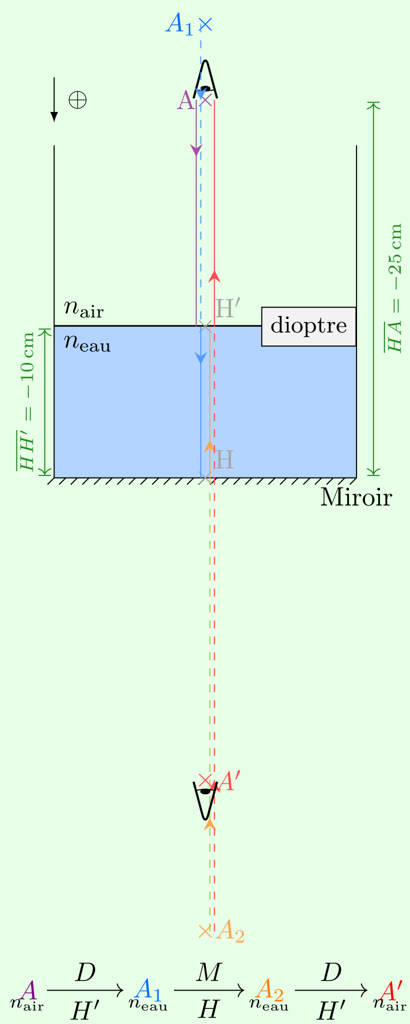
$$\boxed{H = 4{,}25\,\mathrm{m}}$$

Exercices d'entraînement

Exercice 5) Miroir et dioptre plan

Schémas





Résultat attendu

Ici, on demande un changement par rapport à la situation sans eau. Il faut donc étudier les deux situations.

Outils du cours

Relation de conjugaison pour un miroir plan :

$$\overline{HA'} = -\overline{HA}$$

Relation de conjugaison d'un dioptre plan :

$$0 = \frac{n_2}{\overline{HA'}} - \frac{n_1}{\overline{HA}}$$

Important

Il est pratiquement obligé de donner les schémas optiques « réduits » (en bas des schémas ici).

Miroir : image de l'autre côté.

Dioptre plan : image du même côté.

Application

Dans la première situation, $\boxed{\overline{HA'} = -\overline{HA} = 25\,\text{cm}}$.

Dans la seconde, $\overline{H'A_1} = n_{\text{eau}}\overline{H'A} = \underline{-20\,\text{cm}}$ avec $\overline{H'A} = -15\,\text{cm}$ d'abord.

Ensuite $\overline{HA_2} = -\overline{HA_1} = \underline{30\,\text{cm}}$ avec $\overline{HA_1} = -10 - 20 = -30\,\text{cm}$.

Finalement, $\overline{H'A'} = \frac{\overline{H'A_2}}{n_{\text{eau}}} = \underline{30\,\text{cm}}$ avec $\overline{H'A_2} = 10 + 30 = 40\,\text{cm}$.

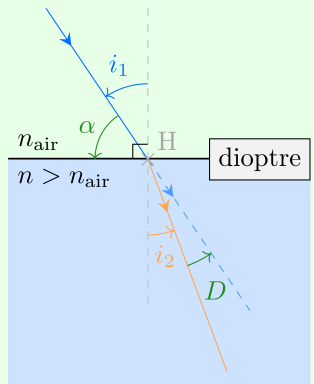
Autrement dit, $\boxed{\overline{HA'} = 20\,\text{cm}}$; l'image s'est donc **rapprochée** de 5 cm.

Exercice 6) Lois de Snell-Descartes

Cet exercice est d'une simplicité absolue. Et pourtant...

Données

1) Rayon incident sur un dioptre entre air et milieu d'indice n : angle avec le dioptre de 56° ;
2) Différence d'angle entre rayon incident et réfléchi (« déviation ») de 13°,5.



Résultat attendu

Indice du liquide.

Outils du cours

Loi de Snell-Descartes :

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

avec n_1 l'indice du milieu d'incidence, n_2 celui du milieu de réfraction, i_1 l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction.

Application

Un bon schéma fait attentivement est **nécessaire** ici. En effet, les angles donnés ne sont pas ceux qu'on utilise dans la relation de Snell-Descartes.

En appelant α l'angle entre le rayon et le dioptre, on a

$$\alpha + i_1 = 90°$$

donc $\boxed{i_1 = 34°}$. Et en appelant D la déviation entre les deux rayons, on a

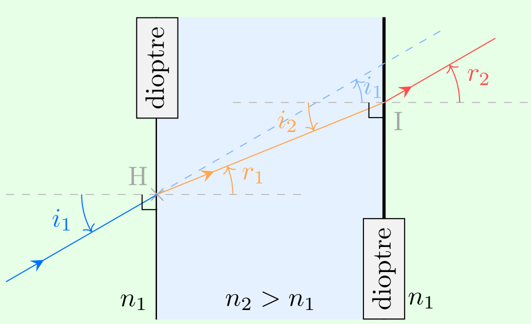
$$i_1 = i_2 + D$$

soit $\boxed{i_2 = 20{,}5°}$. On en déduit donc

$$\boxed{n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}} \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{lcl} i_1 & = & 34° \\ i_2 & = & 20{,}5° \end{array} \right. \quad \text{soit} \quad \boxed{n = 1.6}$$

Exercice 7) Traversée d'une vitre

Schéma



Outils

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin r_1$$

Résultat attendu

Un rayon traversant une vitre va passer de l'air au verre, puis du verre à l'air. Il traverse donc deux dioptres. On doit utiliser Snell-Descartes pour déterminer la direction du rayon émergent et la comparer à celle du rayon incident.

Application

En H : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin r_1$;

Dedans : $i_2 = r_1$;

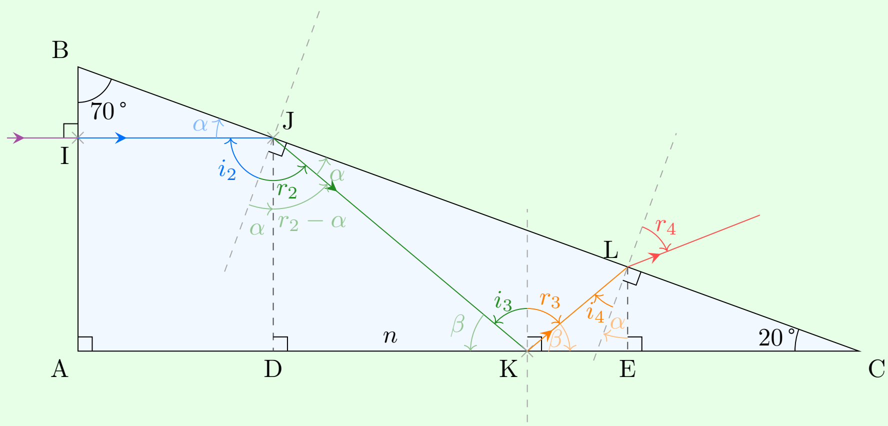
En I : $n_2 \sin i_2 = n_1 \sin r_2$;

Combinaison : $\cancel{n_1} \sin i_1 = \cancel{n_1} \sin r_2$

Finalement, $\boxed{r_2 = i_1}$

Exercice 9) Prisme rectangle

Schéma



$$\mathrm{A} \xrightarrow[I]{\mathrm{DP}} \mathrm{B} \xrightarrow[J]{\mathrm{DP}} \mathrm{C} \xrightarrow[K]{\mathrm{DP}} \mathrm{D} \xrightarrow[L]{\mathrm{DP}} \mathrm{E}$$

Résultat attendu

On cherche à suivre le chemin du rayon indiqué dans l'énoncé. Il faut pour cela savoir ce qui peut arriver au rayon. Dans le cas du passage par un dioptre plan, il peut y avoir traversée du dioptre avec Snell-Descartes, ou réflexion dans le cas $n_2 < n_1$.

Outils du cours

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

et pour $n_2 < n_1$, i_ℓ :

$$n_1 \sin i_\ell = n_2 \sin 90° = n_2$$

tel que $i_1 > i_\ell$ est réfléchi.

Application

Ici, l'angle limite de réflexion à l'intérieur du prisme est :

$$i_\ell = \arcsin \frac{1}{n} = \boxed{41{,}8°}$$

I : $\boxed{i_1 = 0°}$ donc $\boxed{r_1 = 0°}$;

J : Ici, on doit voir que $\alpha = 20°$ puisque dans le triangle BIJ, la somme des angles doit valoir 180° et qu'on a un angle droit + un angle de 70°. On en déduit que $\boxed{i_2 = 70°}$ également, car $i_2 + \alpha = 90°$.

Comme $\underline{i_2 > i_\ell}$, le rayon ne traverse pas mais est réfléchi, soit $\boxed{r_2 = 70°}$.

K : Pour trouver l'angle en K, on peut par exemple chercher l'angle β : en construisant le triangle rectangle JDK, on trouve que l'angle au sommet est $r_2 - \alpha = 50°$; avec l'angle droit en D, $\beta = 40°$, et $\boxed{i_3 = 50° > i_\ell}$ donc rayon réfléchi $\boxed{r_3 = 50°}$.

L : De même qu'en J, tracer LEC indique que $i_4 + \alpha + \beta = 90°$, soit $\boxed{i_4 = 30° < i_\ell}$: on applique donc Snell-Descartes ici, et on obtient

$$\boxed{r_4} = \arcsin(n \times \sin i_4) = \boxed{48{,}6°}$$

Chapitre 3

Instruments d'optique

Exercices d'application

Exercice 1) Tracés de rayons avec association de lentilles

Les associations de lentilles ne présentent pas de difficultés particulières, une fois les techniques de construction maîtrisées (cf. chapitre 1).

1) 1-

Dans ce premier cas, on doit construire l'image d'un objet réel par l'association de deux lentilles convergentes. Il suffit pour cela de construire l'image de l'objet initial $\overline{AB}$ par la lentille L_1, image que l'on appellera $\overline{A_1B_1}$. C'est cette image qui servira d'objet à la lentille L_2, qui en formera l'image finale $\overline{A'B'}$. Pour traduire ce fonctionnement physique, on notera : $\overline{AB} \xrightarrow[O_1]{\mathcal{L}_1} \overline{A_1B_1} \xrightarrow[O_2]{\mathcal{L}_2} \overline{A'B'}$

On procède donc de la même manière que précédemment, en traçant :

1) Le rayon passant par B et par O_1 : il ne sera pas dévié ;

2) Le rayon passant par B et par F_1 : il émerge parallèle à l'A.O. (optionel quand on est sûr-e de ne pas se tromper avec les deux autres rayons) ;

3) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F_1' en sortie.

On obtient un faisceau convergent en sortie de cette lentille, l'intersection des rayons se faisant donc dans leur prolongement dans le sens positif. $\overline{A_1B_1}$ est une image réelle pour L_1.

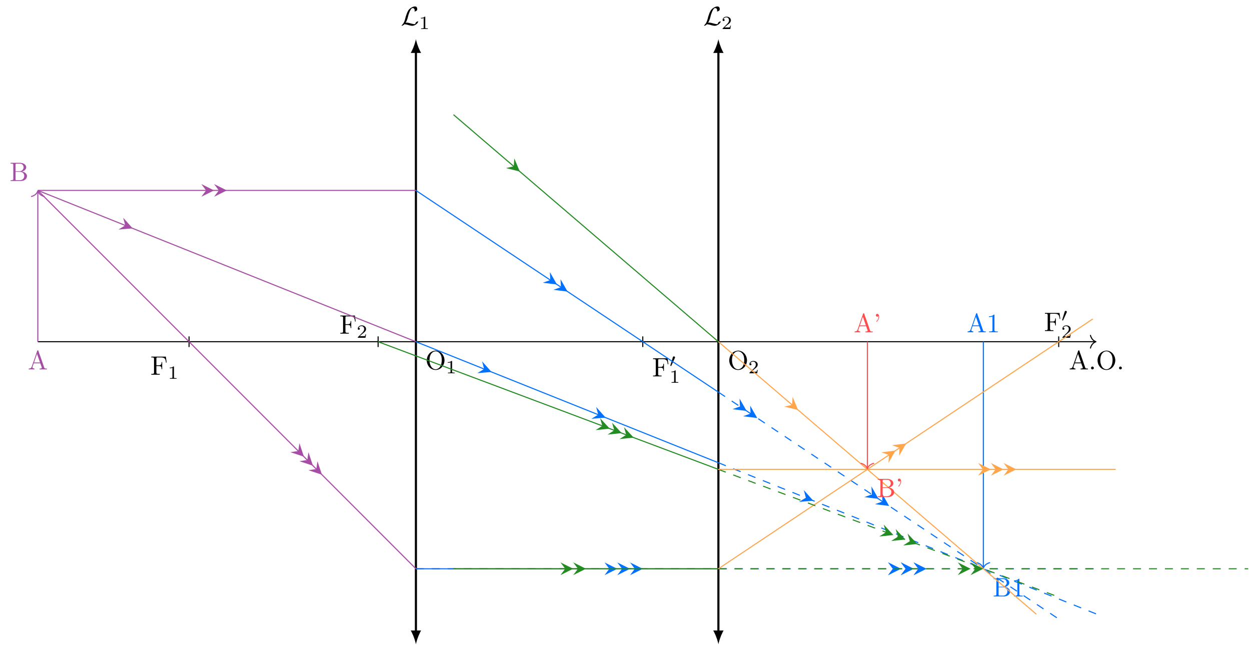
En revanche, cette image, qui est donc l'objet de la lentille L_2, est dans l'espace image de celle-ci : c'est donc un objet virtuel pour L_2. On construit donc son image en trançant :

1) Le rayon passant par B_1 et par O_2 : il ne sera pas dévié ;

2) Le rayon passant par B_1 et par F_2 : il émerge parallèle à l'A.O. (optionnel) ;

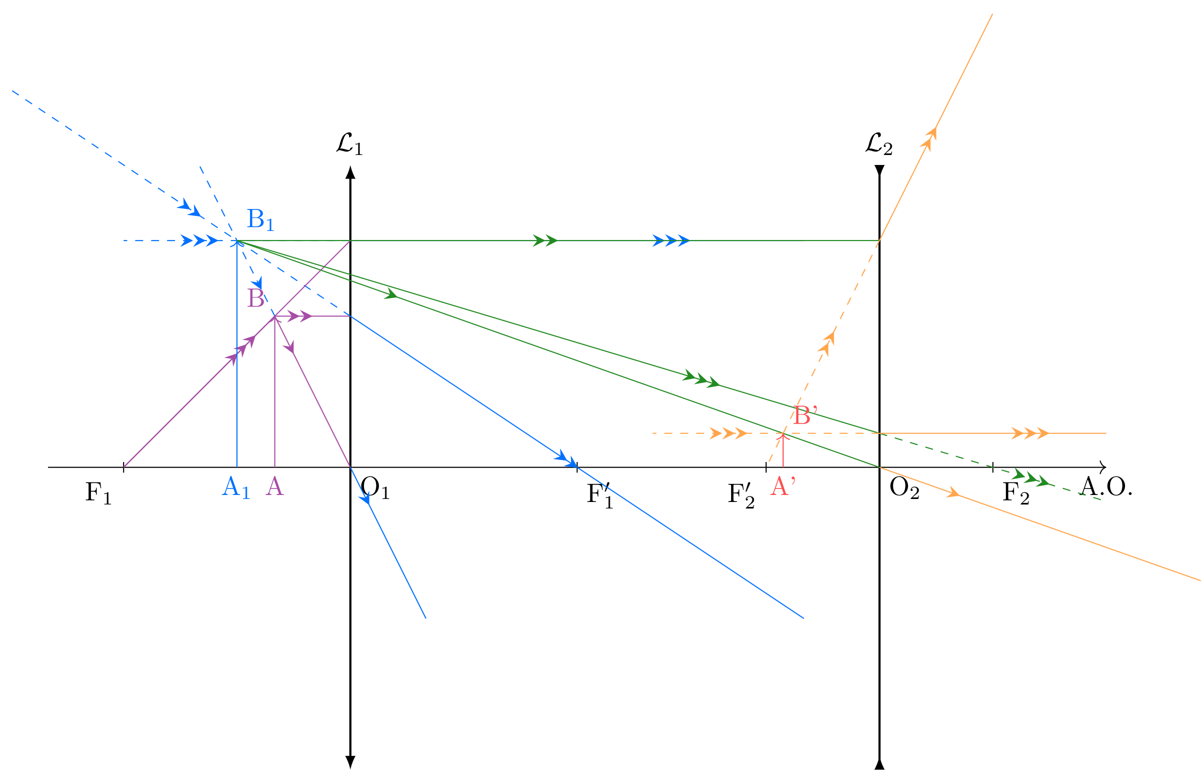
3) Le rayon passant par B_1 et parallèle à l'A.O. : il passe par F_2' en sortie.

On fait partir les rayons de la gauche du système comme s'ils allaient passer par B_1, mais une fois arrivés à la lentille on continue les traits en pointillés pour montrer que ce sont des rayons virtuels. Les rayons émergents suivent les règles de la définition 1.1.1, et donnent un faisceau émergent convergent donnant lieu à une image réelle.



1) 2-

De la même manière, on construit $\overline{A_1B_1}$ à partir de l'action de L_1 sur $\overline{AB}$. C'est la situation 1) 1- c. pour la lentille convergente : on obtient une image virtuelle pour L_1. $\overline{A_1B_1}$ est cependant dans l'espace objet pour L_2, et est donc un objet réel pour L_2. On construit son image comme dans la situation 1) 1- a. pour la lentille divergente, et on obtient une image virtuelle.



Exercice 2) Des lunettes astronomiques

Partie 1

Données

Association de deux lentilles :

1) L_1 « objectif », vergence $C_1 = 3{,}125\,\delta$, diamètre $D = 30\,\text{mm}$;
2) L_2 « oculaire », vergence $C_2 = 25\,\delta$.

2) 1-

Résultat attendu

Focales de lentilles

Outil du cours

Une lentille de focale f' a pour vergence V :

$$V = \frac{1}{f'}$$

Application

$$\boxed{\overline{O_1F_1'} = 32\,\text{cm}}$$

$$\boxed{\overline{O_2F_2'} = 4\,\text{cm}}$$

2) 2- a.

Définition 3.2.1 : Système afocal

Est afocal un système pour lequel un objet initial à l'infini donne une image finale à l'infini.

Interprétation 3.2.1 : Intérêt d'un système afocal

Un système afocal présente comme intérêt de permettre à un œil emmétrope d'observer sans fatigue, étant donné que l'image sortant du système est à l'infini (cf chapitre 1 exercice 4).

2) 2- b.

Résultat attendu

$\overline{O_1O_2}$

Outils du cours

Règles de construction de rayons :

1) Un rayon provenant de l'infini émerge d'une lentille en croisant l'axe optique au plan focal image ;
2) Des rayons se croisant dans le plan focal objet d'une lentille émergent parallèles entre eux.

Relation de Chasles :

$$\overline{O_1O_2} = \overline{O_1F_1'} + \overline{F_1'O_2}$$

Application

Pour que tous les rayons sortant de la lunette soient parallèles entre eux (donnant donc une image à l'infini), il faut que tous les rayons à l'intérieur passent par le plan focal objet de son oculaire.

Or, tous les rayons arrivent dans la lunette parallèles entre eux (objet initial à l'infini) ; il se croisent donc dans le plan focal image de l'objectif.

Pour que la condition soit vérifiée, il faut donc simplement que les plans focaux image de L_1 et objet de L_2 soient confondus ; autrement dit :

$$\boxed{F_1' = F_2}$$

On a alors $\overline{O_1O_2} = \overline{O_1F_1'} + \overline{F_2O_2}$, et finalement

$$\boxed{\overline{O_1O_2} = +36\,\text{cm}}$$

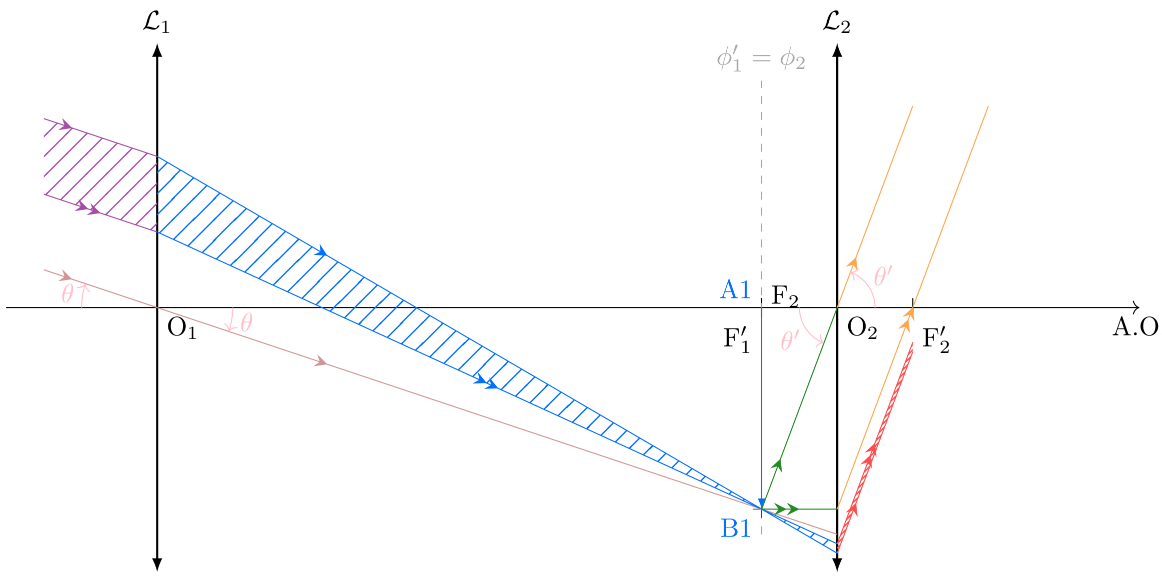
2) 2- c.

Pour cette question, le placement de l'image intermédiaire ne nécessite que le tracé du rayon passant par O_1, étant donné que son intersection avec le plan focal image donnera la position de B_1 :

Rappel

- Deux rayons parallèles avant le système optique se coupent dans le plan focal image ;
- Deux rayons qui se coupent dans le plan focal objet émergent parallèles entre eux.

On peut donc facilement tracer les rayons émergents du « pinceau » (i.e. l'espace entre les deux rayons entrant) puisqu'ils doivent se croiser en B_1. Sur le schéma suivant, les rayons sortant sont également tracés, et cette fois on utilise la seconde partie du rappel précédent : les deux rayons bleus se coupant en B_1 émergent parallèle entre eux, et il suffit de construire un rayon émergent de B_1 (par exemple celui passant par O_2 et qui n'est pas dévié) pour trouver l'angle de sortie.



2) 2- d.

Résultat attendu

Grossissement de la lunette

Outil

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Application

Avec le tracé sur le schéma et en considérant des petits angles, $\theta' = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_2F_2}} > 0$ et $\theta = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_1F'_1}} < 0$, soit

$$G = \frac{f'_1}{-f'_2} = -8$$

Attention

Pour bien voir si un angle est positif ou négatif, il faut se donner un sens dans lequel compter positivement, tracer les angles depuis l'axe optique jusqu'au rayon pour voir le changement de direction et dans la formule trigonométrique utiliser les grandeurs dans le bon sens.

2) 3- a.

Définition 3.2.2 : Cercle oculaire

On appelle cercle oculaire l'image de la monture de l'objectif donnée par l'oculaire.

Interprétation 3.2.2 : Utilité du cercle oculaire

Il correspond à la section la plus étroite du faisceau sortant de l'oculaire, où l'œil reçoit le maximum de lumière.

2) 3- b.

Résultat attendu

$\overline{O_2C'_k}$

Outil du cours

Par définition, C'_k est l'image de O_1 par L_2. On va donc se servir de la relation de conjugaison d'une lentille mince :

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

Application

On a ici $O \equiv O_2$, $F' \equiv F'_2$, $A \equiv O_1$ et $A' \equiv C'_k$. On a donc :

$$\frac{1}{\overline{O_2F'_2}} = \frac{1}{\overline{O_2C'_k}} - \frac{1}{\overline{O_2O_1}}$$

et après calculs :

$$\boxed{\overline{O_2C'_k} = \left[\frac{1}{\overline{O_2O_1}} + \frac{1}{\overline{O_2F'_2}}\right]^{-1} = +4{,}5\,\text{cm}}$$

2) 3- c.

Résultat attendu

D'_k

Outil du cours

Le diamètre du cercle oculaire s'apparente à la taille d'un objet. On peut donc utiliser le grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Application

Avec les données de l'énoncé, on obtient :

$$\gamma = \frac{D'_k}{D} = \frac{\overline{O_2C'_k}}{\overline{O_2O_1}}$$

et finalement

$$\boxed{D'_k = D \times \frac{\overline{O_2C'_k}}{\overline{O_2O_1}} = 3{,}75\,\text{mm}}$$

Partie 2

2) 4-

Si l'oculaire est divergent, cela signifie que $C_3 < 0$. On a donc $C_3 = -C_2$, d'où le résultat demandé.

2) 5-

On reprend la question 2) b-, avec cette fois des indices « 3 » au lieu des indices « 2 », et on obtient :

Application

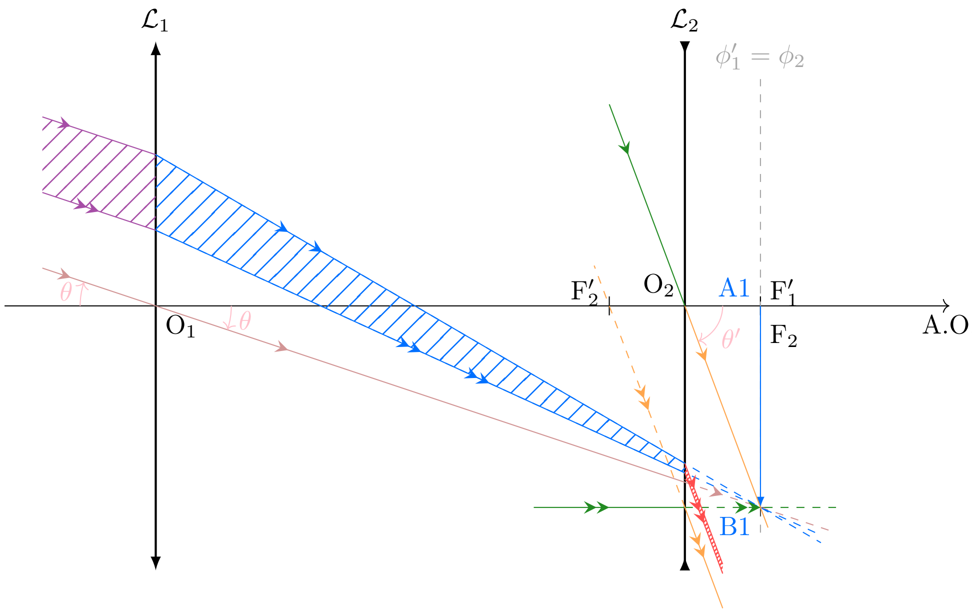
$\overline{O_1O_3} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F_3O_3}$ avec $\overline{F_3O_3} = \overline{O_3F'_3} = -4\,\text{cm}$, d'où

$$\boxed{\overline{O_1O_3} = +28\,\text{cm}}$$

Interprétation 3.2.3 : Intérêt

La lunette de Galilée est donc plus compacte que la lunette de Kepler !

2) 6-



2) 7- a.

On reprend la question 2) 3- b., avec des indices « 3 » au lieu de « 2 », et on obtient :

Application

$$\boxed{\overline{O_3C'_k} = -3{,}5\,\text{cm}}$$

Comparaison

On a cette fois un cercle oculaire virtuel. Il faudra placer son œil le plus près possible de l'oculaire pour espérer avoir le plus de lumière possible.

2) 7- b.

On reprend la question 2) 3- c. :

Application

$$\boxed{D'_k = 3{,}75\,\text{mm}}$$

2) 8- Comparaison

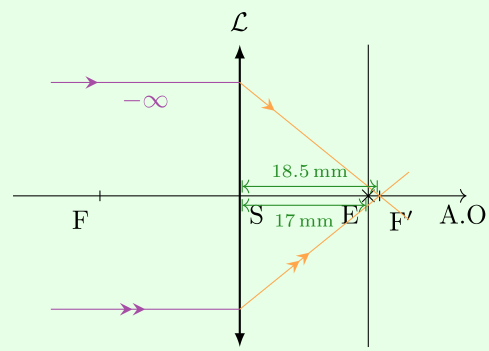
	Avantages	Inconvénients
Lunette Galilée	+ compacte image droite	cercle oculaire virtuel
Lunette Kepler	Grande clarté Cercle oculaire réel	- compacte image renversée

Exercice 3) L'œil hypermétrope et sa correction

Données

- Œil = lentille $(\mathcal{L}, S)$;
- $\overline{SE} = 17\,\text{mm}$;
- $\overline{SA} = -\infty \Rightarrow \overline{SA'} = \overline{SE} + 1{,}5\,\text{mm}$

Schéma



3) 1-

Résultat attendu

$\overline{SF'}$

Outil

On trouve le point focal image d'un système en étudiant l'image d'un objet à l'infini.

Application

Ici, la lecture de l'énoncé donne directement la réponse : le point focal image et 1,5 mm derrière la rétine. On a donc

$$\overline{SF'} = 18{,}5\,\text{mm}$$

3) 2-

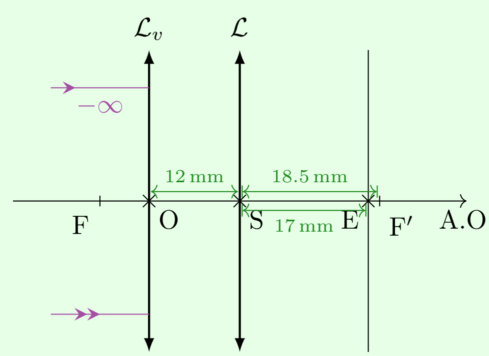
L'œil n'est pas assez convergent, il faudrait que les rayons se croisent plus tôt sur l'axe optique pour que l'image se forme sur la rétine. Il faut donc corriger avec des lentilles correctrices convergentes.

3) 3-

Données

- Verre lunette = $(\mathcal{L}_v, O)$;
- $\overline{OS} = 12\,\text{mm}$;
- $\overline{AB} \xrightarrow[O]{\mathcal{L}_v} \overline{A_1B_1} \xrightarrow[S]{\mathcal{L}} \overline{A'B'}$

Schéma



3) 3- a.

Rappel

L'image doit se former sur l'écran de la lentille, autrement dit la rétine : avec $\overline{AB} = -\infty$ on doit avoir $A' = E$.

3) 3- b.

Résultat attendu

Utiliser le fonctionnement physique du système pour déterminer comme associer la lunette à l'œil.

Important !

Attention, **seul** le remotum[6] de l'œil emmétrope est à l'infini. Vérifiez bien vos définitions.

Application

$$\overline{AB} \xrightarrow[\text{O}]{\mathcal{L}_v} \overline{A_1B_1} \xrightarrow[\text{S}]{\mathcal{L}} \overline{A'B'}$$

$-\infty$ $A_1 = F'_v$ $A' = E$

$A_1 = R$

On a donc $A_1 = F'_v = R$.

3) 4-

Résultats attendus

On cherche $\overline{OF'_v}$ sachant que $F'_v = R$: l'idée est donc de trouver R de l'œil connaissant sa distance focale et la distance œil-écran

Outil

On va donc utiliser la formule de conjugaison d'une lentille mince :

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

Application

Avec les données de l'exercice, on a

$$\frac{1}{\overline{SF'}} = \frac{1}{\overline{SE}} - \frac{1}{\overline{SR}}$$

Soit

$$\boxed{\overline{SR} = \frac{\overline{SE}\,\overline{SF'}}{\overline{SF'} - \overline{SE}} \quad \text{avec} \left\{ \begin{array}{lcl} \overline{SE} & = & 17\,\text{mm} \\ \overline{SF'} & = & 18{,}5\,\text{mm} \end{array} \right.} \tag{3.1}$$

Et

$$\boxed{\overline{SR} = 209\,\text{mm}}$$

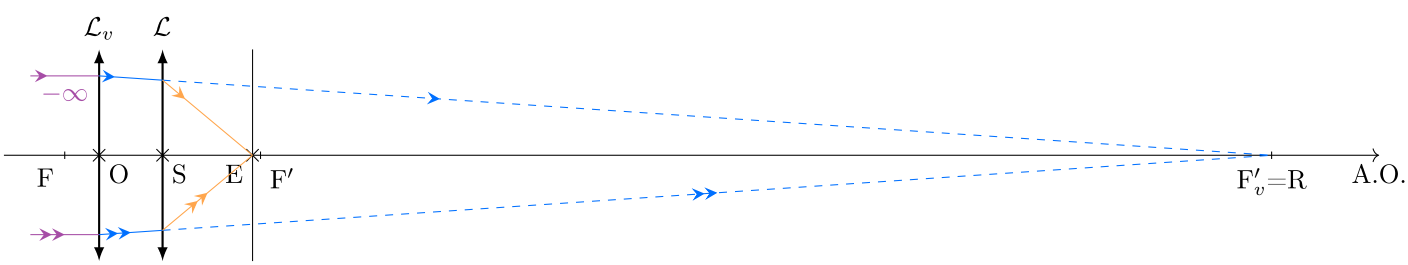
Avec la compisition des distances et comme $F'_v = R$, on a finalement

$$\boxed{\overline{OF'_v} = \overline{OS} + \overline{SR} = 12 + 209 = 221\,\text{mm}}$$

Soit $\boxed{V_{\text{verre}} = +4{,}51\,\delta}$

3) 4- a.

On a donc



Exercice 4) Ordonnance d'un ophtalmologiste

Définitions

L'ophtalmologiste donne une prescription pour fabriquer des verres correcteurs. Les valeurs correspondent donc aux caractéristiques et verres nécessaires à la correction.

Outil

$f' = 1/V$, et pour une lentille convergente $f' > 0$.

Application

Les verres correcteurs sont donc divergents. On en conclue que M. Dupont a des yeux trop convergents, et qu'il est donc myope.

Exercice 5) Image à travers un doublet de lentilles

Données

- $(\mathcal{L}_1, O_1, f'_1 = 2{,}0\,\text{cm})$;
- $\overline{O_1O_2} = +6{,}0\,\text{cm}$;
- $(\mathcal{L}_2, O_2, f'_2 = 2{,}0\,\text{cm})$;
- $(AB) = 1\,\text{cm}$;
- $\overline{O_1A} = -6{,}0\,\text{cm}$

Outils

$$\overline{AB} \xrightarrow[O_1]{\mathcal{L}_1} \overline{A_1B_1} \xrightarrow[O_2]{\mathcal{L}_2} \overline{A'B'}$$

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}}$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

$$\gamma_{\text{combinaison}} = \gamma_1 \times \gamma_2$$

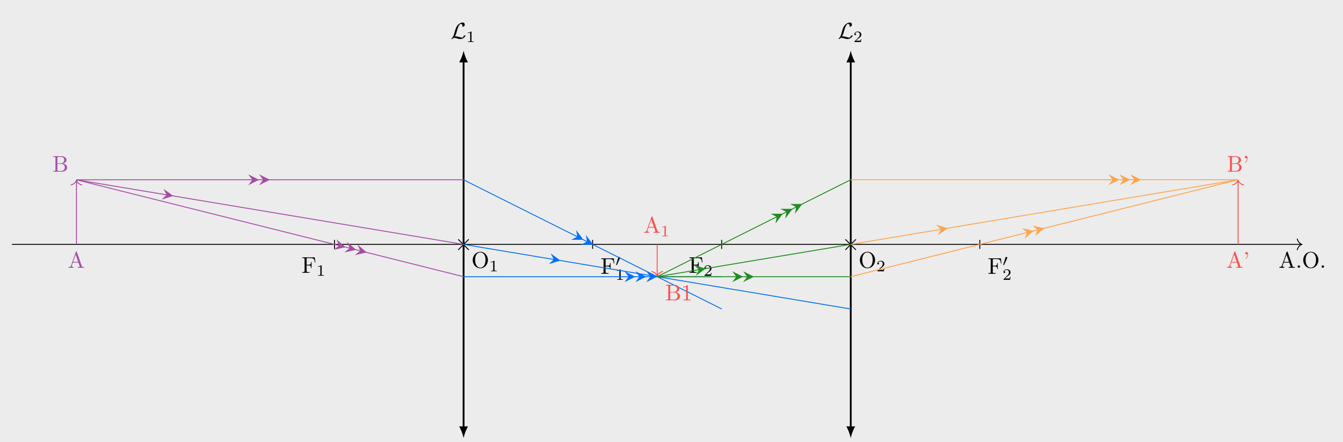
Application

$\overline{O_1A_1} = 3\,\text{cm}$, $\overline{O_2A_1} = -3\,\text{cm}$ donc $\boxed{\overline{O_2A'} = 6\,\text{cm}}$;

$\gamma_{\text{doublet}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} \times \frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}} = +1$ donc

$\boxed{(\overline{A'B'}) = (\overline{AB})}$

Schéma



Exercice 6) Une lunette astronomique

Non traité.

Exercice 7) Les défauts de l'œil

Donnée générale

7) 1- Œil myope

Données

Avec les données sur le champ de vision :

- $\overline{SR} = -1\,\mathrm{m}$
- $\overline{SP} = -30\,\mathrm{cm}$

De plus, on a $(\mathcal{L}_v, O_v, V_v = -1\,\delta)$.

Outil

Pour l'œil au repos : $\overline{AB} \xrightarrow[O_v]{\mathcal{L}_v} \overline{A_1B_1} \xrightarrow[S]{\mathcal{L}} \overline{A'B'}$

$? \longrightarrow A_1 = R \longleftarrow A' = E$

Notes

[6]remotum : point de l'espace qu'un œil, emmétrope ou non, voit net sans accomoder. Pour l'œil hypermétrope, il se situe derrière l'œil.

Chapitre 4

Dioptres et miroirs sphériques

Exercices d'application

Exercice 1) Miroir sphérique

Données

1) $\overline{SC} = +10\,\text{cm}$;
2) Conditions de Gauss vérifiées.

1) 1-

Résultat attendu

$$\overline{SF} \quad \text{et} \quad \overline{SF'}$$

Outil du cours

1) Relation de conjugaison pour un miroir sphérique :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

2) $F = F'$ pour un miroir sphérique.

Application

Le foyer image est défini comme étant le point en lequel converge un rayon incident venant de l'infini et parallèle à l'A.O. On a donc $\overline{SA} = +\infty$ et la relation de conjugaison donne directement :

$$\boxed{\overline{SF} = \overline{SF}' = \frac{\overline{SC}}{2} = 5\,\text{cm}}$$

1) 2-

Données

1) $\overline{SA} = -5\,\text{cm}$
2) $(AB) = 1\,\text{cm}$

1) 2- a.

Résultat attendu

1) $\overline{SA'} = ?$
2) $\overline{A'B'} = ?$

Outil du cours

1) Relation de conjugaison pour un miroir sphérique :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

2) Grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

Application

1)

$$\boxed{\overline{SA'} = \left[\frac{2}{\overline{SC}} - \frac{1}{\overline{SA}}\right]^{-1} = +2{,}5\,\text{cm}}$$

2)

$$\boxed{\overline{A'B'} = \overline{AB} \times \left(\frac{-\overline{SA'}}{\overline{SA}}\right) = 0{,}5\,\text{cm}}$$

1) 2- b.

On a $\overline{SA'} > 0$: l'image se trouve derrière le miroir et est donc <u>virtuelle</u>.

1) 3-

Pour déterminer le rayon émergent d'un rayon incident quelconque, on applique les règles 3) et 4) de 1.1.2 : on trace un autre rayon indicent parallèle au premier, qui soit un rayon particulier dont on sait tracer le rayon émergent (passant par C par exemple). On sait alors que les deux rayons émergents doivent se croiser au même point dans le plan focal objet.

Exercice 2) Lentille épaisse

Données

1) Association de deux dioptres ;
2) $n = 1.5$;
3) $O \equiv C$;
4) $\overline{SC} = -15\,\text{cm}$.

2) 1-

L'objet $\overline{AB}$ passe par un dioptre plan et par un dioptre sphérique.

2) 2-

Données

$\overline{CA} = -6\,\text{cm}$

Résultat attendu

1) $\overline{CA}$ ou $\overline{SA'}$ a priori ;
2) γ.

Outils du cours

1) Relation de conjugaison pour un dioptre sphérique dont l'objet A est dans un milieu d'indice n_1 et l'image A' est dans un milieu d'indice n_2 :
$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$
2) Relation de conjugaison pour un dioptre plan dont l'objet A est dans un milieu d'indice n_1 et l'image A' dans un milieu d'indice n_2 :
$$\frac{\overline{OA'}}{n_2} - \frac{\overline{OA}}{n_1} = 0$$
3) Grandissement pour un dioptre plan :
$$\gamma_{\text{DP}} = 1$$
4) Grandissement pour un dioptre sphérique :
$$\gamma_{\text{DS}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n_1}{n_2}\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

Application

1) Dans notre cas, en partant de l'objet $\overline{AB}$ dans l'air d'indice 1, donnant une image $\overline{A_1B_1}$ dans le verre d'indice n et en appelant C le sommet du dioptre plan, la première relation de conjugaison donne :
$$\boxed{\frac{1}{\overline{CA}} = \frac{n}{\overline{CA_1}} = -9\,\text{cm}}$$
On part ensuite de $\overline{A_1B_1}$ en tant qu'objet dans un milieu d'indice n, formant une image $\overline{A'B'}$ dans un milieu d'indice 1 passant par un dioptre sphérique. La relation de conjugaison donne alors :
$$\boxed{\frac{1}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA_1}} = \frac{1-n}{\overline{SC}}}$$
Il nous manque a priori la valeur de $\overline{SA_1}$, mais une simple relation de Chasles nous donne $\overline{SA_1} = \overline{SC} + \overline{CA_1} = -24\,\text{cm}$. En isolant $\overline{SA'}$, on obtient :
$$\boxed{\overline{SA'} = \left[\frac{n}{\overline{SA_1}} - \frac{n-1}{\overline{SC}}\right]^{-1} = -34\,\text{cm}}$$
2) $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}}\frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$. Sachant que le grandissement d'un dioptre plan, ici $\frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$, est égal à 1, et qu'on a $\gamma_{\text{DS}} = \frac{n}{1}\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA_1}}$, on obtient
$$\boxed{\gamma = 2.1}$$

Important ! !

On l'a vu mardi 08 octobre, deux choses sont **nécessaires** pour réussir un exercice de ce genre :

1) Connaître ses relations de conjugaisons ;
2) Savoir appliquer les formules théoriques au cas pratique de l'énoncé.

Quand on écrit une formule de conjugaison, il faut toujours penser à quel cas il s'applique. On a l'habitude de nommer n_2 le second milieu, et l'haibtude de passer de l'air au verre par exemple, et il est facile de se tromper dans les indices des milieux utilisés. Une méthode sûre pour ne pas se tromper, quitte à perdre du temps, consiste à faire le schéma de l'application théorique de la relation de conjugaison avec les n_2 et n_1, puis d'appliquer les données de l'énoncé par dessus, pour chaque relation de conjugaison.

Exercice 3) Télescope de Newton

Données

1) Miroir sphérique de $\overline{SC} = 16\,\mathrm{m}$;
2) Observation du Soleil :
   - objet à l'infini ;
   - Conditions de Gauss ;
   - $\theta = 0{,}^\circ 5$

3) 1-

Résultat attendu

1) $\overline{O_1A_1}$?
2) $\overline{A_1B_1}$?

Outils du cours

1) Objet à l'infini se forme sur le plan focal image ;
2) Foyers objet et image confondus pour un miroir sphérique ;
3) Relation de conjugaison avec origine au sommet :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

Application

1) On observe le Soleil, considéré comme un objet à l'infini : d'un objet AB on obtient un objet A_1B_1 dont A_1 est confondu avec F'. L'utilisation de la relation de conjugaison avec origine au sommet, en nommant ici O_1 notre sommet comme indiqué sur l'énoncé, nous donne directement :

$$\boxed{\overline{O_1A_1} = \overline{O_1F'} = \frac{\overline{O_1C}}{2} = 8\,\mathrm{m}}$$

2) Pour la taille, on sait qu'elle se forme sur F', et on a l'angle de visée. En traçant un rayon d'angle θ passant par le centre du miroir, et qui n'est donc pas dévié, on forme un triangle rectangle avec $\overline{A_1B_1}$ et $\overline{A_1C}$. On a donc $\tan\theta = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{A_1C}}$ et finalement comme $A_1 = F' = F$ et qu'on connaît $\overline{F'C}$:

$$\boxed{\overline{A_1B_1} = \tan\theta \times \overline{A_1C} = 7\,\mathrm{cm}}$$

3) 2-

Données

1) Miroir plan ;
2) $\overline{O_2F} = 20\,\mathrm{cm}$.

Résultats attendus

1) Nature ?
2) $\overline{O_2A_2}$?
3) (A_2B_2) ?

Outils du cours

1) Si l'intersection des rayons émergents (dans le sens de la propagation des rayons ou non), c'est-à-dire là ou se forme l'image, est derrière le miroir (i.e. derrière la face réfléchissante), l'image est virtuelle. Si elle est devant, l'image est réelle. Il en vaut de même pour un objet.
2) L'action d'un miroir plan sur un objet est d'en faire l'image en symétrique par rapport à son plan.

Application

1) Sur le schéma de l'énoncé, le foyer image du miroir M_1 est derrière le miroir M_2. Or, nous avnos déterminé que c'était là que se formait l'image d'un objet $\overline{AB}$ par M_1. L'image $\overline{A_1B_1}$ pour M_1 et donc l'objet $\overline{A_1B_1}$ pour M_2 est derrière M_2, et $\overline{A_1B_1}$ est un objet virtuel pour M_2.

   Le miroir plan en fait le symétrique par rapport à son plan ; cette image est donc devant le miroir, et $\overline{A_2B_2}$ est ainsi réelle.

2) Par définition du symétrique, la norme d'un vecteur est conservée après action du miroir. En particulier, $\underbrace{\overline{O_2A_1}}_{\text{avantmiroir}} = \underbrace{\overline{O_2A_2}}_{\text{aprsmiroir}}$, mais comme $A_1 = F' = F$ et qu'on nous a donné $\overline{O_2F}$, on a immédiatement :

$$\boxed{\overline{O_2A_2} = \overline{O_2F} = 20\,\text{cm}}$$

3) De même qu'au point précédent, un miroir conserve les distances. On a donc directement :

$$\boxed{(A_2B_2) = (A_1B_1) = 7\,\text{cm}}$$

3) 3- a-

Données

1) Lentille convergente ;
2) $\overline{O_3F_3'} = 4\,\text{cm}$;
3) Les rayons émergent parallèles entre eux (« L'observateur-ice vise à l'infini »).

Résultats attendus

$\overline{O_2O_3}$?

Outils du cours

1) Des rayons qui se croisent dans le plan focal objet ressortent parallèles à l'axe optique (et inversement) ;
2) Relation de Chasles.

Application

L'énoncé nous indique donc que l'objet sur lequel agit L_3 se situe sur son plan focal objet. Or, cet objet pour L_3 n'est autre que l'image produite par M_2, $\overline{A_2B_2}$, et on en déduit que A_2 est confondu avec F_3. Il nous reste à écrire que $\overline{O_2O_3} = \overline{O_2F_3} + \overline{F_3O_3}$ et dire que $\overline{F_3O_3} = \overline{O_3F_3'}$ pour finalement avoir :

$$\boxed{\overline{O_2O_3} = \overline{O_2A_2} + \overline{O_3F_3'} = 20 + 4 = 24\,\text{cm}}$$

3) 3- b-

En formant un rayon depuis B_2 et passant par O_3, on forme un triangle rectangle entre $\overline{A_2B_2}$ et $\overline{F_3O_3}$ étant donné que $A_2 = F_3$. On a ainsi

$$\boxed{\tan\theta' = \frac{A_2B_2}{F_3O_3} \Leftrightarrow \theta' = 66{,}8^\circ}$$

3) 3- c-

Résultat attendu

Grossissement

Outil du cours

$G = \frac{\theta'}{\theta}$

Application

$$\boxed{G = \frac{\theta'}{\theta} = 113.6}$$