

Chapitre 2 - Relation de conjugaison des lentilles minces

Manuel pages 28 à 45

Choix pédagogiques

Ce deuxième chapitre est indissociable du premier. Il reprend le modèle des lentilles minces qu'il complète en introduisant les relations de conjugaison et de grandissement et il explique le fonctionnement de l'œil à partir du modèle de l'œil réduit. Ces deux chapitres sont, par contre, complètement indépendants de tous les chapitres de la partie "Observer", et ils peuvent être traités au début de l'année, comme nous le proposons, ou à la fin du premier thème.

Il existe trois grandes parties dans ce chapitre :

- Utiliser les relations de conjugaison et de grandissement ;
- Modéliser l'accommodation du cristallin ;
- Pratiquer une démarche expérimentale pour comparer les fonctionnements optiques de l'œil et de l'appareil photographique.

Ces trois parties sont illustrées par trois photographies en double page d'ouverture.

Des animations et des simulations ont été créées pour illustrer ce chapitre et aider à sa compréhension. Elles sont disponibles dans le manuel numérique enrichi.

Double page d'ouverture

Astronaute en apesanteur équipé d'une caméra de technologie IMAX®.

La première photographie représente un astronaute équipé d'une caméra IMAX®. En voyant la taille de l'instrument, on peut se dire qu'il a bien de la chance d'être en apesanteur mais la question posée porte plus sur l'optique que sur le poids. Pour l'instant, nous savons déterminer la position d'une image par construction graphique. On se rend bien compte que si le système optique est un peu complexe, la construction graphique va être longue et délicate. L'activité 1 va apporter une réponse rassurante aux élèves.

Cette lentille convergente est un verre progressif

La deuxième photographie illustre le fonctionnement de l'œil ou plutôt son absence de fonctionnement puisque c'est lorsque le cristallin n'accommode plus que les verres progressifs sont utiles. Même si les élèves ne portent pas encore de verres progressifs, ils les connaissent, Les indications portées sur la photographie (vision de près, vision de loin) doivent les aider à répondre à la question.

Le réalisateur Luc Jacquet sur le tournage du film *La Marche de l'Empereur*

Cette dernière photographie a été prise lors du tournage du magnifique film "La Marche de l'Empereur", la question qui l'accompagne a pour objectif de lancer la discussion sur le fonctionnement comparé de l'œil et de l'appareil photographique.

Découvrir et réfléchir

Activité expérimentale 1. Détermination de la position d'une image

Commentaires

Il n'est pas question de faire découvrir la relation de conjugaison à partir de mesures car une relation entre les inverses des grandeurs mesurées ne "saute" pas aux yeux. La relation de conjugaison est une relation mathématique qui découle du modèle des lentilles minces. Cette relation est donnée au début de l'activité et la question posée est : dans les conditions d'utilisation, la lentille réelle se comporte-t-elle comme une lentille mince ?

Réponses

Expérience

Les mesures réalisées sont reportées dans le tableau ci-dessous :

\overline{OA} (m)	-1,00	-0,80	-0,70	-0,60	-0,50	-0,40	-0,35	-0,30	-0,25
$\overline{OA'}$ (m)	0,25	0,27	0,28	0,30	0,33	0,40	0,47	0,60	1,00

1. Observer

a. Quand l'objet s'approche de la lentille, l'image s'éloigne : l'objet et l'image se déplacent dans le même sens.

Remarque : ceci est toujours vrai mais n'est vérifié ici que pour un objet placé à une distance supérieure à la distance focale. Quand l'objet s'approche de la lentille en étant placé entre le foyer et le centre optique, l'image s'approche également de la lentille. Elle se déplace donc toujours dans le même sens que l'objet.

b. Parce que l'image est virtuelle et qu'on ne peut pas la recevoir sur l'écran (cette notion a été vue dans le chapitre précédent).

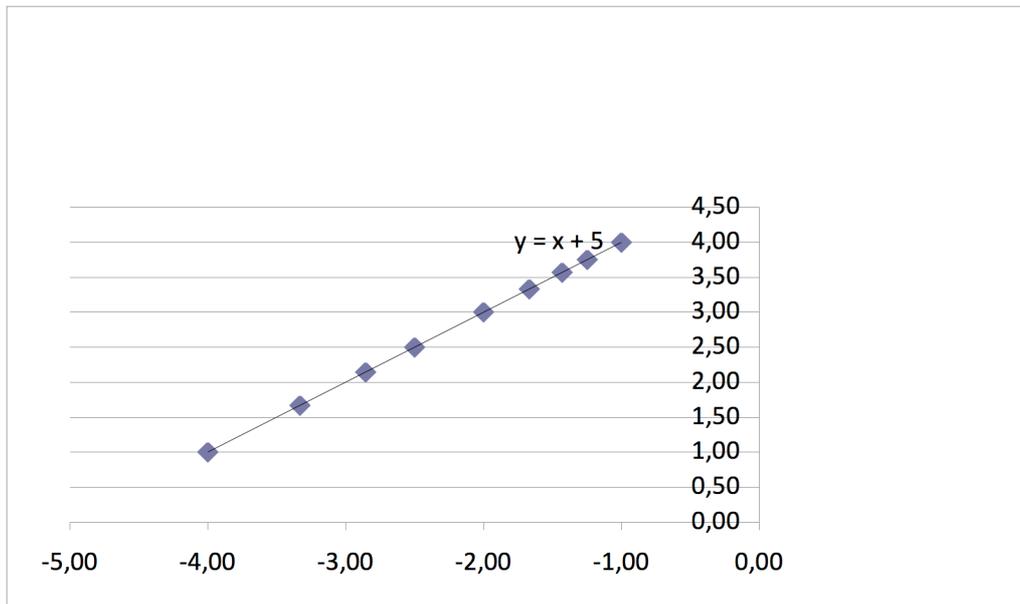
2. Exploiter

a.

\overline{OA}	$\overline{OA'}$	$\frac{1}{\overline{OA}}$	$\frac{1}{\overline{OA'}}$
		x	y
-1	0,25	-1,00	4,00
-0,8	0,27	-1,25	3,75
-0,7	0,28	-1,43	3,57
-0,6	0,30	-1,67	3,33
-0,5	0,33	-2,00	3,00
-0,4	0,40	-2,50	2,50
-0,35	0,47	-2,86	2,14
-0,3	0,60	-3,33	1,67
-0,25	1,00	-4,00	1,00

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur
Chapitre 2. Relation de conjugaison des lentilles minces.

b. La courbe est une droite d'équation $y = x + C$:



3. Conclure

On vérifie facilement qu'aux erreurs de mesures près, le coefficient C indiqué par le tableur est égal à la vergence de la lentille. La relation de conjugaison du modèle des lentilles minces est bien applicable à la lentille utilisée.

Activité expérimentale 2. Le phénomène d'accommodation

Commentaires

Même si elle est très rapide, l'accommodation n'est pas instantanée. Elle est nettement visible lorsque le regard passe d'un objet lointain à un objet proche sans bouger les yeux d'où l'intérêt d'observer à travers un transparent. Cette première expérience faite, il faut montrer que c'est le cristallin qui se déforme lors de l'accommodation. Nous avons préféré utiliser différentes lentilles que les élèves peuvent ensuite comparer plutôt que la maquette de l'œil, qui sera utilisée dans l'activité 3.

Réponses

Expérience 1

1. Observer

- a. Lorsqu'on observe le bâtiment ou le paysage lointain, celui-ci est net alors que le texte est flou. Quand on fixe le texte sans bouger les yeux, le texte devient net et le paysage devient flou.
- b. On ne peut pas voir en même temps le paysage net et le texte net.

2. Interpréter

Les élèves savent qu'il n'y a que deux parties de l'œil qui peuvent évoluer : le cristallin et la pupille, qui se dilate ou se contracte suivant l'éclairement ambiant. Dans cette expérience, le regard ne change pas de direction. L'éclairement n'est pas modifié et le diamètre de la pupille n'évolue pas lors de l'accommodation. Les élèves travaillant en général par deux, on peut demander à un élève du binôme de regarder la pupille de son camarade quand il observe.

Expérience 2

3. Observer

La lentille à placer sur le support est de plus en plus bombée.

4. Interpréter et conclure

- a. Le cristallin se comporte comme les lentilles placées sur le support : il devient de plus en plus bombé quand l'objet observé s'approche.
- b. Accommoder signifie changer la forme du cristallin pour que l'image de l'objet observé se forme sur la rétine quelle que soit la distance qui sépare l'objet de l'œil.

Activité expérimentale 3. Œil et appareil photographique

Commentaires

Une des compétences attendues est "Pratiquer une démarche expérimentale pour comparer les fonctionnements optiques de l'œil et de l'appareil photographique". Nous proposons une activité en deux parties qui n'est réalisable que si on dispose d'au moins un appareil photographique argentique puisqu'on ne peut pas ouvrir un appareil numérique pour accéder au capteur. Avec un seul appareil, les élèves peuvent se déplacer pour observer ; avec plusieurs, ils peuvent manipuler eux-mêmes à leur place. Il n'est pas utile que l'appareil soit à visée reflex mais il faut que l'obturateur puisse être bloqué en position "ouvert".

La première partie de l'activité est consacrée à l'appareil photographique (mise au point, rôle du diaphragme, durée d'exposition), la deuxième à l'œil. La maquette utilisée ne disposant pas d'un diaphragme réglable, il a été ajouté pour étudier le rôle de l'iris.

Réponses

Expérience 1

1. Observer

a. Quand la mise au point s'effectue d'un objet lointain vers un objet proche, l'objectif "avance" : il s'éloigne du papier calque qui joue le rôle de la pellicule ou du capteur.

Remarque : avec certains objectifs, les lentilles qui « avancent » se déplacent à l'intérieur de l'ensemble formé par l'objectif, ensemble qui reste fixe par rapport au boîtier de l'appareil (cas de l'appareil utilisé dans l'activité).

b. Quand on modifie le diamètre du diaphragme, seule la luminosité de l'image est modifiée : elle est d'autant plus lumineuse que le diamètre est grand.

Expérience 2

2. Observer et interpréter

a. Dans le cas de l'œil, la mise au point s'effectue en modifiant la distance focale du cristallin alors que dans l'appareil photographique, la distance focale est fixe et on modifie la distance entre la pellicule et l'objectif.

Remarque : dans certains appareils photographiques comme ceux qui équipent les téléphones portables, c'est la distance focale de l'objectif qui est modifiée (voir article page 27).

b. L'iris joue le même rôle que le diaphragme de l'appareil photographique : contrôler la quantité de lumière qui arrive sur la rétine ou la pellicule.

c. Contrairement à l'appareil photographique, l'œil ne possède pas une durée d'exposition réglable. Ce n'est pas possible. L'appareil n'est ouvert que pendant la prise de vue. En laissant l'obturateur ouvert plus longtemps, on accumule sur la pellicule les effets de la lumière ce qui permet d'obtenir des images lumineuses d'objets qui ne le sont pas. L'œil au contraire est ouvert en permanence. Il ne faut donc pas que les effets de la lumière s'accumulent sur la rétine sans quoi nous serions aveuglés en permanence. L'image est effacée tous les dixièmes de seconde environ, le temps que s'effectuent les réactions chimiques responsables de la vision.

3. Conclure

a. Similitudes : un système optique forme sur une surface sensible à la lumière l'image d'un objet. La quantité de lumière qui pénètre est modulée par un diaphragme.

Différences : la mise au point ne s'effectue pas de la même façon et la durée d'exposition n'est pas réglable dans l'œil.

b. La durée d'exposition réglable permet à l'appareil photographique de photographier des objets très peu lumineux, parfois si peu lumineux que l'œil ne peut pas les voir. C'est le cas par exemple des étoiles (exercice 10 page 39).

Activité expérimentale 4. Œil et vision en relief

Commentaires

La vision en relief n'est pas une compétence attendue du programme de première, mais à une époque où le cinéma et la télévision proposent des films ou des émissions en relief et où certaines consoles de jeu permettent de jouer en 3D, il nous semble intéressant d'expliquer pourquoi on voit en relief et comment on peut le recréer artificiellement. Pour ne pas prendre de temps sur un programme déjà très chargé, cette activité est à faire à la maison.

Réponses

Expérience 1

1. Observer

Quand les deux yeux sont ouverts, il est facile de faire toucher les deux pointes sans tâtonner. C'est nettement plus difficile avec un seul œil ouvert. En général, on n'y arrive pas du premier coup.

2. Interpréter

Non, on ne peut pas évaluer la distance qui sépare les crayons du visage. Quand on les approche on a l'impression qu'ils vont se toucher mais dans la réalité, ils ne sont pas dans le même plan.

Expérience 2

3. Observer puis conclure

a. Les deux yeux ne voient pas la même image. La boule bleue est centrée sur le cylindre de droite pour l'œil gauche alors qu'elle ne l'est pas pour l'œil droit.

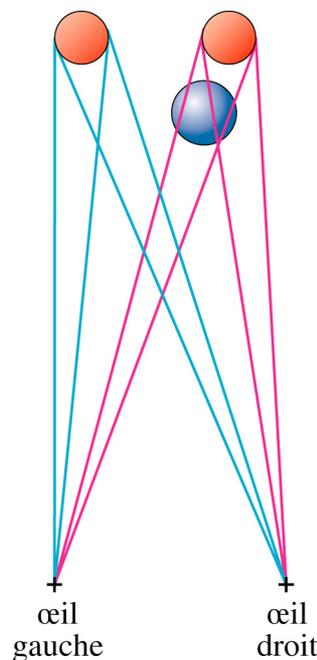
b. Le cerveau interprète les différences entre les deux images pour en faire une seule en relief. Plus la différence est marquée, plus le relief est important.

Remarque : il n'est pas facile, surtout pour un adulte qui a un peu de mal à accommoder de voir l'image en relief du premier coup. Les jeunes y arrivent plus facilement. On améliore un peu le montage en prenant un carton rigide noir et en plaçant les deux images sur du papier noir pour que les deux yeux fixent plus facilement les images. On peut aussi en déplacer une pendant l'observation pour que l'œil accroche.

La vision en relief est immédiate et beaucoup plus spectaculaire si les deux images sont placées dans un stéréoscope réalisé avec les lentilles pour banc d'optique. En plaçant les images dans le plan focal des lentilles, on observe à l'infini et le problème de l'accommodation disparaît.

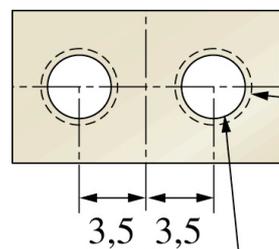
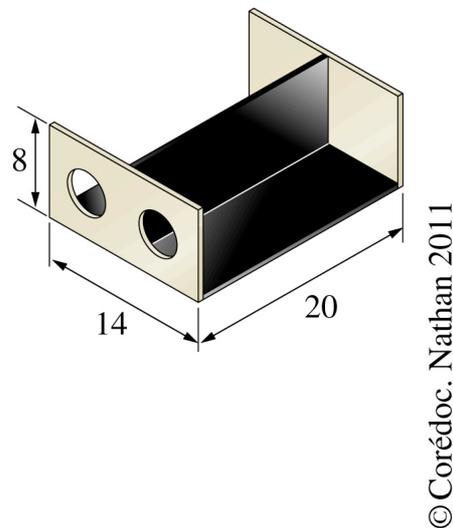
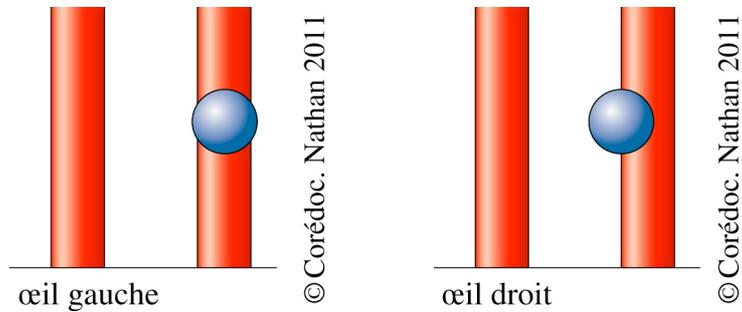
Voici par exemple le schéma d'un stéréoscope facile à réaliser.

Il est fait en carton de 3 mm d'épaisseur collé.



© Corédoc. Nathan 2011

En réalité, c'est du carton de 1,5 mm car c'est plus facile à découper. Tous les morceaux sont découpés en deux exemplaires et collés l'un sur l'autre pour donner de la rigidité sauf la face avant qui possède trois épaisseurs.



Le carton intermédiaire est percé de deux trous de 4 cm de diamètre (diamètre des lentilles). Les lentilles se logent dedans et sont maintenues par les cartons extérieurs.

Les cartons avant et arrière sont percés de deux trous de 3 cm de diamètre.

© Corédoc. Nathan 2011

Exercices

Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

- grandissement ; l'image ; l'objet
- conjugaison ; l'image ; distance focale
- son image ; la rétine
- déforme ; la rétine ; accommode
- la rétine
- l'objectif ; à la pellicule (ou au capteur)
- la luminosité ; sa taille
- sens ; propagation

2. QCM

- Deux fois plus grande que l'objet et renversée.
- Toujours négative.
- La distance focale du cristallin est modifiée.
- Toujours réelle.
- L'image est renversée.
- Est le temps pendant lequel l'obturateur reste ouvert.

Mobiliser ses connaissances

Relation des lentilles minces (§1 du cours)

3. a. Le grandissement est négatif. Cela signifie que sur l'axe vertical, les valeurs algébriques de la taille de l'objet et de l'image sont de signes opposés : l'image est renversée.

b. L'image est trois fois plus grande que l'objet car en valeur absolue, le grandissement est égal à 3,0.

c. Le grandissement s'exprime aussi sous la forme $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

On en déduit : $\overline{OA'} = \gamma \overline{OA} = -3,0 \times (-20) = 60 \text{ cm}$.

La distance lentille image est donc égale à 60 cm. ($\overline{OA} < 0$ car l'objet est placé avant la lentille).

4. Le point A est placé devant la lentille à 6,0 cm du centre optique. On en déduit $\overline{OA} = -6,0 \text{ cm}$

Utilisons la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{-6,0} + \frac{1}{4,0} = -\frac{2}{12} + \frac{3}{12} = \frac{1}{12}$$

$$\overline{OA'} = 12 \text{ cm}.$$

5. a. La valeur algébrique de la distance lentille-objet est négative car l'objet est placé devant la lentille. Le centre optique coïncide avec le zéro de l'axe qui est orienté dans le sens de propagation. Un objet placé devant la lentille est donc placé avant le zéro.

On en déduit : $\overline{OA} = -12,0 \text{ cm}$ et $\overline{OA'} = +6 \text{ cm}$ (image réelle).

$$\text{b. } \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{6,0} - \frac{1}{-12} = \frac{2}{12} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4,0} \Rightarrow \overline{OF'} = 4,0 \text{ cm.}$$

6. a. L'objet AB est placé avant la lentille donc $\overline{OA} = -4,0 \text{ cm}$.

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-4,0 \times 8,0}{-4,0 + 8,0} = \frac{-32}{+4,0} = -8,0 \text{ cm.}$$

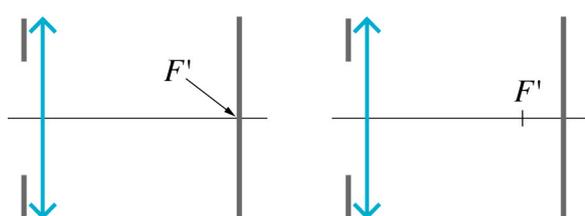
b. L'image est placée avant la lentille, du même côté que l'objet. Elle est donc virtuelle.

c. $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{-8,0}{-4,0} = 2,0$: l'image est à l'endroit et elle est deux fois plus grande que l'objet.

Accommodation de l'œil (§2 du cours)

7. Quand l'œil accommode, la distance focale du cristallin diminue. Pour cela, les faces se bombent davantage car plus les faces d'une lentille sont bombées, plus elle est convergente. La situation (a) correspond donc à l'œil qui accommode et la situation (b) à l'œil au repos.

8.



© Corédoc. Nathan 2011

Quand l'œil est au repos, le foyer image du cristallin se trouve sur la rétine car l'œil voit net sans accommoder les objets éloignés et l'image d'un objet éloigné se forme dans le plan focal image d'une lentille

Quand l'œil accommode, le cristallin se déforme et sa distance focale diminue. Le foyer image est donc en avant de la rétine.

Œil et appareil photographique (§3 du cours)

9.

Œil

Appareil photo

Rétine -----> Pellicule ou capteur

Ensemble des milieux transparents -----> Lentille

Iris -----> Diaphragme

La rétine est l'endroit où se forme l'image. Elle correspond donc à la pellicule ou au capteur de l'appareil photo.

L'ensemble des milieux transparents de l'œil dont le cristallin forme l'image de l'objet observé sur la rétine. Cet ensemble correspond à l'objectif.

Enfin, l'iris qui modifie la taille de la pupille, joue le rôle du diaphragme.

10. a. Puisque le diaphragme est resté grand ouvert pour les deux photographies, le réglage de l'appareil qui a été modifié est la durée d'exposition. L'obturateur est resté ouvert plus longtemps dans le cas de la photo (b) ce qui a permis de faire arriver plus de lumière sur la pellicule.

b. Ce phénomène ne peut pas se produire avec l'œil qui ne dispose pas d'une durée d'exposition réglable. Même quand on observe longtemps un objet, on ne le voit pas plus lumineux car l'image se reforme sur la rétine tous les dixièmes de seconde environ.

11. a. Le photographe éloigne l'objet de la lentille modélisant l'objectif. Quand on déplace l'objet par rapport à la lentille, l'image se déplace dans le même sens que l'objet. Elle va donc se rapprocher de l'objectif (la pellicule étant fixe, c'est en réalité l'objectif qui se rapproche de la pellicule).

b. Quand le photographe s'éloigne du sujet, ses yeux accommodent moins. Les cristallins sont donc moins bombés.

Utiliser ses compétences

12. a. Pour calculer la vergence, il faut exprimer la distance focale en mètre, unité de longueur du SI :

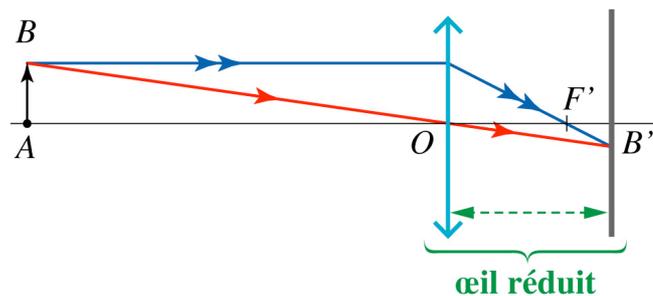
$$f' = 17,0 \text{ mm} = 17,0 \times 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{17,0 \times 10^{-3}} = 58,8 \delta$$

b. La vergence augment d'une unité donc $C = 59,8 \delta$.

On en déduit : $f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{59,8} = 1,67 \times 10^{-2} \text{ m} = 16,7 \text{ mm}$.

13. a. L'objet est vu net par l'œil si l'image se forme sur la rétine. Un seul rayon issu de B , celui qui passe par le centre optique permet de déterminer la position de B' .

b. Le rayon qui part de B parallèlement à l'axe optique va en B' en passant par le foyer image F' à l'intersection de l'axe optique, ce qui permet de déterminer sa position.



© Corédoc. Nathan 2011

14. a. Les valeurs algébriques des distances lentille-objet et lentille-image sont toutes les deux négatives puisque l'objet et l'image sont placées avant la lentille : $\overline{OA} = -6,0 \text{ cm}$ et $\overline{OA'} = -10 \text{ cm}$.

b.
$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{-10} - \frac{1}{-6,0} = \frac{1}{6,0} - \frac{1}{10} = \frac{10 - 6,0}{60} = \frac{1,0}{15} \Rightarrow \overline{OF'} = 15 \text{ cm}$$

15.
$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{OF'} + \overline{OA}}{\overline{OF'} \times \overline{OA}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$$

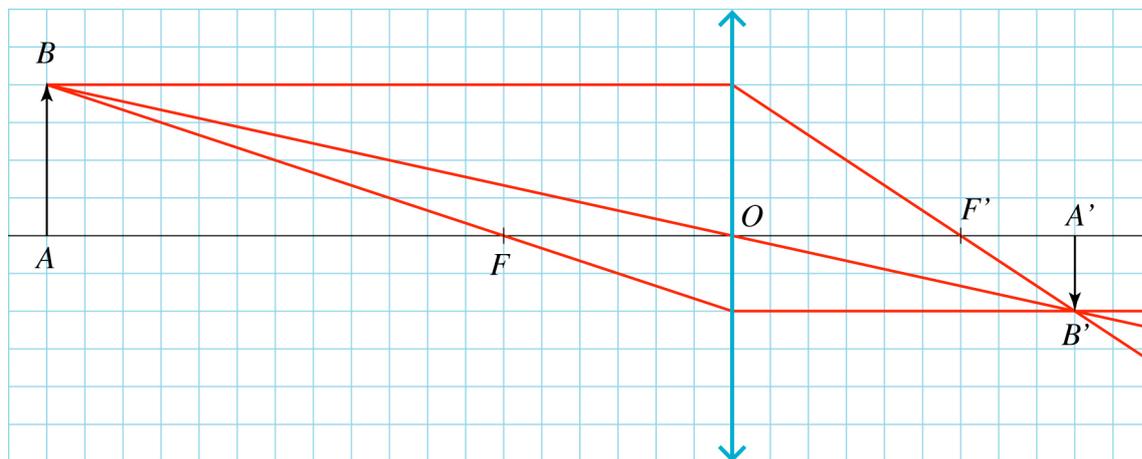
16. a. L'œil emmétrope n'a pas besoin d'accommoder pour observer un objet éloigné. Comme le seul défaut de l'œil presbyte est son manque d'accommodation, l'image d'un objet éloigné se forme toujours sur la rétine et l'œil presbyte le voit net.

b. Pour voir de près, l'œil doit accommoder. Le cristallin se déforme pour que l'image reste sur la rétine. Pour cela, sa distance focale diminue et sa vergence augmente. Comme le verre progressif corrige le défaut d'accommodation de l'œil presbyte, sa vergence doit augmenter quand le regard passe du centre (vision au loin) au bas (vision de près).

Exercices d'entraînement

17. Exercice résolu.

18. a. Schéma réalisé à l'échelle 1.



© Corédoc. Nathan 2011

b. L'image se forme à 4,5 cm de la lentille.

$$\text{c. } \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-9,0 \times 3,0}{-9,0 + 3,0} = \frac{-27}{-6} = 4,5 \text{ cm}.$$

Résultat bien en accord avec la mesure.

19. a. L'inscription correspond à la distance focale de la lentille.

b. Un paysage est un objet placé à l'infini. Dans ces conditions, l'image se forme dans le plan focal image de la lentille à 50 mm du centre optique.

c. Si l'objet est plus près de la lentille, l'image est plus éloignée : l'objet et l'image se déplacent dans le même sens. Il faut donc éloigner l'objectif de la pellicule.

d. Calculons la distance lentille image :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-1,0 \times 0,0500}{-1,0 + 0,0500} = 0,053 \text{ m ou } 53 \text{ mm}.$$

Initialement, la pellicule était à 50 mm de l'objectif. L'objectif s'est donc éloigné de la pellicule de 3 mm.

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur
Chapitre 2. Relation de conjugaison des lentilles minces.

20. a. Le graphe est une droite.

b. $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$ $\Rightarrow y - x = \frac{1}{OF'} = C \Rightarrow y = x + C$

La fonction est bien compatible avec le graphe car le coefficient directeur du graphe est égal à 1 (première bissectrice).

c. D'après l'expression précédente, l'ordonnée à l'origine est égale à la vergence de la lentille. On trouve donc $C = 10,0 \delta$.

La distance focale est : $\overline{OF'} = \frac{1}{C}$ donc $\overline{OF'} = \frac{1}{10,0} = 1,00 \times 10^{-1} \text{ m} = 10,0 \text{ cm}$.

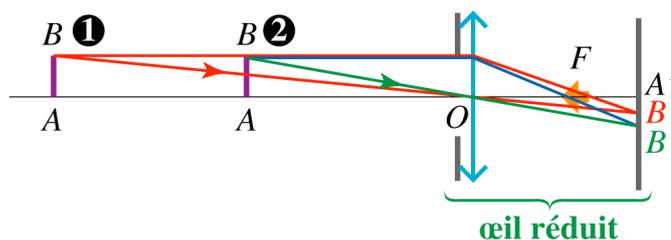
d. Quand l'objet est placé à 20 cm devant la lentille, on a :

$\overline{OA'} = -0,20 \text{ m} \Rightarrow x = \frac{1}{OA} = -5,0 \text{ m}^{-1}$.

Le point d'intersection de la droite d'équation $x = -5,0 \text{ m}^{-1}$ avec le graphe a pour ordonnée $y = 5,0 \text{ m}^{-1}$. On en déduit $\overline{OA'} = \frac{1}{y} = 0,20 \text{ m}$ ou 20 cm.

21. a. L'objet est vu net quand son image se forme sur la rétine.

b. Le rayon issu de B qui passe par le centre de la lentille converge en B' sans être dévié. B' est déterminé par l'intersection de ce rayon avec la rétine.



© Corédoc. Nathan 2011

c. Le rayon issu de B qui arrive parallèlement à l'axe optique converge en B' en passant par le foyer image ce qui détermine la position de ce point.

d. Quand l'objet est plus près de la lentille (position 2), le foyer image est plus proche du centre optique : la distance focale diminue quand l'objet s'approche de la lentille.

e. La distance focale d'une lentille est d'autant plus petite que les faces sont bombées. Les faces du cristallin sont donc plus bombées quand l'objet s'approche de l'œil.

22. a. Ces valeurs signifient que la distance focale de l'objectif varie de 35 mm à 50 mm.

b. Non, dans un appareil photographique, le changement de distance focale est utilisé pour augmenter ou diminuer la taille de l'image sur la pellicule sans changer la distance entre l'objet et l'appareil photo. Plus la distance focale est grande, plus l'image a une taille importante sur la pellicule.

23. a. L'image est réelle car elle est située de l'autre côté de la lentille par rapport à l'objet.

b. Dans ces conditions, le grandissement est négatif car $\overline{OA'} > 0$ et $\overline{OA} < 0$.

En valeur absolue : $|\gamma| = \frac{A'B'}{AB} = \frac{31,5 \times 10^{-3}}{315} = 1,00 \times 10^{-4}$.

c. Dans ces conditions, l'image se forme dans le plan focal image de l'objectif : $\overline{OA'} = f' = 50,0 \text{ mm}$.

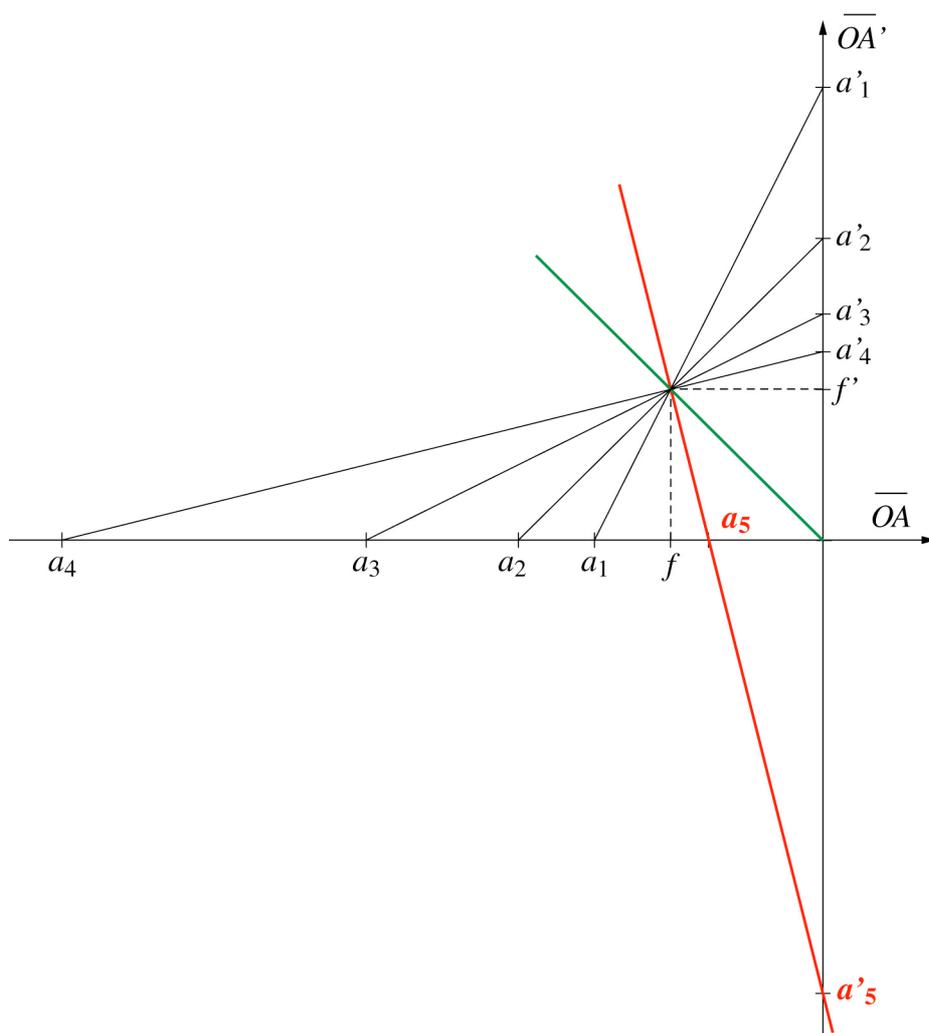
d. En valeur absolue : $|\gamma| = \frac{OA'}{OA} \Rightarrow OA = \frac{OA'}{\gamma} = \frac{50,0 \times 10^{-3}}{1,00 \times 10^{-4}} = 500 \text{ m.}$

La tour Eiffel est donc bien éloignée de l'objectif : l'hypothèse est vérifiée.

24. a. Avec $\overline{OF'} = 4,0 \text{ cm}$, la formule de conjugaison devient :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{4,0 \times \overline{OA}}{\overline{OA} + 4,0}, \text{ en utilisant le cm comme unité de longueur.}$$

$\overline{OA} \text{ (cm)}$	-6,0	-8,0	-12,	-20
$\overline{OA'} \text{ (cm)}$	12	8,0	6,0	5,0



© Corédoc. Nathan 2011

En remplaçant \overline{OA} par les valeurs données dans le tableau, on obtient :

b. Voir graphe ci-contre.

c. Tous les segments de droite se coupent au même point.

d. Ce point d'intersection a pour coordonnées la distance focale objet et la distance focale image de la lentille.

e. Il suffit de marquer le point a_5 d'abscisse $-3,0$ puis de tracer la droite passant par le point d'intersection. Elle coupe l'axe des ordonnées au points a'_5 qui donne la distance lentille image. On trouve $\overline{OA'} = -12 \text{ cm.}$

f. Pour $\overline{OA} = -4,0$ cm, la droite est verticale (non tracée sur le schéma). Le point d'intersection avec l'axe des ordonnées est rejeté à l'infini. L'image est donc située à l'infini.

g. Quand on connaît un seul couple aa' , on trace le segment qui joint les deux points puis on trace la seconde bissectrice. Les coordonnées du point d'intersection donnent la distance focale objet et la distance focale image de la lentille.

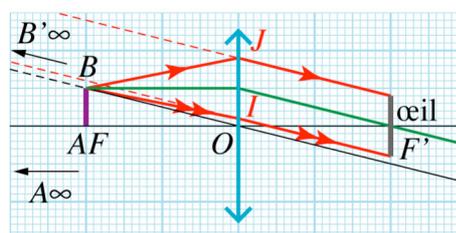
25. a. L'objet étant donc le plan focal objet de la lentille, l'image est rejetée à l'infini.

b. La relation de conjugaison s'écrit $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} - \frac{1}{\overline{OF'}} = 0$ car $\overline{OA} = -\overline{OF'}$

ainsi : $\frac{1}{\overline{OA'}} = 0 \Rightarrow \overline{OA'}$ tend vers ∞ .

c. et d. Voir schéma ci-contre.

Tous les rayons qui pénètrent dans l'œil arrivent parallèlement à la direction BO puisqu'ils viennent de B' placé à l'infini. L'intersection des rayons qui s'appuient sur le contour de l'œil avec la lentille détermine les points I et J . Il reste à tracer BI et BJ .

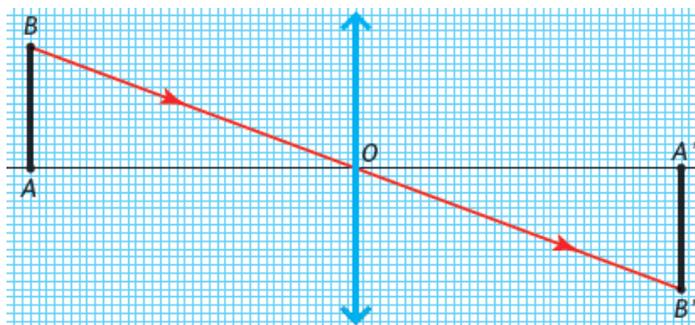


© Corédoc. Nathan 2011

e. L'œil ne fatigue pas puisqu'il observe à l'infini. Il n'a pas besoin d'accommoder.

26. a. L'image est réelle car il faut que la lumière arrive réellement sur le tambour photosensible pour l'impressionner. Dans ces conditions elle est renversée.

b.



c. On trace le rayon qui va de B à B' sans être dévié. Ce rayon passe par le centre optique comme le rayon qui va de A à A' et qui est confondu avec l'axe optique. Le centre optique se trouve nécessairement à l'intersection des deux rayons. On vérifie ainsi que le centre optique est au milieu de segment AA' puisque l'image et l'objet ont la même taille.

d. $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$. Comme l'image a la même taille que l'objet et qu'elle est renversée, le grandissement est égal à -1 .

On en déduit que $\overline{OA} = -\overline{OA'}$: O est donc bien au milieu du segment AA' .

27. a. Quand on photographie un paysage éloigné, l'image est dans le plan focal de la lentille modélisant l'objectif. La pellicule est donc placée à 50 mm du centre optique.

b. Le déplacement maximal de l'objectif étant de 5,0 mm, et la distance image-lentille ne pouvant qu'augmenter quand l'objet se rapproche de la lentille, le centre optique de la lentille est au maximum à 55 mm de la pellicule.

c. Appliquons la formule de conjugaison pour déterminer la distance objet lentille.

On sait que : $\overline{OF'} = 50$ mm et $\overline{OA'} = 55$ mm .

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \overline{OA} = \frac{\overline{OA'} \times \overline{OF'}}{\overline{OF'} - \overline{OA'}} = \frac{55 \times 50}{50 - 55} = \frac{55 \times 50}{-5,0} = \frac{55 \times 10}{-1,0} = -550 \text{ mm ou } -55 \text{ cm.}$$

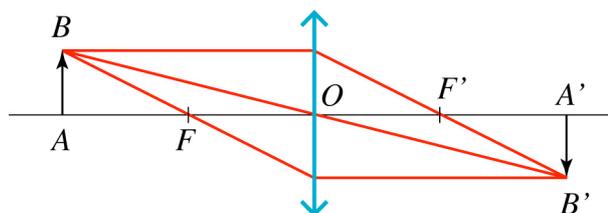
L'image reste nette si l'objet est à plus de 55 cm de l'objectif.

d. On ne peut pas photographier une fleur car l'image ne se formera pas sur la pellicule mais derrière. Elle sera donc floue.

28. a. L'image étant reçue sur un écran, elle est réelle et renversée.

b. Pour déterminer le centre optique de la lentille, on trace le segment qui joint B à B' . Il coupe l'axe au centre optique puisqu'il correspond au rayon qui n'est pas dévié.

Pour obtenir la position des foyers objet et image, il faut construire le rayon issu de B qui arrive parallèlement à l'axe car il quitte la lentille en passant par le foyer image. Le foyer objet est symétrique du foyer image par rapport au centre optique. On peut aussi tracer le rayon qui quitte la lentille parallèlement à l'axe optique en allant à B' .



© Corédoc. Nathan 2011

c. Appliquons la formule de conjugaison. Dans ce cas particulier, $\overline{OA} = -\overline{OA'}$.

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{-\overline{OA'}} = \frac{2}{\overline{OA'}} \Rightarrow \overline{OF'} = \frac{\overline{OA'}}{2} = \frac{\overline{AA'}}{4}$$

car le point O est au milieu du segment AA' .

Exercices de synthèse

29. Apprendre à chercher

a. À quelle distance minimale du centre optique se forme une image réelle donnée par une lentille mince convergente ?

b. En déduire les distances minimale et maximale qui séparent le centre optique de la lentille du capteur sur lequel se forme l'image lorsqu'il n'y a pas de bague allonge.

Quand un objet s'approche d'une lentille, son image s'éloigne. Un objet à l'infini ayant son image dans le plan focal, $f' = 50$ mm correspond à la plus petite distance objectif-capteur et $f' + 5,0$ mm = 55 mm correspond à la distance la plus grande car l'objectif ne peut se déplacer que de 5,0 mm.

c. Répondre à la même question lorsque la bague allonge est introduite entre la lentille et le capteur.

Avec une bague allonge de 50 mm, ces distances passent à 100 mm et 105 mm.

d. En appliquant la relation de conjugaison, calculer les distances lentille-objet qui correspondent aux distances lentille-image calculées à la question c.

Pour obtenir les positions correspondantes de l'objet, il suffit d'appliquer la relation de conjugaison.

Pour $\overline{OA'} = 100$ mm, on obtient : $\frac{1}{OA} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{f'} = \frac{1}{100} - \frac{1}{50} = -\frac{1}{100}$; $\overline{OA} = -100$ mm.

Pour $\overline{OA'} = 105$ mm, on obtient $\frac{1}{OA} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{f'} = \frac{1}{105} - \frac{1}{50} \Rightarrow \overline{OA} = -95$ mm.

e. Utiliser ces résultats pour répondre à la question : "quelles sont les positions extrêmes de l'objet pour lesquelles la mise au point est possible ?"

La mise au point est donc possible si l'objet est à une distance de l'objectif comprise entre 95 mm et 100 mm.

30. a. Le grandissement est égal à -2 puisque l'image est renversée et deux fois plus grande que l'objet.

b. $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -2$. Comme $\overline{OA} = -12$ cm, on en déduit $\overline{OA'} = 24$ cm et $\overline{AA'} = \overline{AO} + \overline{OA'} = 36$ cm.

c. $\frac{1}{f'} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} = \frac{3}{24}$; $f' = 8,0$ cm.

d. En appliquant la formule de conjugaison avec $\overline{OA} = -24$ cm :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{-24} + \frac{1}{8,0} = \frac{2}{24} \Rightarrow \overline{OA'} = 12 \text{ cm et } \overline{AA'} = 36 \text{ cm.}$$

La distance objet-image est la même que précédemment et le grandissement est inversé :

$$\gamma = -\frac{1}{2}$$

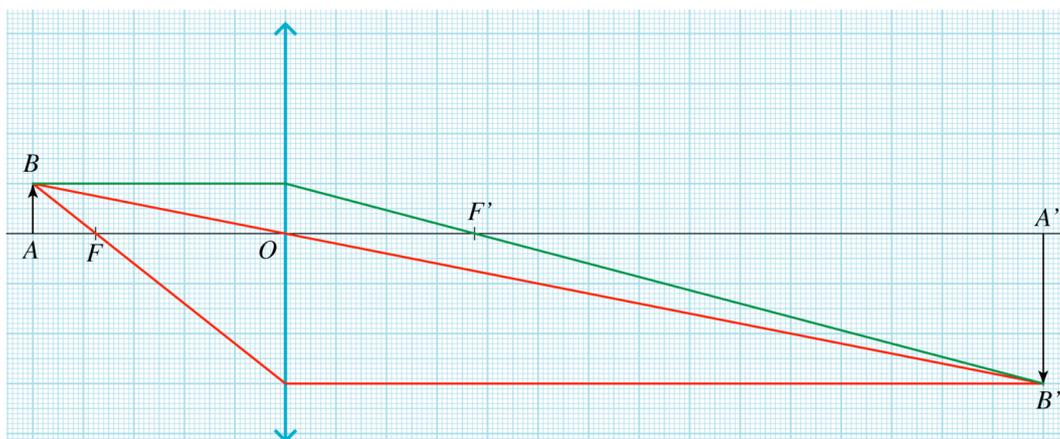
31. a. Si on retire la lentille, on ne voit rien sur l'écran qui est éclairé uniformément par la source.

b. On voit sur l'écran l'image du F . Elle a la même taille mais elle est un peu moins lumineuse car il y a moins de lumière qui traverse la lentille. La bande d'adhésif joue le même rôle qu'un diaphragme.

c. Une poussière ne sera pas plus visible sur la photographie que la bande d'adhésif. Une poussière étant très petite par rapport au diamètre de la lentille, il n'y aura même pas diminution de la luminosité de l'image.

32. a. Il suffit de mesurer la distance qui sépare l'image d'un objet éloigné de la lentille.

b. Voir schéma page suivante.



© Corédoc. Nathan 2011

c. Le rayon qui passe par le centre optique n'est pas dévié. C'est le cas des rayons BB' et AA' (confondu avec l'axe optique). Le centre optique étant sur ces deux rayons est à leur intersection.

Pour les foyers, il suffit de tracer le rayon qui part de B parallèlement à l'axe et le rayon qui arrive en B' parallèlement à l'axe. Ces rayons coupent l'axe respectivement en F' et F .

Par lecture sur le schéma, on trouve :

$OF' = 3,75$ cm à l'échelle 1/5 soit 18,8 cm à l'échelle 1, et $OA' = 15$ cm soit 75 cm à l'échelle 1.

d. $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -3,0$ car l'image est renversée et 3 fois plus grande que l'objet. $\Rightarrow \overline{OA} = -\frac{\overline{OA'}}{3}$.

$$\overline{AA'} = \overline{AO} + \overline{OA'} = -\overline{OA} + \overline{OA'} = \frac{\overline{OA'}}{3,0} + \overline{OA'} = \frac{4,0}{3,0} \overline{OA'} ; \overline{OA'} = \frac{3,0}{4,0} \times 100 = 75 \text{ cm}.$$

e. On en déduit $\overline{OA} = -25$ cm.

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{75} + \frac{1}{25} = \frac{4}{75} \quad \text{d'où } f' = \frac{75}{4} = 18,8 \text{ cm}.$$

33. a. Appliquons la formule de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-1,00 \times 0,025}{-1,00 + 0,025} = 0,0256 \text{ m ou } 25,6 \text{ mm}.$$

b. La pellicule n'est pas placée dans le plan focal image de l'objectif. Calculons la distance fixe qui sépare le centre optique de la pellicule :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-2,00 \times 0,025}{-2,00 + 0,025} = 0,0253 \text{ m ou } 25,3 \text{ mm}.$$

c. Quand l'objet est à l'infini, l'image est dans le plan focal image à 25,0 mm de l'objectif soit à 0,3 mm devant la pellicule.

Quand l'objet est à 1,00 m de l'objectif, l'image est à 25,6 mm de l'objectif soit à 0,3 mm derrière la pellicule. L'image se déplace donc au maximum de $\pm 0,3$ mm par rapport à la pellicule.

d. Si la mise au point fixe est faite sur un objet à l'infini, la pellicule est à 25,0 mm de l'objectif. Dans ces conditions, l'image s'éloigne de 0,6 mm de la pellicule quand l'objet s'approche à 1 m. Cette distance étant deux fois plus grande, l'image est moins nette voir floue.

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur
Chapitre 2. Relation de conjugaison des lentilles minces.

34. a. L'objet, la lentille est l'image sont portés par des droites parallèles.

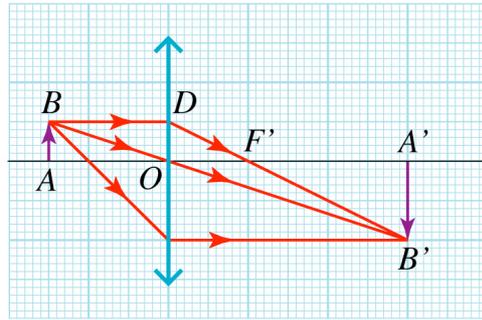
Dans les triangles OAB et $OA'B'$:

$$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad (1)$$

Dans les triangles $F'A'B'$ et $F'OD$:

$$\frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OD}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad (2) \text{ car le rayon qui passe par}$$

le foyer image arrive sur la lentille parallèlement à l'axe optique.



© Corédoc. Nathan 2011

Les rapports (1) et (2) sont donc égaux : $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$.

b. La relation de Chasles permet d'écrire : $\overline{F'A'} = \overline{F'O} + \overline{OA'}$.

$$\text{Remplaçons dans le rapport précédent : } \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{F'O} + \overline{OA'}}{\overline{F'O}} = 1 + \frac{\overline{OA'}}{\overline{F'O}} \Rightarrow \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 1 + \frac{\overline{OA'}}{\overline{F'O}}.$$

$$\text{Divisons les deux membres par } \overline{OA'} : \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{F'O}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = -\frac{1}{\overline{F'O}} = \frac{1}{\overline{OF'}}.$$

Ce qui est bien l'expression de la relation de conjugaison.