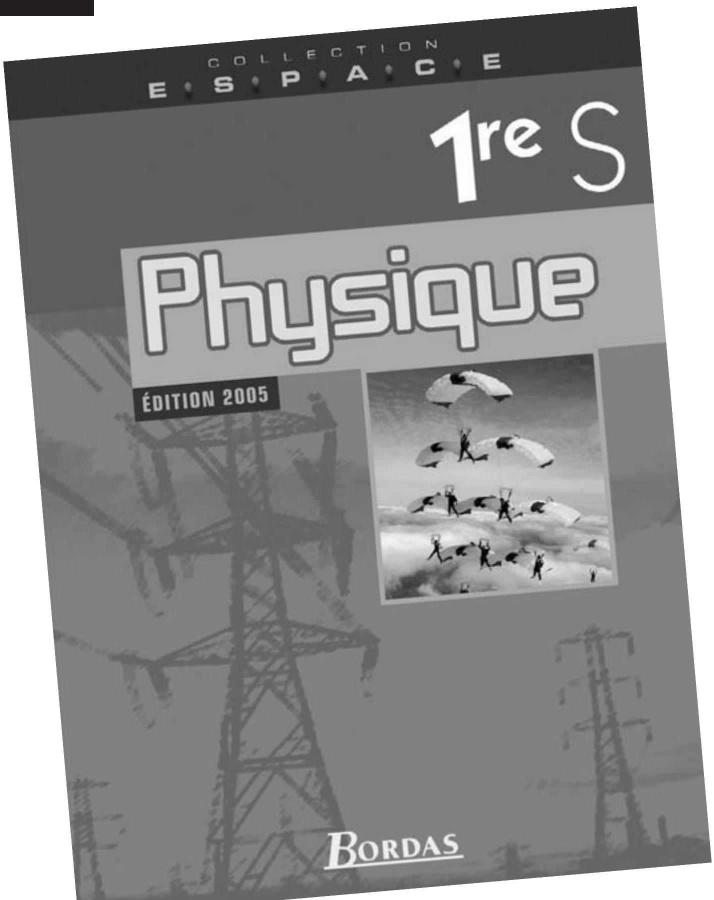
Extrait

Livre du professeur

Édition 2005



BORDAS

La physique en 1re S

La classe de seconde étant une classe de détermination, les programmes de l'ensemble des disciplines, et notamment des sciences, ont essentiellement un côté culturel. En classe de première, il en va autrement, puisque les élèves ont opté pour une prédominance de la voie scientifique. Il ne faudrait pas en conclure que l'aspect culturel est totalement occulté : cela n'aurait pas de sens, d'une part parce que toute science possède en elle-même une composante culturelle, d'autre part parce qu'une continuité pédagogique s'impose. La classe de première est donc délicate puisqu'il y a lieu de poser des bases solides en matière de raisonnement, mais aussi de connaissances, et en même temps de faire la transition avec les rythmes et les contenus précédents. Il s'agit en quelque sorte de monter en puissance de façon sereine, en sachant motiver les élèves et les amener progressivement à plus de rigueur.

Ce livre a été conçu pour répondre à ces objectifs. Conformément au programme et à ses commentaires, toutes les questions sont amenées par des activités : dans chaque chapitre quatre ou cinq activités sont proposées, certaines ayant pour but de poser les « bonnes questions », d'autres d'aller plus loin, certaines étant tirées de l'histoire des sciences, d'autres ressemblant à des exercices, d'autres, les plus nombreuses, ayant un caractère expérimental nettement affirmé, tant il est vrai qu'il n'y a pas de sciences physiques sans expérimentation.

L'utilisation de l'informatique a été fortement développée dans cet ouvrage, car l'usage de l'ordinateur est devenu essentiel, qu'on se place du point de vue de l'étude des sciences ou de l'avenir professionnel des élèves. Les logiciels cités dans les diverses activités sont ceux qu'on rencontre habituellement dans les lycées. Les fiches méthode présentes en fin de livre faciliteront la tâche des élèves au cours des manipulations, et soulageront les professeurs dans leur tâche d'encadrement.

Un manuel scolaire comporte, par nature, un cours et des exercices. Le cours a été voulu synthétique, puisqu'il se présente comme une confirmation de notions rencontrées lors des approches expérimentales, et qu'il arrive parfois en guise de conclusion. Il ne faut toutefois pas oublier le rôle fondamental du cours qui est d'asseoir les définitions et les lois. On attend en effet d'un scientifique la rigueur du raisonnement et la sûreté du propos. En classe de première on apprend à être précis, à faire attention aux conditions d'application des lois, à connaître les limites des modèles. Le cours est donc un élément de référence permanent, qu'on finit par mémoriser. Il mérite donc une place qui le singularise. C'est pourquoi il n'est pas « perdu » au milieu des autres éléments du chapitre. Un élève qui ouvre son livre pour la vérification d'une définition par exemple, est ainsi sûr de la trouver rapidement.

Chaque chapitre commence par une introduction de quelques lignes constituant une mise en perspective les notions qui y seront traitées : leur place dans l'histoire des sciences, leur importance dans la physique, ou encore la progression à l'intérieur des programmes de lycée.
Dans la marge de droite, le symbole « soleil » éclairant l'horizon annonce une information pratique destinée à servir de repère ou d'aide lors des exercices à venir. Des renvois aux activités sont là pour rappeler que la partie correspondante du cours a fait l'objet d'approches expérimentales lors de ces activités. De même, des renvois à des exercices sont des incitations à tester la bonne compréhension des phénomènes.

Les quatre rubriques d'exercices correspondent aux objectifs qu'on leur assigne habituellement :
- vérifier la connaissance et la compréhension du cours
- développer des compétences particulières
- s'entraîner à la résolution de manière globale
- s'habituer progressivement au rythme exigé à l'examen

Des exercices entièrement résolus sont proposés aux élèves afin de leur faciliter l'apprentissage de la rédaction d'un devoir. Les exercices corrigés en fin de livre sont des incitations à l'auto-formation . Dans certains exercices, des conseils sont prodigués, de manière à éviter des recherches intempestives. Enfin la gradation en difficulté croissante des exercices permet aussi d'accroître l'autonomie des élèves dans leur apprentissage.

Ce livre se singularise par sa partie terminale appelée « Compléments pour réussir en 1re S ». Cette partie, qui gagnerait à être encore plus étoffée, apporte en quelque sorte à l'ouvrage de la convivialité et de la perspective. On y aborde en effet des questions telles que celles-ci :
- A quoi sert la physique ?
- Quel avenir pour la physique et pour les physiciens ?
- Comment s'organisent les études scientifiques ?
- Quelles sont les grandes questions de la physique ?
- Quelle place pour l'informatique ?
  Comment utilise-t-on les logiciels scientifiques ?
- Quelle place pour l'expérimentation ?
  Comment énoncer les résultats ?
- En quoi la précision du vocabulaire est-elle indispensable ?

Il nous semble en effet impossible de dissocier l'étude des sciences de l'usage des sciences.

CHAPITRE 15

De l'œil à la lunette astronomique

(Voir programme p. 3 à 10)

Cours

Par sa taille réduite, sa très grande sensibilité, ses réglages quasi instantanés, l'œil est de loin l'appareil d'optique le plus perfectionné. Mais pour des usages précis, limités à un type d'utilisation, des appareils très performants ont progressivement été mis au point. Dans ce chapitre deux d'entre eux sont étudiés : la loupe pour mieux voir de près, la lunette pour mieux voir de loin.

Activités

Activité 3 Comment améliorer la vision des objets lointains

A La Lune observée à l'œil nu

1. Diamètre apparent du cratère :

$$2\alpha = \frac{58}{3,8\times10^5} = 1,5\times10^4 \text{ rad.}$$

2. Non,
$2\alpha = 1,5 \times 10^{-4}$ rad $< \varepsilon$.

B La Lune observée à travers une lentille convergente

La valeur moyenne du diamètre apparent de la Lune est $2\alpha = 9,0 \times 10^{-3}$ rad.

• Position et taille de l'image de la Lune à travers la lentille (L_1)

1. La Lune étant un objet infiniment éloigné, son image se forme dans le plan focal image de la lentille (L_1) : A_1 est confondu avec le foyer image F'_1.

2. Les rayons passant par le centre optique de la lentille ne sont pas déviés.

3. $B_1C_1 = 2\,\alpha f_1$.

4. Taille de l'image de la Lune :
$B_1C_1 = 9,0 \times 10^{-3} \times 50 = 0,45$ mm.

5. Taille de l'image du cratère :
$D_1E_1 = 1,5 \times 10^{-4} \times 50 = 7,5 \times 10^{-3}$ mm $= 7,5$ µm.

• Observation de l'image B_1C_1 par un œil normal

6. 25 cm est la distance minimale de vision distincte d_{min}.

7. L'image de la Lune est vue sous un angle :

$$2\alpha_1 = \frac{B_1C_1}{d_{min}}, \text{ soit } 2\alpha_1 = \frac{0,45}{250} = 1,8\times10^{-3} \text{ rad.}$$

8. $2\alpha_1 < 2\alpha$: l'utilisation de la lentille (L_1) n'a pas permis d'améliorer la vision des détails à la surface de la Lune.

• Influence de la valeur de la distance focale de (L_1)

(L_1) est maintenant une lentille de distance focale 10 fois plus grande, $f_1 = 50$ cm.

9. Taille de l'image de la Lune : $B_1C_1 = 4,5$ mm.
Taille de l'image du cratère : $D_1E_1 = 75$ µm.

10. Diamètre apparent de l'image de la Lune :
$2\alpha_1 = 1,8 \times 10^{-2}$ rad.
Diamètre apparent de l'image du cratère :

$$\frac{0,075}{250} = 3,0\times10^{-4} \text{ rad.}$$

11. La lentille de distance focale, $f_1 = 50$ cm, donne des images ayant un plus grand diamètre apparent que les objets observés à l'œil nu. elle permet d'améliorer la vision des détails à la surface de la Lune, mais insuffisamment : le diamètre de l'image du cratère est égal à ε.

Pour améliorer la vision des détails d'objets lointains, il faut mieux utiliser une lentille de grande distance focale.

➜ C Comment grossir l'image avec un appareil de taille raisonnable ?

● **Position de la lentille (L_2)**

1. Il faut que B_1C_1 se trouve dans le plan focal objet de la lentille (L_2).
2. L'image finale $B'C'$ à l'infini peut être observée avec un œil au repos, donc sans fatigue.
3. Le plan focal image de (L_1) est confondu avec le plan focal objet de (L_2).

● **Construction de l'image finale *B'C'***

6. L'image finale est renversée par rapport à l'objet, mais ce n'est pas gênant pour l'observation des astres.
8. $2\alpha' = \frac{B_1C_1}{f_2}$.
9. Diamètre apparent de l'image $B'C'$ de la Lune :
$2\alpha' = \frac{4,5}{20} = 0,22$ rad.

Diamètre apparent de l'image $D'E'$ du cratère :
$\frac{0,075}{20} = 3,7 \times 10^{-3}$ rad.

10. L'association des lentilles (L_1) et (L_2), donne des images ayant un plus grand diamètre apparent que les objets observés à l'œil nu ou à travers la lentille (L_1) seule. Elle permet d'améliorer nettement la vision des détails à la surface de la Lune, le diamètre de l'image du cratère est maintenant seulement 2,5 fois plus petit que le diamètre apparent de la Lune à l'œil nu.
11. $G = \frac{2\alpha'}{2\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$.
12. $G = 25$.

➜ D Pourquoi peut-on voir à travers une lunette des étoiles invisibles à l'œil nu ?

Une étoile A très lointaine considérée comme ponctuelle est observée à travers la lunette décrite précédemment.
2. $\phi_2 = 4,0$ mm.
L'œil de l'observateur peut recevoir toute la lumière qui émerge de la lunette.
3. À travers la lunette, l'œil collecte beaucoup plus de lumière qu'à l'œil nu.
On augmente la mumière collectée en augmentant le diamètre D de la lentille (L_1).

Exercices

1 Modélisation d'un œil normal

1. Convergent
2. Sur la rétine
3. Les objets éloignés
4. L'accommodation

2 Diamètres apparents

1. $\alpha_L = \frac{3,47 \times 10^3}{3,84 \times 10^5} = 9,0 \times 10^{-3}$ rad.

$\alpha_S = \frac{1,39 \times 10^6}{1,49 \times 10^8} = 9,3 \times 10^{-3}$ rad.

2. Le Soleil et la Lune ont approximativement le même diamètre apparent pour un observateur terrestre. Ce qui explique que, lors des éclipses de Soleil, la Lune cache exactement le Soleil.

3 Vrai ou faux

1. Vrai.
2. Faux.
3. Faux.
4. Vrai.

4 Observer à l'aide d'une loupe

1. Inférieure.
2. Faible.

5 Choisir l'objectif d'une lunette

1. Une lentille convergente de forte vergence.
2. Une lentille convergente de faible vergence.
3. Une lentille divergente de faible vergence.
4. Une lentille divergente de faible vergence.
5. Une lentille convergente de grande distance focale.

6 Choisir l'oculaire d'une lunette

1. Une lentille convergente de forte vergence.

7 Rôle de l'objectif d'une lunette

1. Faux, il donne de l'objet à l'infini une image dans son plan focal image donc objet et image sont de part et d'autre de l'objectif.
2. Vrai.
3. Faux, l'image est dans son plan focale image.
4. Vrai.
5. Faux, il forme l'image d'un objet à l'infini.

8 Rôle de l'oculaire d'une lunette

1. Vrai.

2. Faux, il est placé du côté de l'oeil.

3. Faux, il donne l'image d'un objet placé à une distance inférieure à sa distance focale.

4. Faux, il donne l'image d'un objet placé à une distance inférieure à sa distance focale.

5. Vrai.

9 Lunette afocale

1. Dans le plan focal image.

2. À l'infini.

3. Observation sans fatigue oculaire.

10 Maquette d'une lunette afocale

Celle qui a la plus grande distance focale, c'est-à-dire la plus faible vergence donc + 2 δ.

2. $O_1O_2 = f_1 + f_2$ avec $f_1 = \frac{1}{2} = 0{,}50$ m

et $f_2 = \frac{1}{20} = 0{,}050$ m,

donc $O_1O_2 = 55$ cm.

11 ★★ Accommodation d'un œil normal

1. Dans un œil, l'image se forme sur la rétine. Lorsque l'objet est à l'infini son image se forme dans son plan focal image : $f = 17$ mm.

2. Pour que l'image d'un objet plus proche se forme toujours sur la rétine il faut que la vergence de l'œil augmente donc que f diminue.

12 ★ Comment cacher la Lune derrière une balle de ping-pong ?

1. Diamètre apparent de la Lune pour un observateur terrestre

$$\alpha_L = \frac{3{,}47\times10^3}{3{,}84\times10^5} = 9{,}0\times10^{-3} \text{ rad.}$$

2. La balle de ping-pong doit être vue par l'observateur sous le même diamètre apparent que la Lune : $\alpha_B = \alpha_L$.

La distance observateur-balle doit être :

$$\frac{\phi}{\alpha_B} = \frac{40\times10^{-3}}{9{,}0\times10^{-3}} = 4{,}4 \text{ m.}$$

13 ★ Limite de résolution de l'œil

Les phares d'une voiture située à 5,0 km sont vus sous un diamètre apparent :

$$\alpha = \frac{1{,}2}{5{,}0\times10^3} = 2{,}4\times10^{-4} \text{ rad.}$$

$\alpha < \varepsilon$,

Les phares ne sont pas séparés, l'œil voit une seule tâche lumineuse.

14 ★★ Pourquoi l'œil « ignore les milliards de petites bêtes qui vivent dans une goutte d'eau » ?

▶ Activité 1, p. 267

1. Pour observer au mieux les détails d'un objet il faut le placer à la distance minimale de vision distincte $d_{min} = 25$ cm pour qu'il soit vu sous le plus grand diamètre apparent possible.

2. A l'œil nu les bactéries d'une goutte d'eau sont vues au mieux sous un diamètre apparent $\alpha = \frac{\phi}{d_{min}}$.

α varie de 4×10^{-6} rad à $1{,}2\times10^{-5}$ rad suivant les bactéries, α est nettement inférieur à l'angle limite ε : les bactéries ne peuvent être vues à l'œil nu.

3. La distance minimale entre deux points A et B d'un objet situé à 25 cm pour qu'un œil puisse les séparer est $AB_{min} = \varepsilon . d_{min}$, soit $AB_{min} = 7{,}5\times10^{-5}$ m soit de l'ordre du dixième de mm.

15 ★ Pourquoi l'œil « ignore les habitants, les plantes et le sol des étoiles voisines » ?

▶ Activité 1, p. 267

La Lune tourne autour de la Terre à une distance moyenne de $3{,}84\times10^5$ km. De la Terre, elle apparaît dans le ciel sous la forme d'un disque d'environ 0,5 ° de diamètre apparent.

1. Diamètre de la Lune : $\phi = \alpha . d_{T-L}$,

avec $\alpha = 0{,}5\,° = 8{,}7\times10^{-3}$ rad,

et $d_{T-L} = 3{,}84\times10^5$ km, d'où $\phi = 3{,}3\times10^3$ km.

Le cratère de Ptolemaeus à la surface de la Lune est vu sous un diamètre apparent $\alpha_P = 4{,}0\times10^{-4}$ rad nettement inférieur à l'angle limite ε : il ne peut être vu à l'œil nu.

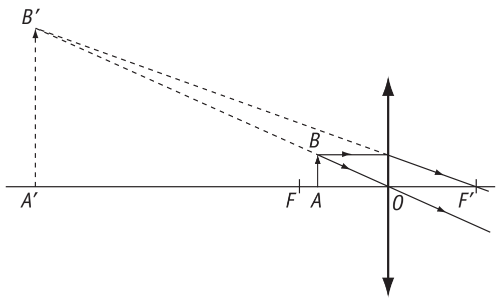
Donnée : L'angle limite sous lequel doivent être vus deux points pour être séparés par l'œil est $\varepsilon = 3\times10^{-4}$ rad.

16 ★★ Texte à la loupe

1. Le texte est placé à 4,0 cm de la loupe :

a) $\overline{OA'} = -20$ cm et $\overline{A'B'} = 1{,}0$ cm

b) Sur un schéma à l'échelle, construire l'image d'un caractère et vérifier les résultats des calculs précédents.



c) Diamètre apparent de l'image $A'B'$ pour un lecteur dont l'œil est placé :

– à 10 cm après la loupe :

$$\alpha' = \frac{1,0}{30} = 3,3 \times 10^{-2} \text{ rad ;}$$

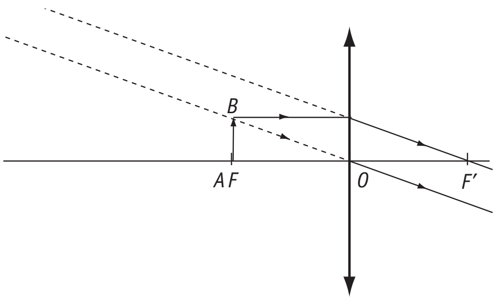
– au foyer image de la loupe :

$$\alpha' = \frac{1,0}{25} = 4,0 \times 10^{-2} \text{ rad.}$$

La position de l'œil du lecteur intervient.

2. a) L'image est rejetée à l'infini, ce qui permet une observation sans fatigue.

b) Sur un schéma à l'échelle, construire l'image d'un caractère.



c) Diamètre apparent de l'image :

$$\alpha' = \frac{2,0}{50} = 4,0 \times 10^{-2} \text{ rad.}$$

La position de l'œil du lecteur n'intervient pas.

17 ★★★ La loupe et la philatélie

1. Observation du timbre à l'œil nu

a) Pour observer au mieux les détails d'un objet il faut le placer à la distance minimale de vision distincte d_{min} = 25 cm pour qu'il soit vu sous le plus grand diamètre apparent possible.

b) Quelle est la dimension du plus petit détail qu'il puisse ainsi observer ?

$AB_{min} = \varepsilon . d_{min}$, soit $AB_{min} = 7,5 \times 10^{-5}$ m, soit de l'ordre du dixième de mm.

2. Observation du timbre à l'aide d'une loupe

a) f = 4,0 cm et G = 6,25.

b) l'image est rejetée à l'infini, ce qui permet une observation sans fatigue.

c) Il peut observer des détails G fois plus faible qu'à l'œil nu : $\dfrac{7,5 \times 10^{-5}}{6,25} = 1,2 \times 10^{-5}$ m, soit de l'ordre du centième de mm.

18 ★★ Principe d'une lunette astronomique

Exercice corrigé dans le manuel de l'élève.

19 ★★★ Notice d'une lunette astronomique

1. Modèle réduit de la lunette

a) AB étant à l'infini, A_1B_1 est dans le plan focal image de (L_1).

b) A_1B_1 est dans le plan focal objet de (L_2) : A_1 est confondu avec le foyer principal objet de l'oculaire F_2.

c) A_1B_1 étant dans le plan focal objet de (L_2), $A'B'$ est rejetée à l'infini

2. Grossissement de la lunette

a) $\alpha \approx \tan\alpha = \dfrac{A_1B_1}{f_1}$.

b) $\alpha' \approx \tan\alpha' = \dfrac{A_1B_1}{f_2}$.

c) Établir l'expression du grossissement G en fonction de f_1 et f_2 : $G = \dfrac{f_1}{f_2}$.

d) f_1 = 640 mm. Pour f_2 = 20 mm, G = 32 ;
pour f_2 = 12,5 mm, G = 51,2 ≈ 51 ;
pour f_2 = 6 mm, G = 106,7 ≈ 107 ;
on retrouve les trois premier grossissement donnés dans la notice.

e) Les trois derniers grossissements (64, 102 et 214) de la notice correspondent à l'utilisation de la lentille de Barlow qui permet de doubler les trois premiers grossissements (32, 51 et 107).

20 ★★★ Les grandes lunettes astronomiques

1. Calcul du diamètre de l'image de la Lune dans le plan focal de l'objectif des lunettes de Yerkes, Meudon et Postdam.

$A_1B_1 = \alpha f_1$, pour la Lune α = 31,5′ = $\dfrac{31,5 \times \pi}{180 \times 60}$ rad

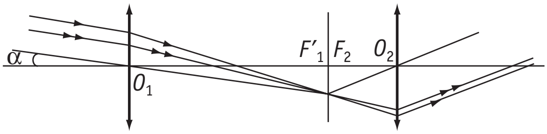
$= 9,16 \times 10^{-3}$ rad.

	f_1 (en m)	A_1B_1 (en cm)
Yerkes (USA)	19,36	17,7
Meudon	16,16	14,8
Postdam	12,00	11,0

2. a) L'image définitive *A'B'* de l'objet *AB* observé se trouve à l'infini.

b) L'intérêt pour l'observateur est une observation sans fatigue.

c) Schématiser, sans souci d'échelle, une lunette afocale et construire la marche d'un faisceau lumineux issu d'un point situé à l'infini dans une direction faisant un angle α avec l'axe optique.



3. On appelle grossissement *G* de la lunette le rapport des angles sous lesquels sont vus l'image à l'infini derrière l'oculaire et l'objet à l'infini sans optique.

Pour une lunette afocale $G = \dfrac{f_1}{f_2}$.

	f_1 (en m)	f_2 (en cm)	G	α' (en rad)
Yerkes (USA)	19,36	5,0	387	$3{,}5 \times 10^{-5}$
Meudon	16,16	4,0	404	$3{,}6 \times 10^{-5}$
Postdam	12,00	6,0	200	$1{,}8 \times 10^{-5}$

$\alpha' < \varepsilon$: l'étoile apparaît ponctuelle à travers les différentes lunette, mais elle est plus lumineuse qu'à l'œil nu car une lunette est un collecteur de lumière.

21 ★★ La fovea

$$\alpha_{max} \approx \tan \alpha_{max} = \frac{\phi}{d} = \frac{1{,}5}{17} = 8{,}8 \times 10^{-2} \text{ rad} \approx 5{,}0°.$$

22 ★★ Structure de la rétine et pouvoir séparateur de l'œil

▶ Activité 1, p. 267

1. Pour que deux points *A* et *B* soient séparés par l'œil, il faut que l'image rétinienne *A'B'* soit plus grande que la taille de deux cellules : $A'B'_{min} = 2\phi$.

L'angle limite ε sous lequel doivent être vus deux points pour être séparés est donc :

$$\varepsilon \approx \tan \varepsilon = \frac{A'B'_{min}}{d} = \frac{2\phi}{d},$$

$$\text{soit } \varepsilon \approx \frac{2 \times 2{,}5 \times 10^{-3}}{17} = 2{,}9 \times 10^{-4} \text{ rad.}$$

Comparer avec l'ordre de grandeur évalué expérimentalement (activité 1) : on retrouve la valeur évaluée expérimentalement

Remarque pour le professeur : Le pouvoir séparateur est limité par la structure discontinue de la rétine mais aussi par la diffraction due à la pupille. Le diamètre de la pupille variant entre 2 et 8 mm, le diamètre de la tache de diffraction (tache d'Airy) varie entre 1 et 4 µm, ce qui conduit à un angle ε de même ordre de grandeur.

23 ★★★ Projecteur de diapositives

1. Les indications portées sur chaque lentille représentent la vergence *C* de chaque lentille

2. Comment peut-on discerner au toucher les deux lentilles ? La lentille (L_1) est divergente ($C < 0$) : ses bords sont plus épais que sa partie centrale ; la lentille (L_2) est convergente ($C > 0$) : ses bords sont plus minces que sa partie centrale.

3. On veut obtenir un grandissement $\gamma = -2$ en utilisant la lentille convergente.

a) On utilise la lentille (L_2).

Relation de grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \Rightarrow \overline{OA'} = -2\,\overline{OA}.$$

Relation de conjugaison :

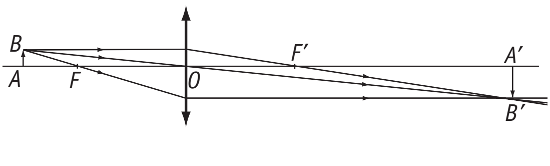
$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow C = \frac{-3}{2\,\overline{OA}} \Rightarrow \overline{OA} = \frac{-3}{2C}.$$

$$OA = \frac{-3}{2 \times 5} = -0{,}30 \text{ m.}$$

L'objet doit être placé 30 cm avant la lentille.

b) Où faut-il placer l'écran pour visualiser l'image de AB ? $\overline{OA'} = -2\,\overline{OA} \Rightarrow \overline{OA'} = 60$ cm.

c)



d) L'objet est la lettre F, sur l'écran on observe l'image C.

5. Pour obtenir une image plus grande sur l'écran avec la même lentille, faut-il :

a) Approcher ou éloigner l'objet *AB* de la lentille ?
Il faut approcher l'objet *AB* de la lentille.

b) Approcher ou éloigner l'écran de la lentille ?
Il faut éloigner l'objet *AB* de la lentille.

24 ★★★ L'agrandisseur photographique

1. a) L'image est renversée car elle n'est pas du même côté de la lentille que le négatif.

b) Calcul du grandissement γ :

$$\gamma = -\frac{16}{6} = -\frac{24}{9} = -2{,}67.$$

c) Calcule de la distance focale de l'objectif.

Relation de grandissement :

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

Relation de conjugaison :

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

$$f = \frac{-2{,}67 \times -13{,}75}{1+2{,}67} = 10{,}0 \text{ cm}.$$

d) $\overline{OA'} = \gamma\ \overline{OA}$, soit $\overline{OA'} = 36{,}7$ cm.

2. a) On veut maintenant un grandissement plus grand, il faut donc éloigner le papier sensible de l'objectif.

b) Pour que l'image se forme plus de loin l'objectif, il faut rapprocher le négatif de l'objectif.