

Page web du *Cahier d'entraînement*,
dernières versions



Ce cahier d'entraînement a été écrit collectivement par des professeurs en classes préparatoires scientifiques.

Coordination

Colas BARDAVID et Jimmy ROUSSEL

Équipe des participants

Stéphane BARGOT, Claire BOGGIO, Cécile BONNAND, Alexis BRÈS, Geoffroy BURGUNDER, Erwan CAPITAINE, Caroline CHEVALIER, Maxime DEFOSSEUX, Raphaëlle DELAGRANGE, Alexis DROUARD, Gaele DUMAS, Alexandre FAFIN, Jean-Julien FLECK, Aéla FORTUN, Florence GOUTVERG, Chahira HAJLAOUI, Mathieu HEBDING, Lucas HENRY, Didier HÉRISSON, Jean-Christophe IMBERT, Fanny JOSPITRE, Tom KRISTENSEN, Emmanuelle LAAGE, Catherine LAVAINNE, Maxence MIGUEL-BREBION, Anne-Sophie MOREAU, Louis PÉAULT, Isabelle QUINOT, Valentin QUINT, Alain ROBICHON, Caroline ROSSI-GENDRON, Nancy SAUSSAC, Anthony YIP

Le pictogramme 🕒 de l'horloge a été créé par Ralf SCHMITZER (The Noun Project).

Le pictogramme 🚜 du bulldozer a été créé par Ayub IRAWAN (The Noun Project).

La photographie de la couverture vient de TWITTER. L'illustration est utilisée à des fins pédagogiques et les droits restent réservés.

Version 1.2.0 — 17 août 2024

Mode d'emploi

Qu'est-ce que le cahier d'entraînement ?

Le *cahier d'entraînement en physique-chimie* est un outil destiné à renforcer l'acquisition de **réflexes utiles en physique et en chimie**.

Il ne se substitue en aucun cas aux TD donnés par votre professeur ; travailler avec ce cahier d'entraînement vous permettra en revanche d'aborder avec plus d'aisance les exercices de physique-chimie.

Pour donner une analogie, on pourrait dire que ce cahier d'entraînement est comparable aux **exercices de musculation** d'un athlète : ils sont nécessaires pour mieux réussir le jour J lors de la compétition, mais ils ne sont pas suffisants : un coureur de sprint fait de la musculation, mais il fait également tout un tas d'autres exercices.

Ce cahier a été conçu par une large équipe de professeurs en classes préparatoires, tous soucieux de vous apporter l'aide et les outils pour réussir.

Comment est-il organisé ?

Le cahier est organisé en *fiches d'entraînement*, chacune correspondant à un thème issu du programme de première année d'enseignement supérieur.

Les thèmes choisis sont dans l'ensemble au programme de toutes les CPGE. De rares thèmes sont spécifiques à la filière PCSI, mais les intitulés sont suffisamment clairs pour que vous puissiez identifier facilement les fiches qui vous concernent.

Chaque fiche est composée d'une suite de petits exercices, appelés *entraînements*, dont le temps de résolution estimé est indiqué par une (🕒), deux (🕒🕒), trois (🕒🕒🕒) ou quatre (🕒🕒🕒🕒) horloges.

Les exercices « bulldozer »

Certains entraînements sont accompagnés d'un pictogramme représentant un bulldozer.



Ces entraînements sont **basiques et transversaux**.

Les compétences qu'ils mettent en jeu ne sont pas forcément spécifiques au thème de la fiche et peuvent être transversales.

Ce pictogramme a été choisi car le bulldozer permet de construire les fondations, et que c'est sur des fondations solides que l'on bâtit les plus beaux édifices. Ces entraînements sont donc le gage pour vous d'acquérir un socle solide de savoir-faire.

Comment utiliser ce cahier ?

Le cahier d'entraînement ne doit pas remplacer vos TD. Il s'agit d'un outil à utiliser en complément de votre travail « normal » en physique (apprentissage du cours, recherche de TD, recherche des DM).

Un travail personnalisé.

Le cahier d'entraînement est prévu pour être **utilisé en autonomie**.

Choisissez vos entraînements en fonction des difficultés que vous rencontrez, des chapitres que vous étudiez, ou bien en fonction des conseils de votre professeur.

Ne cherchez pas à faire linéairement ce cahier : les fiches ne sont pas à faire dans l'ordre, mais en fonction des points que vous souhaitez travailler.

Un travail régulier.

Pratiquez l'entraînement à un rythme régulier : **une dizaine de minutes par jour** par exemple. Privilégiez un travail régulier sur le long terme plutôt qu'un objectif du type « faire dix fiches par jour pendant les vacances ».

Un travail efficace.

Utilisez les réponses et les corrigés de façon appropriée : il est important de chercher suffisamment par vous-même avant d'aller les regarder. Il faut vraiment **persévérer** dans votre raisonnement et vos calculs avant d'aller voir le corrigé si vous voulez que ces entraînements soient efficaces.

Une erreur ? Une remarque ?

Si jamais vous voyez une erreur d'énoncé ou de corrigé, ou bien si vous avez une remarque à faire, n'hésitez pas à écrire à l'adresse cahier.entrainement@gmail.com.

Si vous pensez avoir décelé une erreur, merci de donner aussi l'identifiant de la fiche, écrit en gris en haut à gauche de chaque fiche.

Lentilles

Prérequis

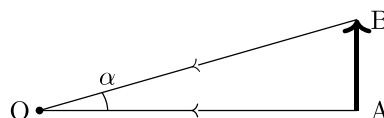
Propriétés des lentilles minces dans les conditions de Gauss. Vergence.
Relations de conjugaison des lentilles minces.

Grandeurs algébriques

Entraînement 9.1 — Diamètre apparent.



On considère le schéma suivant, montrant l'angle α , appelé diamètre apparent, sous lequel est vu un objet AB depuis un point O.



a) Exprimer le diamètre apparent α , en radians, en fonction de OA et AB

b) Exprimer le diamètre apparent α , en degrés, en fonction de OA et AB

Un observateur situé à la surface de la Terre observe des astres, caractérisés par les données suivantes :

	Soleil	Lune
Diamètre	$1,4 \cdot 10^6$ km	$3,5 \cdot 10^3$ km
Distance à la Terre	$150\,600 \cdot 10^3$ km	$384\,400$ km

Pour simplifier les calculs, on pourra utiliser que, quand α est un angle petit et exprimé en radians, on dispose de l'approximation des petits angles : $\alpha \approx \tan(\alpha)$.

c) Calculer le diamètre apparent de la Lune α_L en degrés

d) Calculer le diamètre apparent du Soleil α_S en degrés

e) Que vérifient les valeurs numériques α_S et α_L ?

(a) $\alpha_S > \alpha_L$

(b) $\alpha_S \approx \alpha_L$

(c) $\alpha_S < \alpha_L$

.....

f) Quel phénomène astronomique la comparaison de α_L et α_S permet d'expliquer ?

(a) Les éclipses

(b) Les saisons

(c) Les marées

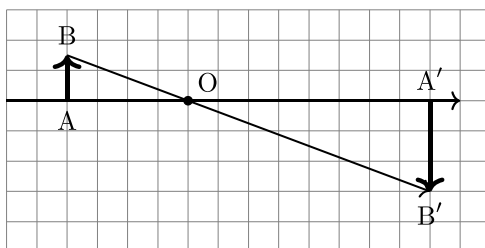
.....



Entraînement 9.2 — Configuration de Thalès et grandissement.



On considère la situation représentée sur le schéma ci-dessous.



On note $\overline{x}$ la valeur algébrique de la longueur x et on définit le grandissement γ par la relation :

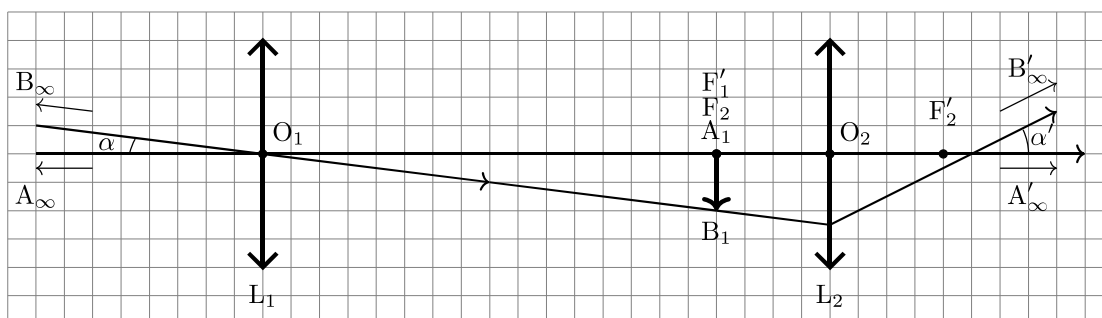
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}.$$

a) Donner la relation reliant $\overline{OA}$, $\overline{OA'}$, $\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$

b) Déterminer la valeur numérique de γ



Entraînement 9.3 — Schéma optique d'une lunette astronomique afocale.



Le schéma ci-dessus modélise une lunette astronomique afocale, où un carreau correspond à une longueur réelle de 2,5 cm.

Calculer les distances algébriques suivantes :

a) $\overline{O_1F'_1}$

b) $\overline{O_2F_2}$

c) $\overline{O_2O_1}$

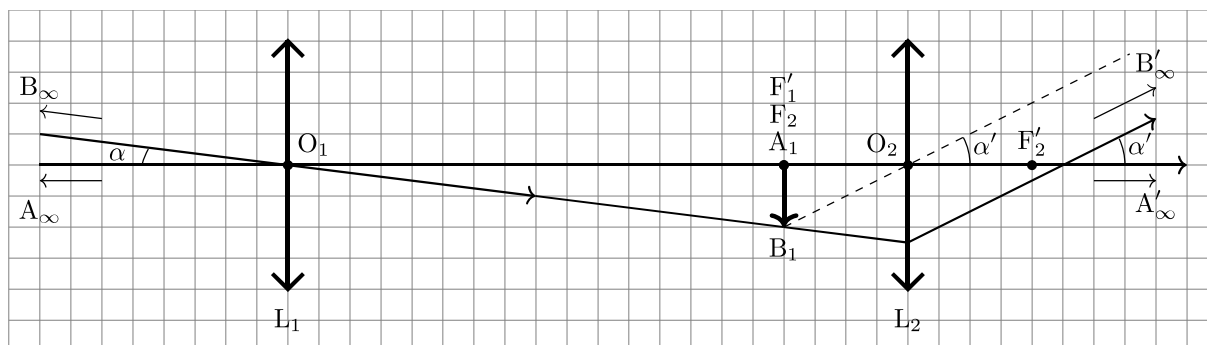
d) $\overline{A_1F'_2}$

Entraînement 9.4 — Grossissement d'une lunette astronomique afocale.



On considère la lunette astronomique afocale schématisée dans l'entraînement précédent.

Elle est constituée d'un objectif (lentille convergente L_1) et d'un oculaire (lentille convergente L_2) alignés sur le même axe optique.



On introduit les grandeurs suivantes :

- la distance focale image de l'objectif, notée f_1'
- la distance focale image de l'oculaire, notée f_2'
- l'objet lointain observé par la lunette, noté $\overline{A_\infty B_\infty}$
- l'image intermédiaire de l'objet par l'objectif, notée $\overline{A_1 B_1}$
- l'image à l'infini de l'image intermédiaire par l'oculaire, notée $\overline{A'_\infty B'_\infty}$
- le diamètre apparent α de l'objet
- le diamètre apparent α' de l'image

On définit le grossissement de la lunette, noté G , comme le rapport du diamètre apparent de l'objet observé à la lunette sur le diamètre apparent réel de l'objet.

Autrement dit, on pose

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}.$$

Dans cet entraînement, les angles ne seront pas orientés et on travaillera avec des longueurs plutôt que des valeurs algébriques.

a) Exprimer α en fonction de $A_1 B_1$ et d'une distance focale.

.....

b) Exprimer α' en fonction de $A_1 B_1$ et d'une distance focale.

.....

c) Exprimer G en fonction de f_1' et de f_2' .

.....

d) Déterminer la valeur de G .

.....

Modèle de la lentille mince

Entraînement 9.5 — Conditions de Gauss.



Parmi les situations suivantes concernant les rayons lumineux issus d'un objet et traversant une lentille mince, indiquer celle qui ne permet pas de se placer dans les conditions de Gauss.

- (a) peu inclinés par rapport à l'axe optique.
 (b) passant par les bords de la lentille.
 (c) passant près du centre optique.

..... ☐

Entraînement 9.6 — Déviation de rayons lumineux.

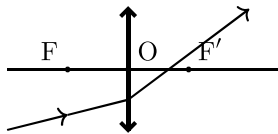


On rappelle les propriétés suivantes :

- Un rayon passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.
- Un rayon incident dont la direction passe par le foyer objet émerge parallèle à l'axe optique principal.
- Un rayon parallèle à l'axe optique principal émerge avec une direction passant par le foyer image.

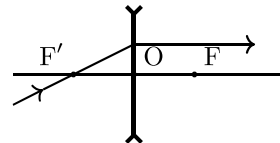
Pour chacun des schémas suivants, préciser s'ils sont corrects ou incorrects.

a)



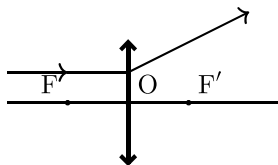
..... ☐

c)



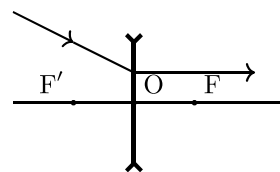
..... ☐

b)



..... ☐

d)

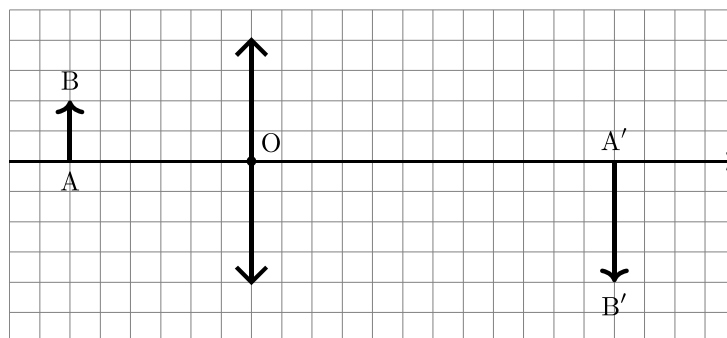


..... ☐

Entraînement 9.7 — Construction de rayons lumineux.



On considère le schéma suivant montrant un objet $\overline{AB}$ et son image $\overline{A'B'}$ par une lentille convergente.



On donne l'échelle du schéma : 8 carreaux sur le schéma correspondent à 10 cm en réalité.

a) Déterminer graphiquement la distance focale de la lentille

b) Calculer la vergence de la lentille

Entraînement 9.8 — Batailles de convergence.



Quelle est la lentille la plus convergente ?

(a) une lentille de vergence $+8,0 \delta$

(c) une lentille de focale objet $-10,0 \text{ cm}$

(b) une lentille de focale image $+8,0 \text{ cm}$

(d) une lentille de focale image $-8,0 \text{ cm}$

.....

Entraînement 9.9 — Focale d'une lentille biconvexe.



La distance focale d'une lentille biconvexe symétrique de rayon de courbure R , taillée dans un matériau d'indice n et utilisée dans l'air est donnée par la relation suivante :

$$f' = \frac{R}{2(n - n_{\text{air}})}$$

où n_{air} est l'indice optique de l'air.

On souhaite fabriquer une lentille biconvexe de vergence $6,0 \delta$ afin de corriger une hypermétropie forte à partir d'un plastique organique d'indice $n = 1,67$. On donne $n_{\text{air}} = 1,00$.

a) Calculer le rayon de courbure à réaliser

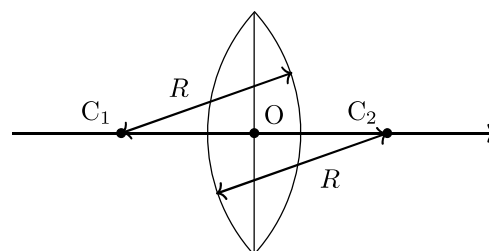
b) Pour quelle valeur de l'indice n la lentille ne dévie pas les rayons lumineux ?

(a) $n \approx n_{\text{air}}$

(b) $n = \frac{3}{2}n_{\text{air}}$

(c) $n = \frac{R}{n_{\text{air}}}$

.....



Conjugaison par une lentille mince

Entraînement 9.10 — Relation de conjugaison au centre optique.



Un objet lumineux est placé au point A, à 15,0 cm devant une lentille mince convergente de centre optique O et de distance focale $f' = 4,0$ cm.

On rappelle la relation de conjugaison aux sommets de Descartes qui permet de faire le lien entre la position $\overline{OA}$ de l'objet et la position $\overline{OA'}$ de l'image :

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

a) Exprimer $\overline{OA'}$ en fonction de $\overline{OA}$ et f'

b) Exprimer $\overline{OA}$ en fonction de $\overline{OA'}$ et f'

c) Exprimer f' en fonction de $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$

d) L'image est-elle située avant ou après le centre optique O ?

Entraînement 9.11 — Relation de conjugaison aux foyers.



Dans un dispositif optique convergent de distance focale $f' = 12,0$ cm, on souhaite qu'une image réelle se trouve exactement à 5,0 mm après le foyer image. On cherche la position où l'on doit placer l'objet, dans un premier temps par rapport au foyer objet F, puis par rapport au centre optique O.

On rappelle la relation de conjugaison aux foyers de Newton :

$$\overline{F'A'} \times \overline{FA} = -f'^2.$$

a) Exprimer $\overline{FA}$ en fonction de f' et $\overline{F'A'}$

b) Exprimer $\overline{OA}$ en fonction de $\overline{FA}$ et f'

c) Cet objet est-il réel ou virtuel ?

Entraînement 9.12 — Grandissement.



Un système optique donne d'un objet, une image dont le grandissement est le suivant : $\gamma = -2,0$.

a) Par rapport à l'objet, cette image est :

b) Par rapport à l'objet, cette image est :

(a) rétrécie

(b) agrandie

(a) droite

(b) renversée

.....

.....

Entraînement 9.13 — Projecteur de cinéma.

Un projecteur de cinéma contient une lentille convergente de distance focale $f' = 50,0$ mm.

L'écran se situe à 15,0 m de la lentille et on dispose d'une pellicule dont les vignettes sont de dimensions $36,0$ mm $\times$ $24,0$ mm.

a) À quelle distance algébrique de la lentille doit-on placer la pellicule ?

b) Quelles sont les dimensions de l'image d'une vignette sur l'écran ?

Entraînement 9.14 — Objets et images à l'infini.

a) Un objet lumineux très éloigné, comme une étoile, peut être considéré comme étant situé à l'infini.

Où se situe l'image d'un tel objet par une lentille ?

(a) dans son plan focal image

(b) dans son plan focal objet

(c) à l'infini

.....

b) Un œil « normal » (emmétrope) n'accomode pas lorsqu'il observe une image à l'infini. Dans ce but, on souhaite projeter à l'infini, l'image d'un objet en utilisant une lentille.

Où doit-on placer l'objet ?

(a) dans son plan focal image

(b) dans son plan focal objet

(c) à l'infini

.....

Entraînement 9.15 — Loupe.

Une loupe est une lentille convergente utilisée dans des conditions particulières. Dans cet exercice, la lentille utilisée a une distance focale de 10,0 cm. On place un objet $\overline{AB} = 2,0$ cm à une distance de 6,0 cm en avant de la loupe.

a) Calculer la position de l'image formée par la loupe

b) Donner la nature de l'image

c) Calculer la taille de l'image formée par la loupe

d) Cette image est-elle droite ou renversée ?

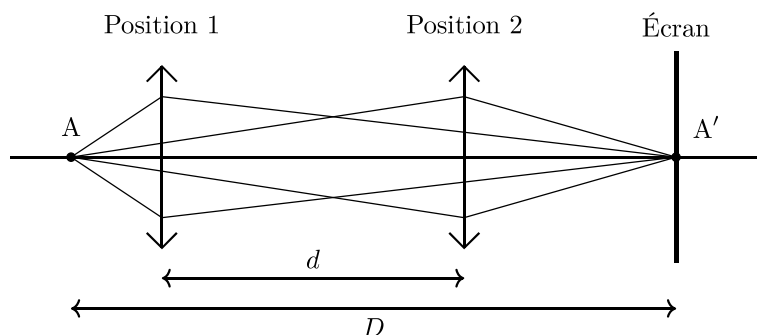


Entraînement 9.16 — Méthode de Bessel.



Pour mesurer la distance focale d'une lentille, on peut utiliser la méthode de Bessel.

On considère un objet donné, et on fixe la distance D entre l'objet et l'écran. On s'assure que D soit suffisamment grande pour qu'il existe deux positions où intercaler la lentille entre l'objet et l'écran, pour lesquelles l'image sur l'écran soit nette. On note d la distance entre ces deux positions.



On peut alors montrer la relation suivante :

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\frac{D+d}{2}} - \frac{1}{\frac{-(D-d)}{2}}.$$

a) Exprimer f' en fonction de D et d

b) Exprimer f' lorsque $d = \frac{D}{4}$

c) Exprimer d lorsque $f' = \frac{D}{4}$

Réponses mélangées

réel	virtuelle	-50 cm	droite	(b)	$\frac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}}$	(b)	$\frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$
-10 cm	Incorrect	0,22 m	(b)	(b)	$\overline{OA} = -5,02 \text{ cm}$	(b)	
$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$	+20 δ	$\arctan\left(\frac{\overline{AB}}{\overline{OA}}\right)$	Correct	10,8 m × 7,2 m	(a)		
$\overline{FA} - f'$	$\frac{-f'^2}{\overline{F'A'}}$	$\frac{f'_1}{f'_2}$	5,0 cm	(b)	5,0 cm	(a)	$\frac{\overline{A_1B_1}}{f'_2}$
40 cm	après	$\frac{D^2 - d^2}{4D}$	Incorrect	20 cm	$\overline{OA'} = -15 \text{ cm}$		$\frac{\overline{OA'} \times f'}{f' - \overline{OA'}}$
(a)	$\arctan\left(\frac{\overline{AB}}{\overline{OA}}\right) \times \frac{180}{\pi}$	Correct	4	$\frac{15D}{64}$	$\frac{\overline{A_1B_1}}{f'_1}$	-2	0,53° 0

► Réponses et corrigés page 248

Fiche n° 9. Lentilles

Réponses

9.1 a)	$\arctan\left(\frac{AB}{OA}\right)$	9.4 d)	4	9.11 a).....	$\frac{-f'^2}{F'A'}$
9.1 b)...	$\arctan\left(\frac{AB}{OA}\right) \times \frac{180}{\pi}$	9.5	(b)	9.11 b).....	$\overline{FA} - f'$
9.1 c)	0,52°	9.6 a).....	Correct	9.11 c)	réel
9.1 d)	0,53°	9.6 b)	Incorrect	9.12 a).....	(b)
9.1 e)	(b)	9.6 c)	Incorrect	9.12 b).....	(b)
9.1 f).....	(a)	9.6 d).....	Correct	9.13 a)	$\overline{OA} = -5,02 \text{ cm}$
9.2 a)	$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$	9.7 a)	5,0 cm	9.13 b)	$10,8 \text{ m} \times 7,2 \text{ m}$
9.2 b)	-2	9.7 b)	+20 δ	9.14 a).....	(a)
9.3 a).....	40 cm	9.8	(b)	9.14 b).....	(b)
9.3 b).....	-10 cm	9.9 a).....	0,22 m	9.15 a)	$\overline{OA'} = -15 \text{ cm}$
9.3 c)	-50 cm	9.9 b)	(a)	9.15 b).....	virtuelle
9.3 d)	20 cm	9.10 a)	$\frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$	9.15 c).....	5,0 cm
9.4 a)	$\frac{A_1 B_1}{f'_1}$	9.10 b)	$\frac{\overline{OA'} \times f'}{f' - \overline{OA'}}$	9.15 d).....	droite
9.4 b)	$\frac{\overline{A_1 B_1}}{f'_2}$	9.10 c)	$\frac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}}$	9.16 a)	$\frac{D^2 - d^2}{4D}$
9.4 c).....	$\frac{f'_1}{f'_2}$	9.10 d)	après	9.16 b).....	$\frac{15D}{64}$
				9.16 c).....	0

Corrigés

9.1 a) Dans le triangle rectangle OAB, on a $\tan(\alpha) = \frac{AB}{OA}$. Comme l'angle α est entre $-\pi/2$ et $\pi/2$, on a $\alpha = \arctan\left(\frac{AB}{OA}\right)$ pour un objet lointain.

9.1 b) On effectue une conversion radian-degré du résultat précédent : $\alpha = \arctan\left(\frac{AB}{OA}\right) \times \frac{180}{\pi}$.

9.1 c) Dans le triangle rectangle OAB, on a $OA \gg AB$. Donc, on a $\alpha \approx \tan(\alpha) = \frac{3,5 \cdot 10^3 \text{ km}}{384\,400 \text{ km}} \times \frac{180}{\pi} = 0,52^\circ$.

9.1 d) Dans le triangle rectangle OAB, on a $OA \gg AB$. Donc, on a

$$\alpha \approx \tan(\alpha) = \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ km}}{150\,600 \cdot 10^3 \text{ km}} \times \frac{180}{\pi} = 0,53^\circ.$$

9.1 e) Même si les valeurs ne sont pas strictement égales, elles sont proches d'un point de vue physique, l'écart relatif entre elles valant $\frac{\alpha_S - \alpha_L}{\alpha_L} = 1,9\%$.

Les diamètres angulaires de la Lune et du Soleil pour un observateur situé sur Terre sont proches.

9.1 f) La Lune et le Soleil ont la même taille apparente sur le ciel. Si la Lune, plus proche de la Terre, se place entre la Terre et le Soleil, celle-ci va dissimuler complètement le Soleil : on parle d'éclipse solaire. Les diamètres apparents n'ont rien à voir avec l'alternance des saisons, liée à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre, ni avec l'effet de marée, lié à l'attraction gravitationnelle de la Lune et du Soleil sur les océans et la croûte terrestre.

9.2 a) Par application du théorème de Thalès, on a $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$.

9.2 b) Par lecture graphique, on constate que $\overline{OA'} = 8$ unités horizontales et $\overline{OA} = -4$ unités horizontales. D'après la relation déterminée dans la question précédente, on a $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{8 \text{ carreaux}}{-4 \text{ carreaux}} = -2$.

9.3 a) Le sens positif est le sens de propagation de la lumière. Le point F'_1 est après O_1 donc $\overline{O_1F'_1} = 40 \text{ cm}$.

9.3 b) Le point F_2 est en avant de O_2 donc $\overline{O_2F_2} = -10 \text{ cm}$.

9.3 c) Le point O_1 est en avant de O_2 donc $\overline{O_2O_1} = -50 \text{ cm}$.

9.3 d) Le point A_1 est en avant de F'_2 donc $\overline{A_1F'_2} = 20 \text{ cm}$.

9.4 a) Dans le triangle rectangle $O_1A_1B_1$, on a $\tan(\alpha) = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}$. Comme l'objet est très éloigné, l'angle α est petit ; comme il est exprimé en radians, on peut effectuer l'approximation $\alpha \approx \tan(\alpha)$.

9.4 b) Dans le triangle rectangle $O_2A_1B_1$, on a $\tan(\alpha') = \frac{A_1B_1}{O_2F'_2}$. Comme l'objet est très éloigné, l'angle α' est petit ; comme il est exprimé en radians, on peut effectuer l'approximation $\alpha' \approx \tan(\alpha')$.

9.4 c) En utilisant les deux expressions trouvées pour α et α' , on trouve

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1} = \frac{f'_1}{f'_2}.$$

9.4 d) Graphiquement, on lit $f'_1 = 16$ carreaux et $f'_2 = 4$ carreaux. Donc, on a $G = \frac{f'_1}{f'_2} = 4$. Un objet lointain observé à travers cette lunette apparaîtra sous un diamètre 4 fois plus important qu'à l'œil nu.

9.5 Pour se placer dans les conditions de Gauss (stigmatisme approché et aplanétisme), les rayons lumineux issus d'un objet doivent passer près du centre optique et être peu inclinés par rapport à l'axe optique principal.

9.6 a) Ce schéma est correct car un rayon parallèle au rayon incident passant par le centre optique de la lentille sans être dévié couperait le rayon émergent dans le plan focal image de la lentille convergente.

9.6 b) Ce schéma est incorrect car le foyer image F' d'une lentille convergente est situé au delà de la lentille et non en avant (par rapport au sens de propagation de la lumière). Ce schéma serait correct si la lentille était divergente.

9.6 c) Ce schéma est incorrect car un rayon lumineux qui ressort d'une lentille parallèle à l'axe optique principal, a une direction incidente passant par le foyer objet F . Ce qui n'est pas le cas ici puisque le rayon incident passe par le foyer image F' .

9.6 d) Ce schéma est correct car un rayon incident dont la direction passe par le foyer objet F ressort parallèle à l'axe optique de la lentille.

9.7 a) On ajoute un rayon incident issu de B parallèle à l'axe optique principal et émergeant en B' .

On trouve la position du foyer image principal F' à l'intersection entre l'axe optique principal et le rayon tracé.

En mesurant la distance $\overline{OF'}$ sur le schéma et en tenant compte de l'échelle du document (8 carreaux sur le document correspondent à 10 cm en réalité), on trouve : $\overline{OF'} = 5,0 \text{ cm}$.

9.7 b) En utilisant la définition de la vergence, on a $V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,05 \text{ m}} = +20 \delta$.

9.8 Pour comparer les lentilles, il faut comparer soit leurs distances focales images f' , soit leurs distances focales objets $f = -f'$, soit leurs vergences $V = \frac{1}{f'}$.

Remarquons que la lentille (d) est exclue d'office, car $f'_d = -8,0 \text{ cm} < 0$ donc il s'agit d'une lentille divergente ($f' < 0$) et non convergente ($f' > 0$).

Calculons les vergences des trois lentilles qui sont encore à considérer. On a

- pour la lentille (a) : $V_a = +8,0 \delta$;
- pour la lentille (b) : $V_b = \frac{1}{f'_b} = \frac{1}{0,080 \text{ m}} = +12,5 \delta$;
- et pour la lentille (c) : $V_c = \frac{1}{f'_c} = -\frac{1}{f} = -\frac{1}{-0,100 \text{ m}} = +10,0 \delta$.

On a $V_b > V_c > V_a$; donc, c'est la lentille (b) qui est la plus convergente.

9.9 a) On a $R = 2(n - n_{\text{air}}) \times f' = 2(n - n_{\text{air}}) \frac{1}{V} = 2 \times (1,67 - 1) \times \frac{1}{6,0 \text{ m}^{-1}} = 0,22 \text{ m}$.

9.9 b) La situation (c) est exclue d'office car l'équation n'est pas homogène (n et n_{air} sont sans dimension tandis que R est une longueur).

La situation (b) permet de déduire que $f' = \frac{R}{2}$, c'est-à-dire une distance finie à laquelle convergent les rayons.

La situation (a) conduit à $f' \rightarrow +\infty$: les rayons convergent à l'infini donc ils ne sont pas déviés.

Une autre approche consiste à voir que si les indices de part et d'autre du dioptré sont identiques, il n'y a pas de déviation (loi de Snell-Descartes). Réponse : (a).

9.10 a) On déduit de la relation $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$ que $\overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$.

9.10 b) On déduit de la relation $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$ que $\overline{OA} = \frac{\overline{OA'} \times \overline{OF'}}{\overline{OF'} - \overline{OA'}}$. Ainsi, $\overline{OA} = \frac{\overline{OA'} \times f'}{f' - \overline{OA'}}$.

9.10 c) On déduit de la relation $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$ que $f' = \overline{OF'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}}$.

9.10 d) On a montré que $\overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$. Or, on a $\overline{OA} = -15 \text{ cm}$ et $\overline{OF'} = 4,0 \text{ cm}$.

L'application numérique donne $\overline{OA'} = \frac{-15 \text{ cm} \times 4,0 \text{ cm}}{-15 \text{ cm} + 4,0 \text{ cm}} = 5,5 \text{ cm}$.

Comme $\overline{OA'} > 0$, l'image $\overline{A'B'}$ se situe après la lentille.

9.11 a) On déduit de la relation $\overline{F'A'} \times \overline{FA} = -f'^2$ que $\overline{FA} = \frac{-f'^2}{\overline{F'A'}}$.

9.11 b) D'après la relation de Chasles, on a $\overline{OA} = \overline{OF} + \overline{FA} = -f' + \overline{FA}$.

9.11 c) On a montré d'une part que $\overline{FA} = \frac{-f'^2}{\overline{F'A'}}$ et d'autre part que $\overline{OA} = \overline{OF} + \overline{FA}$.

Les applications numériques donnent

$$\overline{FA} = \frac{-(12,0 \text{ cm})^2}{5,0 \text{ mm}} = \frac{-(0,120 \text{ m})^2}{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = -2,88 \text{ m} \quad \text{et} \quad \overline{OA} = -0,12 \text{ m} + (-2,88 \text{ m}) = -3,00 \text{ m}.$$

L'objet se trouve à 3 m en avant de la lentille, il s'agit donc d'un objet réel.

9.12 a) Par définition du grandissement, l'image est agrandie car $|\gamma| > 1$.

9.12 b) L'image est renversée car $\gamma < 0$.

9.13 a) On a $\overline{OA'} = 15 \text{ m}$ et $f' = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. D'après la relation de conjugaison de Descartes, on a

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

On en déduit que $\overline{OA} = \frac{\overline{OA'} \times \overline{OF'}}{\overline{OF'} - \overline{OA'}}$. Donc, on a $\overline{OA} = \frac{15,0 \text{ m} \times 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{5,02 \cdot 10^{-2} \text{ m} - 15 \text{ m}} = -5,02 \cdot 10^{-2} \text{ m} = -5,02 \text{ cm}$.

9.13 b) Le grandissement γ vaut

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{15 \text{ m}}{-0,050 \text{ 2 m}} = -299.$$

Ainsi, la largeur de l'image sur l'écran vaut $299 \times 36 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 10,8 \text{ m}$. De plus, la hauteur de l'image sur l'écran vaut $299 \times 24 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 7,18 \text{ m}$.

Finalement, les dimensions de l'image sur l'écran sont : $10,8 \text{ m} \times 7,2 \text{ m}$.

9.14 a) On sait que $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$. Ici, on a $\overline{OA} \rightarrow -\infty$ donc $\frac{1}{\overline{OA}} \rightarrow 0^-$. Finalement, on a $\overline{OA'} \rightarrow \overline{OF'}$.

9.14 b) On sait que $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$. Ici, on souhaite que $\overline{OA'} \rightarrow +\infty$; donc on souhaite que $\frac{1}{\overline{OA'}} \rightarrow 0^+$ et donc que $\overline{OA} \rightarrow -\overline{OF'} = \overline{OF}$.

9.15 a) On a $\overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}$. Or, on a $\overline{OA} = -6,0 \text{ cm}$ et $\overline{OF'} = 10,0 \text{ cm}$. Donc, on a

$$\overline{OA'} = \frac{-6,0 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}}{-6,0 \text{ cm} + 10 \text{ cm}} = -15 \text{ cm}.$$

9.15 b) L'image se situe en avant de la lentille. On l'observera directement à travers la lentille, en regardant dans la direction de l'objet.

9.15 c) Sa taille se calcule à l'aide de la formule du grandissement : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$. Ici, on a

$$\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \frac{-15 \text{ cm}}{-6,0 \text{ cm}} \times 2,0 \text{ cm} = 5,0 \text{ cm}.$$

9.15 d) Le grandissement est positif : il s'agit d'une image droite.

9.16 a) On transforme l'expression $\frac{1}{f'} = \frac{1}{\frac{D+d}{2}} - \frac{1}{\frac{-(D-d)}{2}}$ en mettant les fractions sous dénominateur commun et en isolant f' . On a

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\frac{D+d}{2}} - \frac{1}{\frac{-(D-d)}{2}} = \frac{2}{D+d} + \frac{2}{D-d} \quad \text{donc} \quad \frac{1}{f'} = \frac{2(D-d) + 2(D+d)}{(D+d)(D-d)} = \frac{4D}{D^2 - d^2}.$$

Finalement, on trouve $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$.

9.16 b) En remplaçant d par $\frac{D}{4}$, on arrive à $f' = \frac{D^2 - \frac{D^2}{16}}{4D} = \frac{15D}{64}$.

9.16 c) En remplaçant f' par $\frac{D}{4}$, on arrive à $\frac{D}{4} = \frac{4D}{D^2 - d^2}$ et donc à $D^2 = D^2 - d^2$. Ainsi, on a $d = 0$.