CHAPITRE

1

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-

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 :

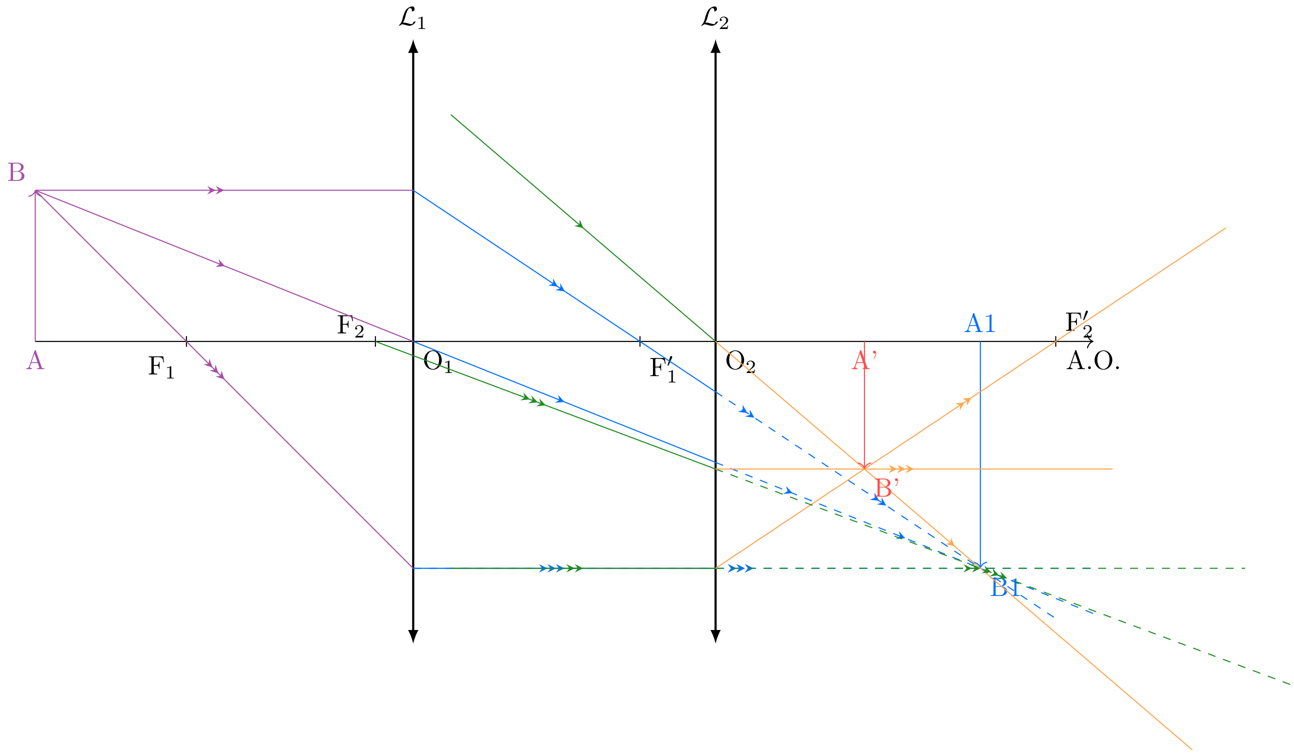
1) Le rayon passant par B et par O_1 : il ne sera pas dévié ;
2) Le rayon passant par B et par F_1 : il émerge parallèle à l'A.O. (optionel quand on est sûr-e de ne pas se tromper avec les deux autres rayons) ;
3) Le rayon passant par B et parallèle à l'A.O. : il passe par F_1' en sortie.

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 :

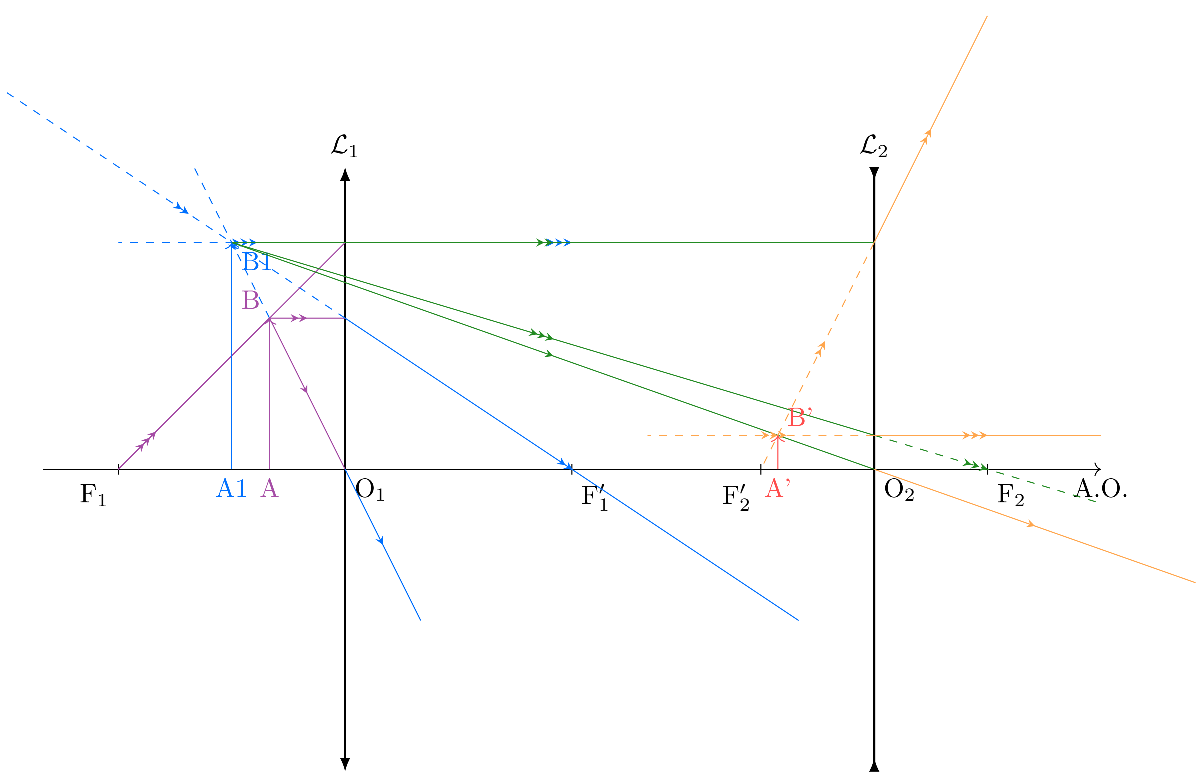
1) Le rayon passant par B_1 et par O_2 : il ne sera pas dévié ;
2) Le rayon passant par B_1 et par F_2 : il émerge parallèle à l'A.O. (optionnel) ;
3) Le rayon passant par B_1 et parallèle à l'A.O. : il passe par F_2' en sortie.

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 **??**, 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 1.2.1 : Système afocal

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

Interprétation 1.2.1 : 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

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

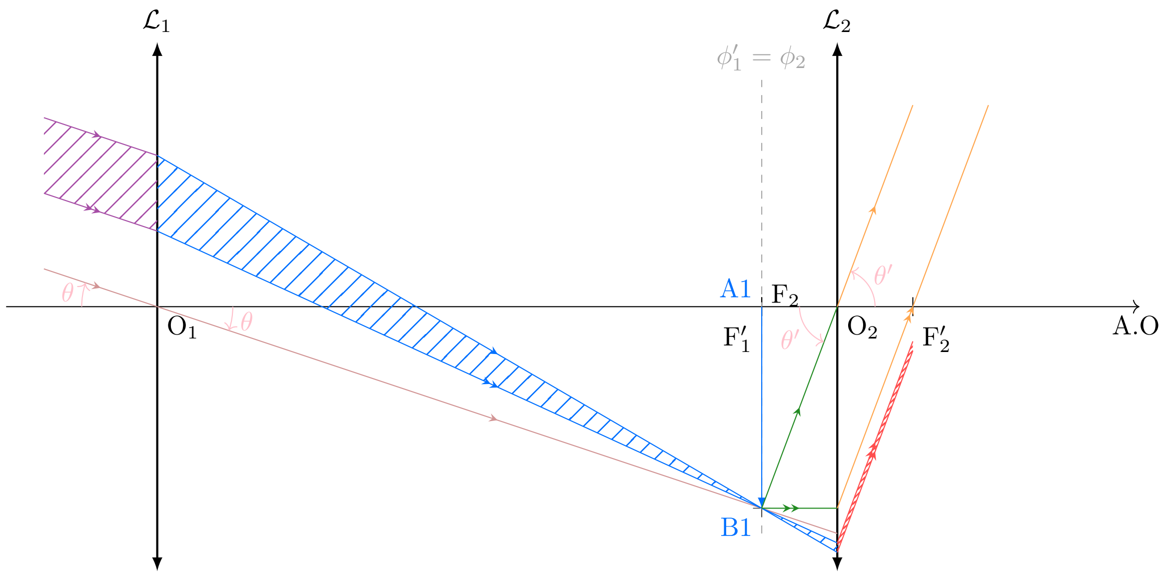
2) 2- c.

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, $\theta' = \dfrac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_2F_2}} > 0$ et $\theta = \dfrac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_1F'_1}} < 0$, 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 1.2.2 : Cercle oculaire

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

Interprétation 1.2.2 : 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

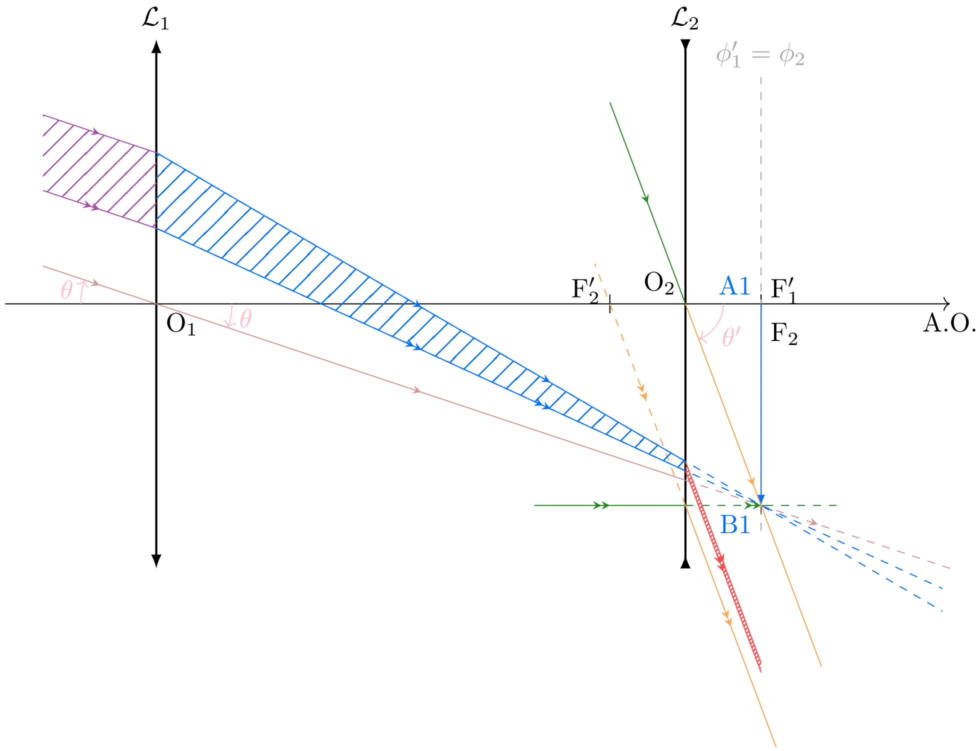
$\overline{O_1O_3} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F_3O_3}$ avec $\overline{F_3O_3} = \overline{O_3F'_3} = -4\,\text{cm}$, d'où

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

Interprétation 1.2.3 : 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

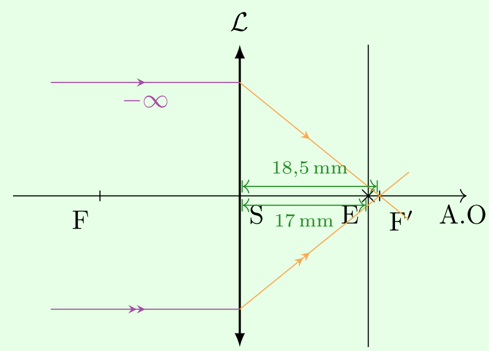
	Avantages	Inconvénients
Lunette Galilée	+ compacte image droite	cercle oculaire virtuel
Lunette Kepler	Grande clarté Cercle oculaire réel	- compacte image renversée

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-

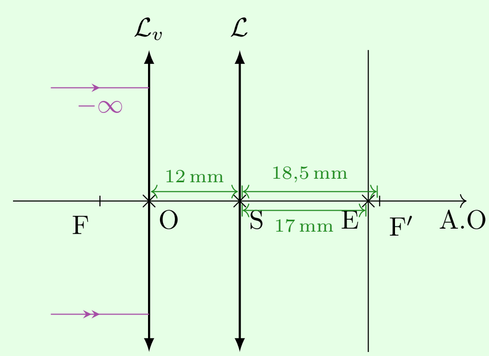
L'œil n'est pas assez convergent, il faudrait que les rayons se croisent plus tôt sur l'axe optique pour que l'image se forme sur la rétine. Il faut donc corriger avec des lentilles correctrices convergentes.

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[1] de l'œil emmétrope est à l'infini. Vérifiez bien vos définitions.

Application

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

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

$$A_1 = R$$

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

$$\boxed{\overline{SR} = \frac{\overline{SE}\,\overline{SF'}}{\overline{SF'} - \overline{SE}} \quad \text{avec} \left\{ \begin{array}{lcl} \overline{SE} & = & 17\,\text{mm} \\ \overline{SF'} & = & 18{,}5\,\text{mm} \end{array} \right.} \tag{1.1}$$

Et

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

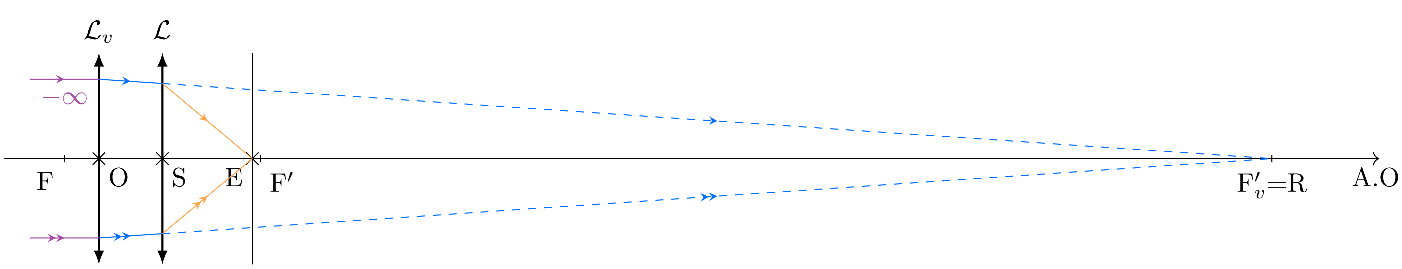
Avec la compisition des distances et comme $F'_v = R$, on a finalement

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

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

3) 4- a.

On a donc



Notes

[1] 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.