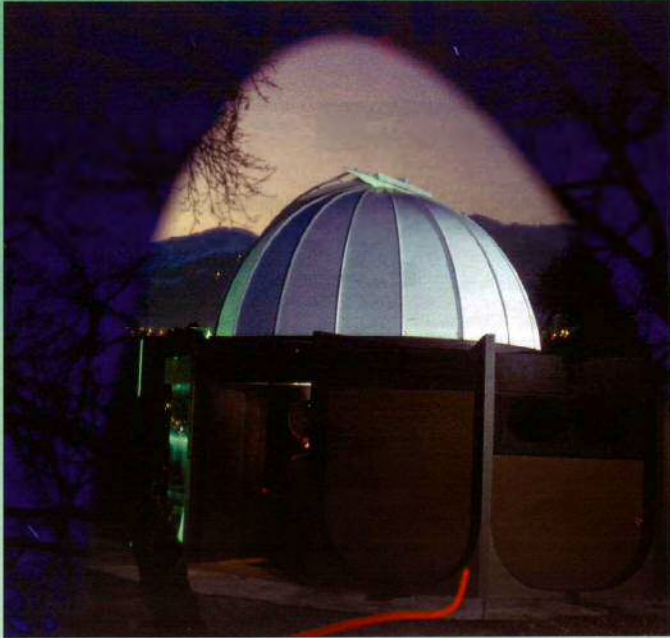


OPTIQUE



Chapitre 12. Sources et récepteurs de lumière

Voir, c'est utiliser l'œil, notre propre récepteur de lumière. Il reçoit de la lumière provenant des objets que l'on « voit ». L'Homme fabrique des appareils destinés à émettre ou recevoir de la lumière.

NE JAMAIS OBSERVER LE SOLEIL NI À L'ŒIL NU, NI À L'AIDE D'UN INSTRUMENT EN RAISON DU DANGER QUE REPRÉSENTE SA TRÈS FORTE INTENSITÉ LUMINEUSE.

1 Sources de lumière

Sources naturelles ou artificielles

On appelle source de lumière un corps ou un dispositif qui émet de la lumière.

Une source peut être **naturelle**: le Soleil, les étoiles. Elle peut aussi être **artificielle**, c'est-à-dire avoir été conçue par l'Homme pour émettre de la lumière: flamme d'une bougie, filament d'une ampoule...

Ce sont des sources **primaires**.

Origine de la lumière

Un corps chauffé à une température suffisante émet de la lumière par **incandescence**: étincelle, éclair...

Un corps peut aussi émettre de la lumière à la température ambiante, par **luminescence**: paroi d'un tube fluorescent, luciole femelle, surface d'un écran TV...

Un gaz traversé par une décharge électrique peut émettre de la lumière: lampe à vapeur de sodium ou de mercure, lampe au néon...



Passage pour piétons éclairé par des lampes à vapeur de sodium.

Diffusion de la lumière

Un corps, un objet qui n'est pas source de lumière par lui-même ne peut pas être vu en l'absence totale de lumière. Dès qu'il est éclairé, il renvoie de la lumière dans toutes les directions – c'est la **diffusion** – et nous pouvons le voir.

Tout objet éclairé diffuse une partie de la lumière qu'il reçoit: il se comporte alors comme une source lumineuse, dite **secondaire**.



La chaleur dégagée lors du passage du courant dans le filament provoque son incandescence. Le verre opalifié de l'ampoule diffuse la lumière émise par le filament.

2 Récepteurs de lumière

Alors que l'œil n'a que des sensations fugitives, l'appareil photographique permet de fixer, d'enregistrer l'information transportée par la lumière. D'autres dispositifs peuvent même mesurer son intensité.

Pellicule et papier photographiques

L'**émulsion** photographique est un mélange de gélatine, de chlorure et de bromure d'argent, déposé sur un support, et sensible à la lumière. La lumière atteignant l'émulsion y provoque des réactions chimiques permettant de fixer l'image sur le film.



Pellicule photographique.

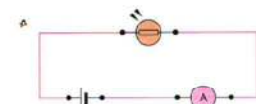
Cellules photoélectriques

Une cellule photoélectrique est un récepteur optique qui réagit, selon sa nature, en fonction de la lumière reçue. Elle fait partie d'un circuit électrique.

La cellule photovoltaïque ou **photopile** est un **générateur électrique**: une tension apparaît à ses bornes quand elle est éclairée.

La cellule photorésistante ou **photorésistor** est un **récepteur électrique**, sa résistance varie quand elle est éclairée.

Les utilisations de ces «cellules» sont de plus en plus nombreuses: sécurité des magasins, comptage des objets, commande de dispositifs automatiques...



Mesure de l'intensité du courant dans un photorésistor. Schéma du montage.

E

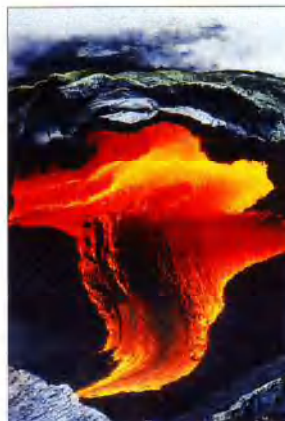
EXERCICES

1 Vrai ou faux ?

- Un corps qui émet de la lumière est une source lumineuse.
- Seuls les solides peuvent être incandescents.
- Un objet éclairé peut être considéré comme une source lumineuse.
- Un corps ne peut émettre de la lumière que s'il est chaud.
- Une photopile est un appareil photographique qui fonctionne avec une pile.

2 Dans quelle catégorie de source lumineuse classer la Lune ? Pourquoi ?

3 La lave d'un volcan est de la roche en fusion (température de l'ordre de 1200°C). Par quel phénomène émet-elle de la lumière ?



4 Selon un dicton bien connu, «la nuit, tous les chats sont gris». Si l'obscurité est vraiment totale, comment voit-on les chats ?

5 Quelles sont les parties de l'œil sensibles à la lumière ?

6 L'émission de lumière par un corps non chauffé est la **luminescence**. Elle se rencontre aussi chez les êtres vivants, comme la méduse. Son origine est variée (lumineuse, électrique, chimique, ...). Certains corps éclairés deviennent fluorescents, d'autres phosphorescents.

Rechercher dans un dictionnaire la différence entre la **fluorescence** et la **phosphorescence**.

Trouver des exemples.

7 Utilisées au début presque uniquement pour équiper les satellites, les photopiles ont des applications terrestres de plus en plus nombreuses. Rechercher des exemples.

8 Rechercher dans une encyclopédie ou un dictionnaire comment on s'éclairait:

- dans les cavernes préhistoriques;
- au temps des Grecs ou des Romains;
- au Moyen Âge;
- au XVIII^e siècle;
- au XIX^e siècle;
- au début, au milieu et à la fin du XX^e siècle.

Préciser, si possible, le mode d'émission de la lumière par la source (par exemple: fin du XIX^e siècle – lampe électrique – incandescence d'un filament).

9 Se munir d'une lampe de poche, de feuilles de papier (ou de carton) mat ou brillant, d'une feuille de papier d'aluminium.

- a) Dans l'obscurité ou la pénombre, éclairer successivement les différentes feuilles avec la lampe de poche.

Observer la diffusion de la lumière et comparer les résultats obtenus.

- b) Dans quel cas est-il plus correct de parler de **réflexion** ? Quelles précautions doit-on prendre pour que l'expérience soit valable ?

Éventuellement, rechercher dans un dictionnaire la différence entre diffusion et réflexion.

10 Il y a des photorésistances dans la plupart des appareils photographiques. À quoi servent-elles ?

ÉTUDE DE DOCUMENTS

11 Atome et lumière

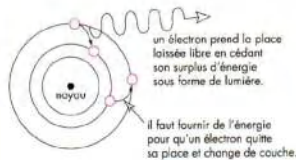
Nous avons parlé de l'origine de la lumière et abordé les phénomènes d'incandescence et de luminescence sans évoquer la cause première de l'ensemble de ces phénomènes qui est directement liée à la structure de l'atome.

Le modèle atomique utilisé dans ce cours nous permet d'imaginer l'atome comme un système formé d'un noyau (protons et neutrons) et d'électrons répartis sur plusieurs couches (niveaux d'énergie différente).

Les phénomènes lumineux sont liés à des changements de couche des électrons :

lorsqu'un atome reçoit de l'énergie (lumineuse, thermique, cinétique...), ses électrons, dans certaines conditions, absorbent cette énergie et changent de couche;

lors de leur retour spontané vers une couche de plus faible énergie, le surplus d'énergie est évacué par l'émission d'un « grain de lumière » appelé photon.



Caractéristique d'un photon :

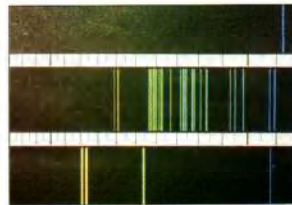
Chaque photon a une couleur (longueur d'onde) bien déterminée qui correspond à l'énergie cédée par l'électron. Ainsi la lumière blanche est constituée de photons de toutes les couleurs (toutes les énergies du spectre de la lumière) alors qu'une lumière monochromatique (une seule couleur) est constituée de photons tous identiques.

Incandescence et luminescence :

L'incandescence est l'émission de lumière qui se produit à température élevée (grande agitation des particules de la matière) et l'agitation thermique produit, dans ce cas, de multiples changements de couche des électrons. Dans la luminescence (température ambiante), ce sont, le plus souvent, des photons ou des électrons qui, en arrivant sur l'atome, provoquent directement le changement de couche des électrons. L'émission de lumière se produit bien, dans les deux cas, au moment où les électrons retournent sur des couches inférieures.

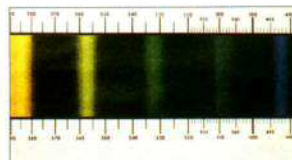
Signature des atomes :

Pour des atomes isolés, ce qui est le cas des gaz, l'ensemble des photons émis constitue le spectre caractéristique de cet atome; c'est la « signature lumineuse » qui permet de l'identifier. C'est de cette manière que l'on a décelé la présence d'hélium à la surface du Soleil avant de le découvrir sur la Terre.



Spectre d'émission Sr, Fe, Hg.

Le contraire se produit aussi : la lumière provenant d'une étoile et traversant une couche de gaz présente des « trous » caractéristiques; on parle alors de spectre d'absorption qui permet également l'identification du gaz.



Spectre d'absorption $KMnO_4$.

ÉTUDE DE DOCUMENTS

La photographie noir et blanc

12 Prise de vue - Développement de la pellicule

La lumière entre par l'objectif de l'appareil photographique et impressionne la pellicule. Les grains de sels d'argent sont d'autant plus activés qu'ils ont reçu plus de lumière, mais l'image n'apparaît pas encore (on dit qu'elle est latente).

Dans l'obscurité, on enroule la pellicule dans la rainure spirale d'une cuve à développement (photo). Un couvercle-entonnoir à chicane permet de verser les produits nécessaires au développement, la pellicule restant dans l'obscurité de la cuve.



Trois produits sont utilisés successivement. Chacun agit pendant un temps bien défini, selon la sensibilité de la pellicule; il est nécessaire d'agiter la cuve pour que leur action soit répartie de façon homogène.

Révélateur : il fait apparaître les grains d'argent qui noircissent pour former l'image.

Bain d'arrêt : il arrête l'action du révélateur.

Fixateur : il arrête définitivement l'action du révélateur et dissout les grains de l'émulsion non insolés afin d'éviter que l'image ne s'assombrisse à la lumière. L'image est fixée.

Un **lavage** à l'eau courante et un **séchage** terminent le développement. On obtient un **négatif**.

- Pourquoi doit-on embobiner la pellicule dans l'obscurité complète et l'y laisser jusqu'à la fin du traitement ?
- Pourquoi la pellicule développée est-elle appelée « négatif » ?
- Sur une boîte de pellicule, on lit « 400/27 » (400 ASA ou ISO ; 27 DIN). Sur une autre boîte, on lit « 100/21 ». Des deux pellicules, quelle est la plus sensible ?

13 Tirage sur papier

Le papier photographique est constitué d'une couche sensible à la lumière déposée sur un support en papier ou en polyéthylène.

Dans un agrandisseur, on dispose le négatif et on l'éclaire. Le papier est insolé; on obtient, après traitement, le positif. Le traitement est de même type que pour la pellicule, mais il se fait dans des cuvettes et le laboratoire peut être éclairé avec une lampe rouge ou brune de faible puissance.

Planche contact : si le négatif est posé directement sur le papier, on obtient toutes les photographies sur la même feuille; il est alors possible de choisir celles que l'on désire agrandir.

Remarque : si on place un objet sur le papier, on obtient une « photo-contact ».

Bandes d'essai : le négatif retenu est placé dans l'agrandisseur qui permet d'obtenir différents formats sur le papier (9 x 13, 13 x 18, 18 x 24...). Pour définir le temps d'exposition de l'agrandissement et le réglage de diaphragme choisis, on réalise des bandes d'essai en découvrant le papier à intervalles de temps réguliers.

Epreuve : elle est tirée comme indiqué précédemment, en exposant le papier selon le temps déterminé d'après les bandes d'essai.



- Pourquoi l'épreuve est-elle appelée « positif » ?
- Le support de l'émulsion d'un film est-il transparent ou opaque ? Pourquoi ? Et celui du « papier photo » ?
- Pourquoi les solutions de sels d'argent sont-elles conservées dans des flacons en verre fumé ?

Quelles précautions doit-on prendre en manipulant film ou papier photographiques ?

Corrigé des exercices

Sources et récepteurs de lumière

Exercice 1

- Tout corps qui émet de la lumière est par définition une source lumineuse.
- Les solides ne sont pas seuls à pouvoir être incandescents : la lave d'un volcan est un exemple de **liquide incandescent**; une flamme est un exemple de **gaz incandescent**.
- Un objet éclairé est une source lumineuse **secondaire** qui diffuse une partie de la lumière qu'il reçoit.
- Certains corps peuvent émettre de la lumière à **température ambiante**, par luminescence (phosphorescence ou fluorescence) : paroi d'un tube fluorescent, luciole femelle, surface d'un écran TV.
- Une photopile (ou cellule photovoltaïque) est un **générateur électrique** : une tension apparaît à ses bornes lorsqu'elle est éclairée.

Sources et récepteurs de lumière

Exercice 2

La Lune est une source lumineuse **secondaire** ; elle n'émet pas de lumière mais elle diffuse la lumière qu'elle reçoit du Soleil.

Sources et récepteurs de lumière

Exercice 3

La lave d'un volcan émet de la lumière par **incandescence**.

Sources et récepteurs de lumière

Exercice 4

Dans l'obscurité totale, tous les chats sont noirs; autrement dit on ne les voit pas.

Si l'obscurité n'est pas totale, notre œil distingue encore les formes mais plus les couleurs.

Sources et récepteurs de lumière

Exercice 5

L'**iris** est un diaphragme qui s'ouvre ou se ferme par réflexe en fonction de l'intensité lumineuse.

La **rétine** reçoit l'image comme un film photographique et crée un signal transmis au cerveau par le nerf optique.

Sources et récepteurs de lumière

Exercice 6

La phosphorescence et la fluorescence sont des émissions de lumière par certains matériaux à température ambiante. Elles ont lieu après que ces matériaux ont absorbé de l'énergie. Cette énergie porte les atomes ou les molécules à un état excité; l'émission de lumière a lieu lors du retour de ces atomes ou molécules à leur état normal.

La phosphorescence est une émission qui **persiste** plusieurs secondes après l'excitation alors que la fluorescence est une émission qui **cesse** avec la fin de l'excitation.

Chapitre 13. La propagation de la lumière

La lumière se propage depuis la source qui l'émet jusqu'à l'œil qui la regarde, ou jusqu'aux récepteurs de lumière. Comment se propage-t-elle ? En observant les bords droits d'un faisceau lumineux, on peut penser que la propagation de la lumière est rectiligne. Diverses expériences vont confirmer cette hypothèse.

1 Observations avec une chambre noire

Une **chambre noire** est une boîte fermée. Un petit **trou** percé sur une des faces laisse entrer la lumière. La face opposée, faite d'une feuille de papier calque, sert d'**écran**.



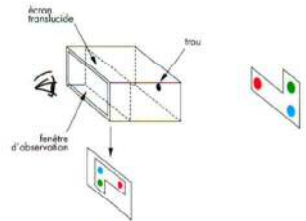
(National Geographic, août 1989)

EXPERIENCE Observons le monde extérieur avec la chambre noire. Le résultat est surprenant: sur l'écran translucide apparaît une image colorée, lumineuse, renversée et un peu floue.

On améliore l'observation en réalisant une relative obscurité autour de l'écran. Pour cela, on forme avec ses mains, ou avec une feuille de papier, une visière. On obtient le même résultat en rentrant simplement l'écran à l'intérieur de la boîte.

EXPERIENCE Afin de rendre le phénomène plus lumineux, on recommence l'expérience précédente en prenant comme sources 3 lampes de couleurs différentes. On observe bien l'image colorée et renversée de ces 3 lampes.

La chambre noire a été utilisée dès le XVI^e siècle pour la reproduction de dessins. Elle est le précurseur de l'appareil photographique. Essayons de définir comment se forme l'image.



«Le monde à l'envers» sur l'écran d'une chambre noire.

Sources et récepteurs de lumière Exercice 7

Exemples d'applications de photopiles : calculatrice, téléphone de secours le long d'une autoroute, maintien de la charge des batteries de bateaux, posémètre d'un appareil de photo, alimentation électrique de chalets d'alpage, ...

Sources et récepteurs de lumière Exercice 8

Il n'y a pas de corrigé pour ce exercice.

Sources et récepteurs de lumière Exercice 9

- a) Il n'y a pas de corrigé pour ce exercice.
- b) Il y a *diffusion* lorsque la lumière est renvoyée dans toutes les directions. Il y a *réflexion* lorsque la lumière est renvoyée dans une direction privilégiée.

Sources et récepteurs de lumière Exercice 10

Les photorésistances des appareils photographiques sont utilisées dans un circuit électrique qui permet de régler le temps de pose.

Sources et récepteurs de lumière Exercice 12

- a) Durant son développement, la pellicule photographique doit être dans l'obscurité totale pour éviter que la lumière ambiante n'impressionne le film.
- b) Les parties de la pellicule qui ont reçu de la lumière lors de la prise de vue apparaissent noires après le développement. Ainsi, les parties claires du sujet photographié sont sombres sur la pellicule.
- c) Des deux pellicules, la plus sensible est celle qui est désignée par la plus grande valeur exprimée en ASA ou en DIN. Le film le plus sensible nécessite une quantité de lumière moindre pour être exposé correctement.

Sources et récepteurs de lumière Exercice 13

- a) L'épreuve finale sur papier est appelée positif car les parties claires du sujet photographié apparaissent claires sur l'épreuve.
- b) Le support de l'émulsion d'un film est transparent car, lors de l'agrandissement, la lumière doit traverser le négatif pour éclairer le papier.

Le support de l'émulsion du papier photo est opaque pour éviter que l'on voie à travers lorsqu'on regarde la photographie.

- c) Les solutions de sel d'argent sont conservées dans des flacons opaques parce qu'ils se dégradent sous l'action de la lumière.

Un film non développé ne doit être manipulé que dans l'obscurité totale. Un papier photo non développé ne doit être manipulé qu'à la lumière d'une lampe spéciale de laboratoire (rouge ou jaune).

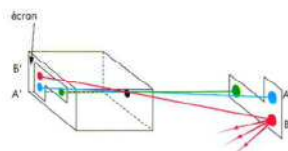
2 Formation de l'image

Interprétation

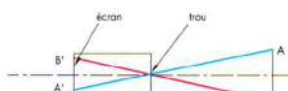
L'image est renversée mais non déformée; cela s'explique de la manière suivante:

Dans un milieu transparent et homogène comme l'air, la lumière se propage de manière rectiligne. On nomme rayons les droites qui figurent cette propagation.

Chaque point de la source émet des rayons lumineux dans toutes les directions. De tous ces rayons, ceux qui passent par le trou de la chambre noire viennent frapper l'écran. Il en est ainsi des rayons issus de A, donnant l'image A' et des rayons issus de B, donnant l'image B'.



Interprétation de la formation de l'image sur l'écran. En haut, en perspective. En bas, construction dans le plan défini par A, B et le trou.



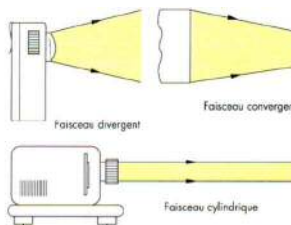
Faisceaux lumineux

Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons provenant d'une même source.

Le sens de propagation de la lumière est indiqué par une flèche sur les schémas.

Un faisceau lumineux est dit **convergent** lorsqu'il se resserre. Il est dit **divergent** lorsqu'il s'élargit. S'il ne se resserre ni ne s'élargit, il est dit **cylindrique**, ou encore **parallèle**.

On appelle **pinceau lumineux** un faisceau étroit.

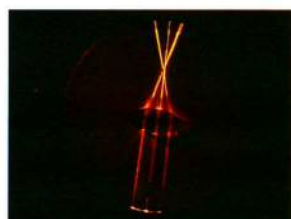


Opaque, translucide et transparent

Une plaque est **opaque** lorsqu'aucune lumière ne peut la traverser (bois, pierre, papier d'aluminium).

Une plaque est **translucide** lorsque la lumière qui la traverse est déviée n'importe comment. La vision est floue à travers une telle plaque (papier calque, verre dépoli).

Une plaque est **transparente** lorsque la lumière qui la traverse est déviée de manière régulière. La vision est nette à travers une telle plaque (vitre).



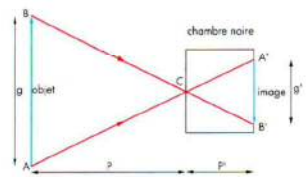
Pinceaux lumineux.

3 Qualité de l'image

Est-il possible d'améliorer la netteté, d'augmenter la luminosité ou de faire varier la taille de l'image ?

EXPERIENCE On place un objet de grandeur **g** devant une chambre noire; on peut observer que:

- si l'on augmente la distance **p** entre l'objet et le trou, la grandeur **g'** de l'image diminue;
- si l'on augmente la distance **p'** entre le trou et l'écran (profondeur de la chambre noire), la grandeur **g'** de l'image augmente;
- les triangles ABC et A'B'C étant semblables, ces quatre paramètres satisfont la relation: $\frac{p'}{p} = \frac{g'}{g}$;
- si l'on augmente le diamètre du trou, l'image devient plus lumineuse, mais moins nette.



Formation d'une image par une chambre noire.

Interprétation

Le trou n'étant pas infiniment petit, chaque point de l'objet envoie vers l'écran un pinceau lumineux, cône de lumière s'appuyant sur le cercle d'entrée.

A chaque point de l'objet correspond une tache sur l'écran (et non plus un point).

Les différentes taches obtenues se chevauchent partiellement:

- si elles sont très petites, le chevauchement est faible et l'image paraît nette (comme si un seul rayon était entré);
- si elles sont plus grandes, le chevauchement est important et l'image est floue.

Il est évident que plus les pinceaux sont ouverts, plus la quantité de lumière qui arrive sur l'écran est grande, donc plus l'image est lumineuse.

4 La vitesse de la lumière

Contrairement aux apparences, la lumière ne se propage pas instantanément entre la source et le récepteur. Depuis le XVII^e siècle, des observations et des expériences ont permis de le prouver. La valeur de la vitesse de la lumière dépend du milieu dans lequel elle se propage.

La valeur approchée de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air est de 300 000 kilomètres par seconde.

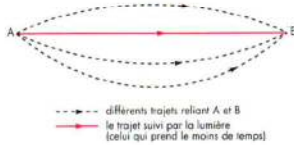
Ainsi, la lumière met environ une seconde pour venir de la Lune, 8 minutes pour venir du Soleil et 4,3 ans pour venir de l'étoile la plus proche, Proxima du Centaure.



Coucher de Soleil sur le lac Léman.

5 Le principe de Fermat

La propagation de la lumière entre deux points d'un même milieu homogène est **rectiligne**. Cela concorde avec l'énoncé du principe de Fermat: la lumière, pour relier ces deux points, suit le trajet lui prenant le **moins de temps**.

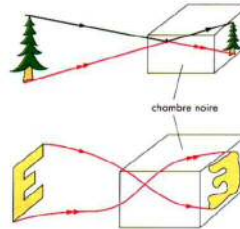


E KERCICES

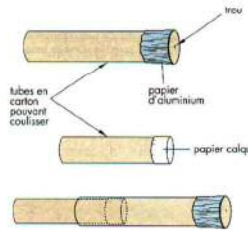
1 Vrai ou faux ?

- La lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène et transparent.
- L'image obtenue sur l'écran de la chambre noire est toujours en noir et blanc.
- Le diamètre du trou de la chambre noire n'a aucune influence sur la qualité de l'image.
- Un ensemble de rayons lumineux provenant d'une même source constitue un faisceau lumineux.
- Un faisceau lumineux conique peut être convergent ou divergent.

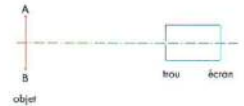
2 Est-ce possible ?



3 Construire une chambre noire à coulisse en suivant les indications de la figure. Avec cet appareil, observer un objet bien éclairé ou un paysage ensoleillé. Faire varier la longueur de la chambre et noter ce que l'on peut observer.



4 Reproduire le croquis de la figure et construire l'image A'B' de l'objet AB sur l'écran.



5 En utilisant une chambre noire, étudier ce qui se passe quand on ne fait varier que la distance entre l'objet et le trou. Confirmer les résultats par une construction graphique.

6 Sur un morceau de carton épais (ou de polystyrène), piquer deux épingles à une vingtaine de centimètres l'une de l'autre. Par visée, en piquer une troisième qui paraisse alignée avec les deux premières.

Vérifier l'alignement avec une règle. En déduire une méthode qui permette de vérifier que des piquets plantés pour installer une clôture sont alignés, sans utiliser un cordeau.

7 On règle un projecteur pour qu'il envoie un faisceau cylindrique sur un écran. On dispose de deux diaphragmes (plaque opaque percée d'un trou circulaire).

A quelle condition l'interposition des deux diaphragmes dans le faisceau permet-elle d'obtenir une tache lumineuse sur l'écran ?

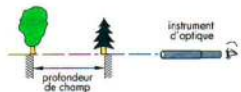
Quelle forme aura la tache sur l'écran si on utilise un seul diaphragme percé d'un trou ayant la forme d'une étoile ?

8 Se munir d'une lampe de poche, de feuilles de matière plastique transparente (ou de lames de verre), de feuilles de papier calque, de cartons de différentes épaisseurs.

- a) Dans la pénombre, regarder la lampe de poche allumée à travers les différents matériaux. Noter ce que l'on peut observer.
- b) Recommencer en utilisant le papier calque, mais en faisant varier l'épaisseur (superposition de plusieurs feuilles). Quelle conclusion peut-on en tirer ? L'eau est-elle toujours transparente ?

E KERCICES

9 On appelle **profondeur de champ** la distance maximale séparant deux objets dont les images formées par un instrument d'optique sont nettes simultanément.



Par construction ou par observation, déterminer si la profondeur de champ d'une chambre noire est petite ou grande.

10 En regardant latéralement le faisceau issu d'un projecteur à diapositives dans une salle obscure, on ne voit rien. Pourquoi ?

En saupoudrant de la craie dans le faisceau, on le voit. Expliquer pourquoi.

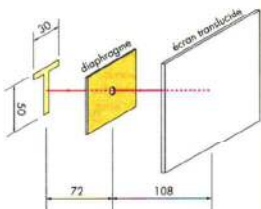
Chercher d'autres exemples.

11 Est-il possible de recueillir l'image obtenue avec le trou d'une chambre noire sur un écran opaque et de l'observer ?

Imaginer un dispositif.

12 En forêt, vous souhaitez connaître la hauteur d'un arbre. Vous disposez pour cela d'un bâton de 50 cm de longueur. Comment pouvez-vous faire ?

13 Un T lumineux est placé devant un diaphragme à trou circulaire.



Calculer les dimensions de l'image du T.

14 Quelle est, en kilomètres, la distance parcourue par la lumière en un clignement d'œil (un dixième de seconde) ?

15 Les distances astronomiques s'évaluent souvent en années-lumière. Sachant qu'une année-lumière représente la distance parcourue par la lumière, dans le vide, en un an. Calculer cette distance.

16 La distance qui nous sépare de la Lune est d'environ 380 000 km, celle qui nous sépare du Soleil de 150 millions de km et celle qui nous sépare de l'étoile Proxima de 4,3 années-lumière.

- a) Combien de temps la lumière met-elle pour nous parvenir de ces trois corps célestes ?
- b) Calculer la distance qui sépare le Soleil de Proxima en mètres.
- c) Dans le calcul de b), doit-on tenir compte de la distance Soleil-Terre (150 millions de km) ?

Justifier la réponse.

ÉTUDE DE DOCUMENTS

17 Galilée (1564 - 1642) est sans doute le premier savant à avoir recouru systématiquement à l'expérience, parfois à l'expérience par la pensée, pour s'expliquer le monde. À ce titre, on le considère souvent comme le fondateur de la science moderne. Ce qui est aussi nouveau chez Galilée, c'est sa conviction que les observations faites par l'homme peuvent être affinées grâce aux instruments. Il était bien persuadé de l'existence des montagnes lunaires et des satellites de Jupiter qu'il découvrit avec sa fameuse lunette tandis qu'à l'époque, nombreux étaient ceux qui pensaient qu'un tel instrument était source d'illusions.

Du temps de Galilée, on se rendait bien compte que la lumière se propage plus vite que le son. Le décalage entre le moment où l'on voit le geste d'un homme qui frappe sur une enclume et le moment où l'on entend le son produit est évident lorsque l'homme est assez éloigné. De même, le décalage entre la vision d'un éclair et l'instant où l'on perçoit le coup de tonnerre. Mais la lumière a-t-elle besoin de temps pour se propager ou est-elle présente partout instantanément ? C'est une question que certains hommes se posaient déjà depuis la nuit des temps. Voici comment Galilée proposa d'y répondre par une expérience.

Deux hommes, munis chacun d'une lanterne, se placent face à face. L'un allume la lanterne qu'il porte l'autre, dès qu'il perçoit la lumière, allume à son tour sa lanterne. Le premier peut évaluer l'intervalle de temps séparant l'instant où il a ouvert sa lanterne de celui où il a vu la lumière issue de la seconde.

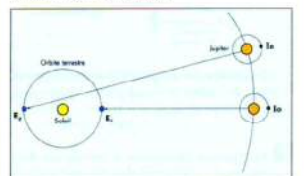


Les deux hommes se placent ensuite à grande distance l'un de l'autre, sur deux montagnes par exemple, et renouvellent l'expérience. Le premier peut maintenant apprécier si l'intervalle de temps est plus long qu'avant.

En connaissant cette augmentation du temps et la distance séparant les deux hommes, Galilée pouvait en principe calculer la vitesse de la lumière.

Quelques dizaines d'années plus tard, l'astronome danois **Römer** (1644 - 1710) observait les satellites de Jupiter. Il s'intéressait particulièrement à l'un de ces satellites, appelé **Io**, proche de la grande planète et régulièrement éclipsé par cette dernière. À chaque tour, la réapparition de ce satellite est bien visible; Io se comporte un peu comme une lampe qui s'allume à

intervalles très réguliers près de Jupiter. Römer nota l'heure exacte à laquelle il revoyait le satellite et il remarqua que pendant les six mois où la Terre se rapproche de Jupiter, cette heure avance progressivement et que, les six mois suivants, lorsque la Terre s'éloigne de Jupiter, cette heure retarde progressivement. Il nota un écart atteignant 22 minutes.



Römer comprit alors que l'on pouvait expliquer ce phénomène en sachant, que pendant ces six mois, la distance séparant la Terre de Jupiter varie d'une valeur égale au diamètre de l'orbite terrestre. Pour Römer, la lumière mettait donc 22 minutes à parcourir une distance qui était alors estimée à 280 millions de kilomètres. Römer put donc calculer que la vitesse de la lumière est d'environ 210 000 kilomètres par seconde. On sait aujourd'hui que l'écart est en réalité de 16,7 minutes au lieu de 22 et que le diamètre de l'orbite terrestre est d'environ 300 millions de kilomètres, ce qui donne une vitesse de la lumière de l'ordre de 300 000 km/s. Quoi qu'il en soit, la précision de Römer était déjà remarquable. Disposer d'une pendule qui ne varient pas de plus de cinq minutes en six mois n'était probablement pas facile à son époque !

Peu nombreux furent ceux qui eurent à l'esacritude de la conclusion de Römer. La plupart des hommes de science, **Newton** excepté, continuaient à croire que la lumière était sans mouvement, présente partout en même temps.

- a) Que pouvait conclure logiquement Galilée par son expérience des deux lanternes ?
- b) Dans le raisonnement attribué à Römer, tout se passe comme si Jupiter demeurait fixe pendant que la Terre accomplit une demi-révolution autour du Soleil. En fait, sur le dessin, on a tenu compte d'un petit déplacement de Jupiter durant ces six mois. Qu'en est-il en réalité ? Le dessin est-il correct à cet égard ? Peut-on négliger le déplacement de Jupiter dans le calcul ?
- c) Calculer le temps total que la lumière met pour nous parvenir de Jupiter dans le cas de la position E₁.

Corrigé des exercices

Propagation de la lumière

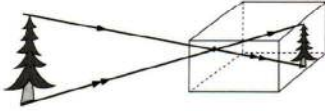
Exercice 1

- La lumière se propage effectivement en ligne droite dans un milieu homogène et transparent.
- L'image obtenue sur l'écran d'une chambre noire est *en couleurs*.
- Le diamètre du trou de la chambre noire influence la qualité de l'image : *plus le trou est petit plus l'image est nette; plus le trou est grand plus l'image est lumineuse.*
- Par définition un ensemble de rayons lumineux provenant d'une même source constitue un faisceau lumineux.
- Un faisceau lumineux conique est *divergent* si les rayons issus d'un même point s'écartent les uns des autres; il est *convergent* si les rayons se rapprochent les uns des autres pour passer par un même point.

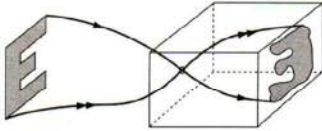
Propagation de la lumière

Exercice 2

- Situation impossible car les rayons se propagent suivant une ligne brisée et forment une image qui n'est pas renversée.



- Situation impossible car les rayons se propagent suivant une ligne courbe.



Propagation de la lumière

Exercice 3

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Propagation de la lumière

Exercice 8

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Propagation de la lumière

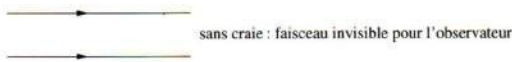
Exercice 9

La profondeur de champ d'une chambre noire est très grande (la netteté de l'image ne dépend pas de la distance à laquelle se trouve l'objet mais du diamètre du trou).

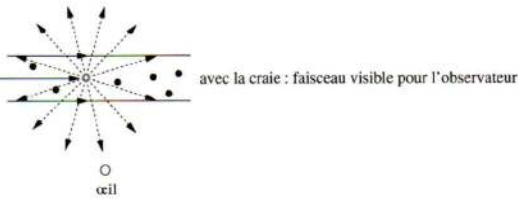
Propagation de la lumière

Exercice 10

Le faisceau est mis en évidence par les particules de craie qui diffusent la lumière dans toutes les directions.



œil



Autres exemples : faisceau des phares de voiture dans le brouillard, faisceau d'un projecteur de diapositives dans la fumée, faisceau laser dans des fumigènes lors de certains spectacles, faisceau dans de l'eau contenant de la fluorescéine, ...

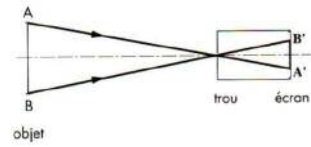
Propagation de la lumière

Exercice 11

Il est possible d'observer l'image sur l'écran opaque d'une chambre noire à condition d'être à l'intérieur. Si la luminosité extérieure est suffisante, on peut observer sur le mur d'une chambre l'image du paysage par un trou dans le volet fermé d'une fenêtre.

Propagation de la lumière

Exercice 4



Le rayon issu du point A qui passe par le trou éclaire l'écran en A'; A' est l'image de A.

Le rayon issu du point B qui passe par le trou éclaire l'écran en B'; B' est l'image de B.

Propagation de la lumière

Exercice 5

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Propagation de la lumière

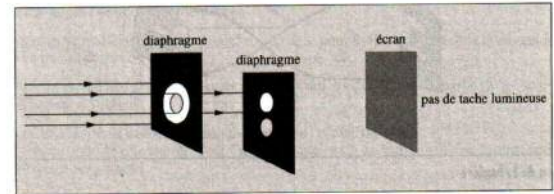
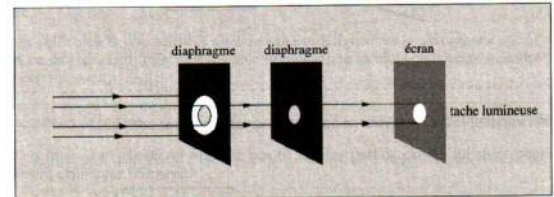
Exercice 6

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Propagation de la lumière

Exercice 7

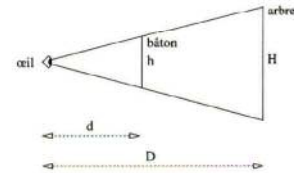
On obtient une tache lumineuse sur l'écran si les deux diaphragmes sont alignés sur le faisceau :



Propagation de la lumière

Exercice 12

Pour mesurer la hauteur H de l'arbre, il faut tenir le bâton verticalement à bout de bras afin qu'il cache exactement l'arbre.



On mesure :

- la hauteur du bâton : $h = 50$ cm
- la distance d entre son œil et le bâton
- la distance D à laquelle se trouve l'arbre (Toutes ces distances sont exprimées dans la même unité).

Par les propriétés des triangles semblables : $\frac{H}{h} = \frac{D}{d}$ donc $H = \frac{h \cdot D}{d}$

Exemple : $h = 50$ cm; $d = 70$ cm; $D = 2500$ cm

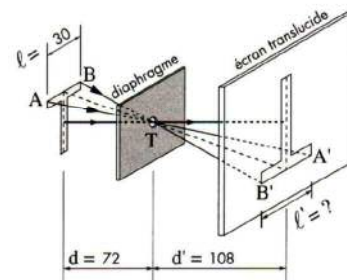
$$\text{la hauteur de l'arbre vaut : } H = \frac{50 \text{ cm} \cdot 2500 \text{ cm}}{70 \text{ cm}} = 1500 \text{ cm} = 15 \text{ m}$$

Propagation de la lumière

Exercice 13

On construit l'image du T sur l'écran (chaque point et son image sont sur le même rayon passant par le trou; chaque côté du T est parallèle à son image)

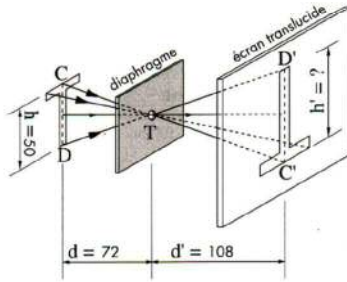
a) Détermination de ℓ'



Données : $\ell = 30$ unités : largeur du T
 $d = 72$ unités : distance du T au trou de la chambre noire
 $d' = 108$ unités : distance du trou de la chambre noire à l'image du T

Les triangles ABT et $A'B'T$ sont semblables ; $\frac{\ell}{\ell'} = \frac{d}{d'}$ donc $\ell' = \frac{\ell \cdot d'}{d} = \frac{30 \cdot 108}{72} = 45$ unités

b) Détermination de h'



Données : $h = 50$ unités : hauteur du T
 $d = 72$ unités : distance du T au trou de la chambre noire
 $d' = 108$ unités : distance du trou de la chambre noire à l'image du T

Les triangles CDT et $C'D'T$ sont semblables ; $\frac{h}{h'} = \frac{d}{d'}$ donc $h' = \frac{h \cdot d'}{d} = \frac{50 \cdot 108}{72} = 75$ unités

Propagation de la lumière **Exercice 14**

La distance parcourue par la lumière ou par tout mobile se déplaçant à vitesse constante est donnée par le produit de sa vitesse par le temps de parcours :

$$\text{distance parcourue} = \text{vitesse} \cdot \text{temps de parcours}$$

Les grandeurs citées doivent être exprimées dans des unités compatibles.

a) $c = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ = vitesse de la lumière dans le vide (l'abréviation $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ est équivalente à km/s)
 $t = 0,1 \text{ s}$ = temps de parcours

$$\text{Distance parcourue} : d = c \cdot t = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,1 \text{ s} = 30\,000 \text{ km}$$

b) $c = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ = vitesse de la lumière dans le vide (l'abréviation $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ est équivalente à km/s)
 $d = 12 \text{ km}$ = distance parcourue

$$\text{Temps de parcours} : t = \frac{d}{c} = \frac{12 \text{ km}}{300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} = 0,00004 \text{ s}$$

Chapitre 14. Ombres et éclipses

L'ombre, qui ne l'a recherchée par une belle journée ensoleillée ! D'ailleurs, elle rythme notre vie, au fil des jours et des nuits et donne aussi l'heure.

1 Des ombres à petite échelle

EXPÉRIENCE Avec une source ponctuelle

A l'aide d'un projecteur muni d'un diaphragme (source quasiment ponctuelle), on éclaire un écran et on obtient une zone éclairée. On intercale un cône entre le projecteur et l'écran.

Ombre portée

La partie de l'espace située derrière le cône ne reçoit pas de lumière : c'est la **zone d'ombre**. Son intersection avec l'écran opaque crée l'**ombre portée**.

Remarque : on passe sans transition de la zone éclairée à la zone obscure ; l'interface entre les deux est nette.



S'il y a de l'ombre, c'est qu'il y a du soleil!

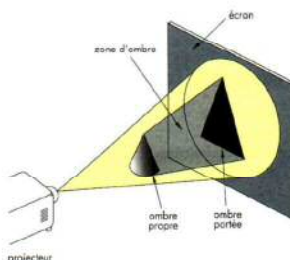
Ombre propre

La partie de l'objet située à l'opposé de la source n'est pas éclairée : c'est l'**ombre propre**.

Interprétation

Dans un milieu transparent et homogène, la lumière se propage en ligne droite.

Un objet opaque placé dans un faisceau lumineux constitue un obstacle que la lumière ne contourne pas. Ainsi s'explique la formation de l'ombre portée derrière l'objet et de l'ombre propre sur l'objet.



Principe de formation des ombres avec une source ponctuelle.

Propagation de la lumière **Exercice 15**

$c = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ = vitesse de la lumière dans le vide (l'abréviation $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ est équivalente à km/s)

$t = 1 \text{ année} = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 31\,536\,000 \text{ s} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$ = temps de parcours

Distance parcourue : $d = c \cdot t = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$

$$1 \text{ année-lumière} = 1 \text{ al} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Propagation de la lumière **Exercice 16**

a) Dans les trois cas, le temps de parcours de la lumière est donné par : $t = \frac{d}{c}$

où d est la distance parcourue et c la vitesse de la lumière

Lune	Soleil	Proxima
$d = 380\,000 \text{ km}$	$d = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$	$d = 4,3 \text{ al}$
$t = \frac{d}{c} = \frac{380\,000 \text{ km}}{300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} = 1,27 \text{ s}$	$t = \frac{d}{c} = \frac{150 \cdot 10^6 \text{ km}}{300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} = 500 \text{ s} = 8 \text{ minutes } 20 \text{ s}$	Par définition de l'année-lumière (voir exercice 15) on trouve immédiatement le temps mis par la lumière pour parvenir de Proxima : $t = 4,3 \text{ années}$

b) Si l'on ne tient pas compte de la distance Terre-Soleil, la distance Soleil-Proxima vaut 4,3 al. En se référant à la définition de l'année-lumière (voir exercice 15), on obtient :

$$d = 4,3 \cdot 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m} = 4 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

c) Il n'est pas nécessaire de tenir compte de la distance de la Terre au Soleil dans le calcul précédent car cette distance est négligeable par rapport à la distance entre le Soleil et Proxima : si l'on représente la distance Soleil-Proxima par la distance Berne-Londres, la distance Terre-Soleil serait représentée par environ 4 millimètres.

Propagation de la lumière **Exercice 17**

a) Galilée ne pouvait que conclure que la vitesse de la lumière était infinie car le temps de réaction des personnages était beaucoup plus grand que le temps de propagation de la lumière. Il aurait fallu pouvoir réaliser cette expérience sur des distances plus grandes que la dimension de la Terre.

b) En réalité Jupiter se déplace d'un angle d'environ 15° sur son orbite en 6 mois. A cet égard, le dessin de l'énoncé est correct. Il faut tenir compte de ce déplacement dans le calcul.

c) Distance Jupiter-Soleil : $778 \cdot 10^6 \text{ km}$

Distance Terre-Soleil : $150 \cdot 10^6 \text{ km}$

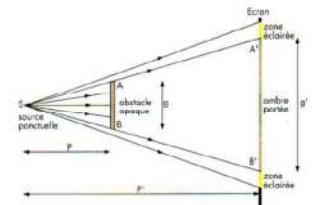
Distance Terre-Jupiter dans la position E_1 : $d = 778 \cdot 10^6 \text{ km} - 150 \cdot 10^6 \text{ km} = 628 \cdot 10^6 \text{ km}$

$$\text{Temps de parcours de la lumière} : t = \frac{d}{c} = \frac{628 \cdot 10^6 \text{ km}}{300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} = 2093 \text{ s} = 34 \text{ minutes } 53 \text{ s}$$

En se plaçant derrière l'objet et en regardant vers la source, un déplacement latéral permet de vérifier que la source est **occultée**, c'est-à-dire cachée par l'objet.

Dimension de l'ombre portée

Une source ponctuelle S est placée à la distance p d'un objet opaque de dimension g . On désigne par g' la dimension correspondante de l'ombre portée sur un écran situé à la distance p' de la source.

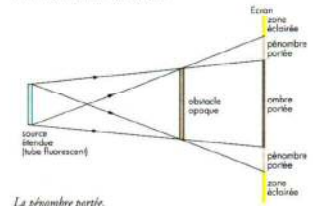


L'ombre portée d'un objet opaque.

Les triangles ABS et $A'B'S$ étant semblables, ces quatre paramètres sont liés par la relation : $\frac{p'}{p} = \frac{g'}{g}$

La pénombre portée

Si la source est étendue, il se forme aussi une zone de pénombre portée sur l'écran. Elle se présente sous la forme d'un dégradé du plus sombre au plus clair. Chaque point de la pénombre n'est éclairé que par une partie de la source ; l'autre partie est occultée par l'obstacle opaque.



La pénombre portée.

2 Des ombres à grande échelle

On peut assimiler le Soleil, la Terre et la Lune à des sphères. La Terre tourne autour du Soleil et la Lune autour de la Terre. Le Soleil apparaît pour la Terre ou la Lune comme une source lumineuse étendue.



Premier quartier.

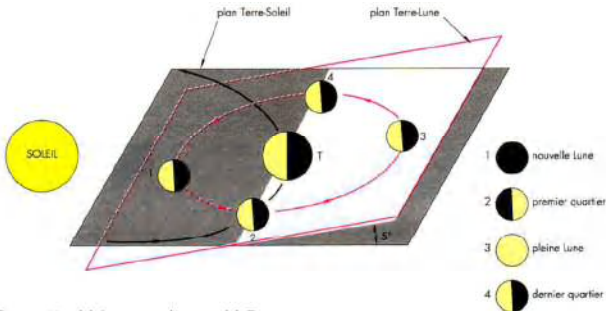
Phases de la Lune

Quelles que soient les positions respectives des trois astres, le Soleil éclaire à peu près la moitié de la Lune. Cependant, pour un observateur terrestre, l'aspect observé change selon la position de la Lune sur sa trajectoire autour de la Terre. La succession des **phases de la Lune** dure 29 jours et demi ; c'est la **lunaison**.

Remarque : selon sa situation sur la Terre (hémisphère nord ou sud, proche ou non de l'équateur), l'observateur aura une vision différente des phases de la Lune.



Dernier quartier.

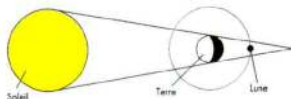


Différentes positions de la Lune sur son orbite autour de la Terre. À droite, l'aspect de la Lune vu par un observateur terrestre (situé dans l'hémisphère nord, en sous-tropiques).

Eclipse de Lune

La Terre, éclairée par le Soleil, forme un cône d'ombre. Il y a éclipse de Lune quand la Lune traverse ce cône d'ombre, ce qui ne peut avoir lieu que lors d'une pleine Lune.

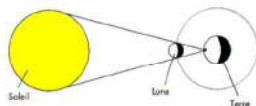
Quand il y a éclipse, le Soleil, la Terre et la Lune sont alignés dans cet ordre.



Eclipse de Lune.

Eclipse de Soleil

La Lune, éclairée par le Soleil, forme également un cône d'ombre. Il y a éclipse de Soleil quand la Terre le traverse, ce qui ne peut avoir lieu que lors d'une nouvelle Lune. Le Soleil, la Lune et la Terre sont alors alignés dans cet ordre et le Soleil est occulté pour un Terrien se trouvant dans la zone concernée.



Eclipse de Soleil.

Remarque: comme l'orbite de la Lune et celle de la Terre ne sont pas exactement dans le même plan, il n'y a pas éclipse de Lune à chaque pleine Lune, ni éclipse de Soleil à chaque nouvelle Lune.

EXERCICES

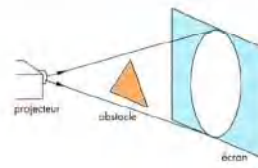
1 Vrai ou faux ?

- L'ombre propre se trouve sur la face de l'objet opposée à la source de lumière.
- La pénombre est due au fait que la lumière ne se propage pas en ligne droite dans l'air.
- Il y a une éclipse de Lune à chaque lunaison.
- Lors d'une éclipse, Terre, Lune, Soleil sont alignés.

2 La photographie représente-t-elle la nouvelle Lune ou la pleine Lune ?



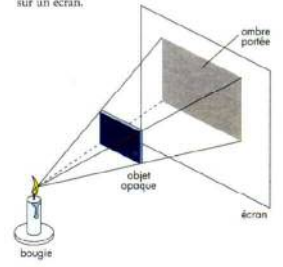
3 Reproduire la figure et construire l'ombre portée.



4 Rechercher dans un dictionnaire la signification des verbes «éclipser» et «occulter».

5 Quelles surfaces ou quels volumes peuvent donner, en étant correctement éclairés, une ombre portée circulaire sur un écran ? Faire des croquis.

6 La figure schématise la formation d'une ombre sur un écran.



Utiliser cette représentation pour trouver les ombres formées par le même objet éclairé par deux bougies voisines, dont les flammes sont à la même hauteur.

7 Pourquoi les salles d'opération sont-elles équipées de lampes en forme d'anneau ? Le même effet est recherché dans les stades.



- 8 Un astronaute sur la Lune regarde la Terre.
- Observe-t-il des phases pour la Terre ?
 - S'il s'y trouve quand se déroule une éclipse de Lune pour un observateur terrestre, à quel phénomène assiste-t-il ?

EXERCICES

9

Lorsque la Lune est «nouvelle», il arrive qu'un observateur terrestre la distingue en entier, mais faiblement éclairée (Lumière cendrée). Quelle est l'origine de cette lumière ?

10

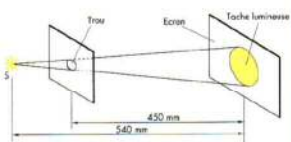
La forme de l'ombre portée de la Terre sur la Lune lors d'une éclipse a permis depuis longtemps d'affirmer que la Terre était ronde. Qu'en pensez-vous ?

11

Qu'appelle-t-on une éclipse partielle de Lune ? Dans quelles conditions se produit-elle ?

12

La figure représente un écran percé d'un trou circulaire placé entre un point lumineux S et un écran. Quel est le diamètre du trou si le diamètre de la tache lumineuse est égal à 30 mm ?



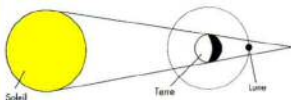
13

L'ombre d'une tour mesure 150 m sur un terrain horizontal. Quelle est la hauteur de cette tour si l'ombre d'un poteau vertical de 12 m de hauteur mesure 18 m sur le même terrain ?



14

On considère l'éclipse de Lune schématisée ci-dessous.



Calculer :

- la longueur (totale) du cône d'ombre de la Terre;
- la largeur de ce cône d'ombre là où il est traversé par la Lune (quand la Lune passe par le milieu du cône);
- le chemin parcouru par la Lune lorsqu'elle fait un tour autour de la Terre. (Vitesse de la Lune autour de la Terre: un tour en 28 jours);
- le chemin parcouru par la Lune pendant une éclipse totale quand la Lune passe par le milieu du cône;
- le temps que dure l'éclipse totale (temps maximal).

15

La sphère lumineuse éclaire l'écran. La sphère opaque crée, sur l'écran, une zone d'ombre et une zone de pénombre.



- Reproduire cette figure et construire les zones d'ombre et de pénombre sur l'écran.
- Peut-on, en réalité, distinguer les limites de la pénombre ?

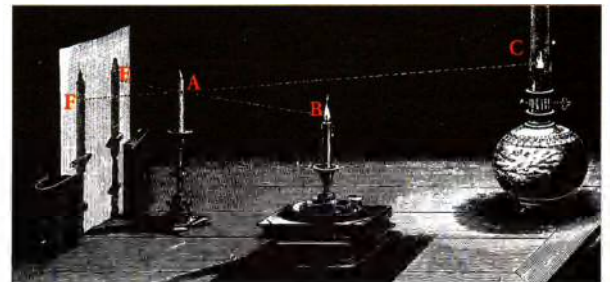
16

Avec une pièce de monnaie tenue à bout de bras, il est possible d'occulter une lampe de poche, un réverbère et même la pleine Lune, bien que ces sources soient de dimensions différentes, parce qu'elles sont à des distances différentes. On dit qu'elles sont vues sous le même diamètre apparent. Pourquoi est-il donné sous la forme d'un angle ? Pour répondre, utiliser des schémas.

ÉTUDE DE DOCUMENTS

17 Intensités lumineuses

Dans les «Récréations scientifiques», ouvrage de 1888, on trouve, sous la rubrique «Photométrie élémentaire», la figure ci-contre. La méthode indiquée était cependant déjà connue de Léonard de Vinci.



La légende dit «Allumant alors B et C, on produira deux ombres E et F auxquelles on arrivera facilement à donner exactement la même intensité de gris en reculant ou avançant l'une ou l'autre des deux sources de lumière. Ceci obtenu, les intensités lumineuses seront proportionnelles aux carrés des distances mesurées EB et FC ... La valeur lumineuse d'un bec se compte habituellement en bougies.»

- Quel est l'ordre de grandeur de l'intensité lumineuse de la lampe à pétrole par rapport à la bougie ?
- Pourquoi les ombres ne sont-elles pas identiques quand on place les deux sources d'une manière quelconque ?
- On peut admettre que l'intensité lumineuse d'une lampe est proportionnelle à sa puissance électrique. Si une lampe de puissance 0,6 W est située à 30 cm d'un objet, à quelle distance faut-il placer une lampe de puissance 1,8 W pour obtenir le même éclairement de cet objet ?

18 Eclipses de Soleil

Les éclipses de Soleil ont frappé l'imagination des peuples depuis fort longtemps. Quel pouvoir devait avoir l'homme capable de le prévoir !



- Dans quelle phase se trouve la Lune lors d'une éclipse de Soleil ?
- Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse à chaque lunaison ?
- Qu'observe un Terrien lors d'une éclipse totale ou partielle quand il est dans la zone concernée ?
- Que peut-on dire, pour un observateur terrestre, des diamètres apparents des deux astres ?
- Remettez de l'ordre dans les représentations d'une éclipse de Soleil (ci-dessous).

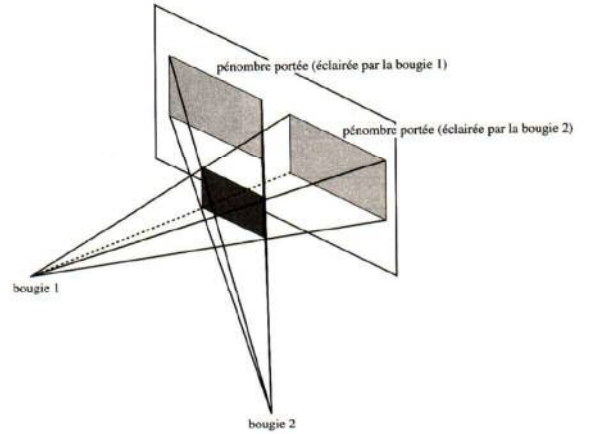
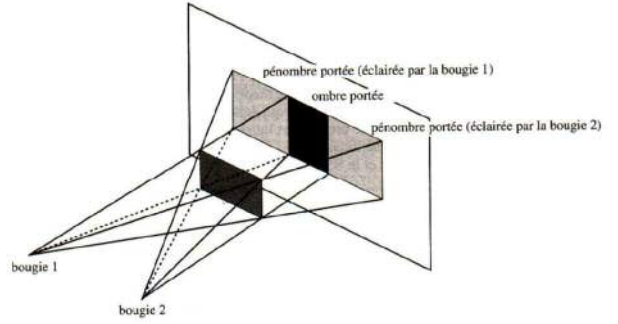


Corrigé des exercices

Ombres et éclipses

Exercice 6

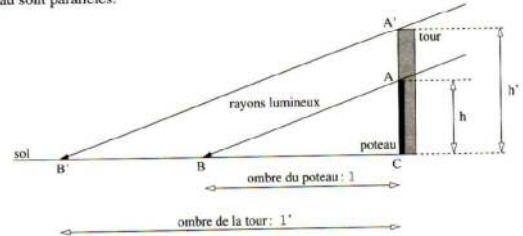
- Les points de la zone d'ombre portée ne sont pas éclairés du tout
- Les points de la zone de pénombre portée ne sont éclairés que par l'une des deux bougies



Ombres et éclipses

Exercice 13

A cause de la très grande distance entre le Soleil et la Terre, les rayons du Soleil qui éclairent la tour et le poteau sont parallèles.



On désigne par :

- $\ell = 18$ m : longueur de l'ombre du poteau
- $h = 12$ m : hauteur du poteau
- $\ell' = 150$ m : longueur de l'ombre de la tour
- h' : hauteur de la tour

Les triangles ABC et A'B'C sont semblables :

$$\frac{h'}{h} = \frac{\ell'}{\ell} \text{ donc } h' = \frac{h \cdot \ell'}{\ell} = \frac{12 \cdot 150}{18} = 100 \text{ m}$$

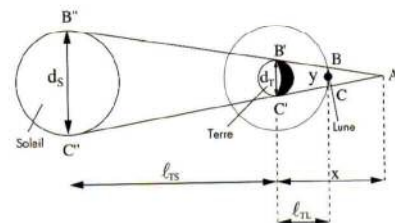
La tour mesure 100 m de hauteur.

Ombres et éclipses

Exercice 14

«Le système solaire» dans le chapitre MÉCANIQUE fournit les données suivantes :

- $d_S = 1\,400\,000$ km : diamètre du Soleil
- $d_T = 12\,800$ km : diamètre de la Terre
- $d_L = 3\,500$ km : diamètre de la Lune
- $\ell_{TS} = 150 \cdot 10^6$ km : distance Terre-Soleil
- $\ell_{TL} = 384\,000$ km : distance Terre-Lune



Ombres et éclipses

Exercice 1

- L'ombre propre se trouve effectivement sur la face de l'objet opposée à la source de lumière. (Voir «Des ombres à petite échelle» dans le livre de théorie).
- La pénombre est présente si la source de lumière qui éclaire l'objet opaque n'est pas ponctuelle mais étendue ou multiple. La lumière se propage en ligne droite dans de l'air homogène.
- Il n'y a pas d'éclipse de Lune à chaque lunaison.
- Lors d'une éclipse, la Terre, la Lune et le Soleil sont effectivement alignés.

Ombres et éclipses

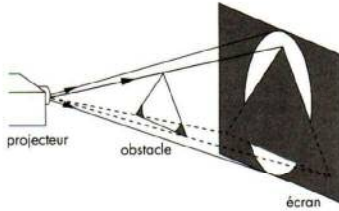
Exercice 2

La photographie représente la nouvelle Lune.

Ombres et éclipses

Exercice 3

- Les sommets du triangle opaque et les sommets de l'ombre portée doivent être alignés sur la source
- Les côtés du triangle opaque et les côtés correspondants de l'ombre portée doivent être parallèles



Ombres et éclipses

Exercice 4

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Ombres et éclipses

Exercice 5

Surfaces pouvant donner une ombre portée circulaire : disque, ellipse.

Volumes pouvant donner une ombre portée circulaire : sphère, cylindre, cône, œuf, ...

Ombres et éclipses

Exercice 7

L'éclairage des salles d'opération ou des salles de sport est prévu pour qu'il n'y ait pas de zone d'ombre.

Ombres et éclipses

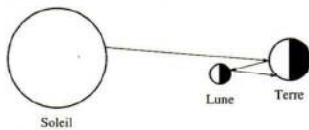
Exercice 8

- L'astronaute observe des phases pour la Terre, comme nous observons des phases pour la Lune.
- Il assiste depuis la Lune à une éclipse de Soleil.

Ombres et éclipses

Exercice 9

Lors de la nouvelle Lune, un observateur terrestre voit la face de la Lune qui se trouve dans l'ombre. Cette face est éclairée indirectement par la lumière diffusée une première fois par la Terre et une seconde fois par la Lune avant de parvenir à l'observateur.



Ombres et éclipses

Exercice 10

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

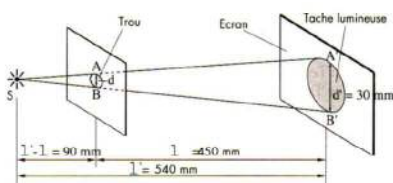
Ombres et éclipses

Exercice 11

Il y a éclipse partielle de Lune si une partie seulement de la Lune traverse le cône d'ombre de la Terre.

Ombres et éclipses

Exercice 12



- $d' = 30$ mm : diamètre de la tache
- $\ell = 450$ mm : distance du trou à l'écran
- $\ell' = 540$ mm : distance de la source à l'écran
- $\ell' - \ell = 90$ mm : distance de la source au trou

Les triangles SAB et SA'B' sont semblables :

$$\frac{d}{\ell' - \ell} = \frac{d'}{\ell} \text{ donc } d = \frac{(\ell' - \ell) \cdot d'}{\ell} = \frac{90 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} = 5 \text{ mm}$$

Le diamètre du trou vaut 5 mm.

On désigne par :

- x : la longueur totale du cône d'ombre de la Terre
- y : la largeur du cône d'ombre de la Terre sur la trajectoire de la Lune
- z : la longueur du chemin parcouru par la Lune durant un tour autour de la Terre
- z' : la longueur du chemin parcouru par la Lune durant une éclipse totale
- t : le temps que dure l'éclipse

a) Les triangles $AB'C'$ et $AB''C''$ sont semblables :

$$\frac{x}{x + \ell_{TS}} = \frac{d_T}{d_S} \Rightarrow x \cdot (d_S - d_T) = \ell_{TS} \cdot d_T$$

$$\text{On obtient : } x = \frac{\ell_{TS} \cdot d_T}{d_S - d_T} = \frac{150 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot 12\,800 \text{ km}}{1,4 \cdot 10^6 \text{ km} - 6400 \text{ km}} = 1,37 \cdot 10^6 \text{ km}$$

b) Les triangles ABC et $AB'C'$ sont semblables :

$$\frac{y}{x - \ell_{TL}} = \frac{d_T}{x}$$

$$\text{On obtient, en résolvant cette équation : } y = \frac{(x - \ell_{TL}) \cdot d_T}{x} = 9200 \text{ km}$$

c) Le chemin parcouru par la Lune pour un tour autour de la Terre est la longueur z de la circonférence de rayon ℓ_{TL} :

$$z = 2\pi \cdot \ell_{TL} = 2,41 \cdot 10^6 \text{ km}$$

d) L'éclipse totale commence à partir du moment où la Lune est entièrement contenue dans le cône d'ombre; la distance parcourue par la Lune durant l'éclipse totale est alors donnée par :

$$z' = y - d_L = 9200 \text{ km} - 3500 \text{ km} = 5700 \text{ km}$$

e) La Lune effectue un tour autour de la Terre ($z = 2,41 \cdot 10^6 \text{ km}$) en 28 jours ($T = 2,42 \cdot 10^6 \text{ s}$).

$$\text{Sa vitesse vaut : } v = \frac{z}{T} = 0,996 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \approx 1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

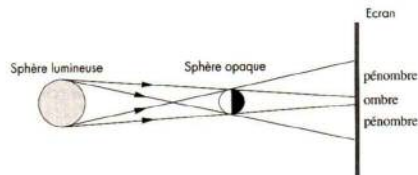
Le temps t pendant lequel elle se trouve entièrement dans le cône d'ombre vaut :

$$t = \frac{z'}{v} = \frac{5700 \text{ km}}{1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} = 5700 \text{ s} \approx 95 \text{ minutes}$$

Ombres et éclipses

Exercice 15

a)



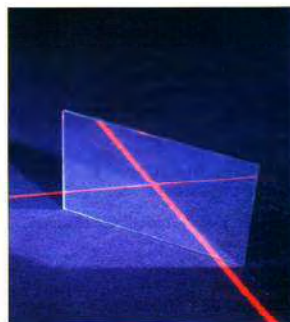
b) La zone de pénombre se présente sous la forme d'un dégradé du plus sombre (près de l'ombre) au plus clair. Les limites de la pénombre sont très difficiles à distinguer.

Chapitre 15. La réflexion de la lumière

La réflexion de la lumière est à l'origine de nombreuses applications quotidiennes : du miroir de salle de bains au rétroviseur de voiture. C'est aussi ce phénomène qui permet le fonctionnement des antennes paraboliques dans les installations de télécommunications.

1 Observation

Un rayon lumineux «rebondit» sur un miroir ou sur toute surface lisse et polie : c'est le phénomène de la réflexion de la lumière.



2 Définitions

Il est utile de donner les définitions suivantes :

point d'incidence I : point du miroir sur lequel arrive le rayon lumineux

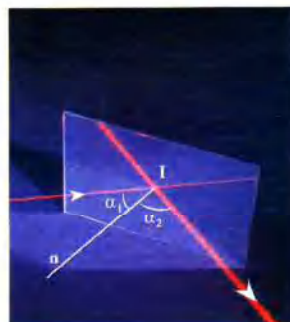
normale n au miroir : perpendiculaire au plan du miroir passant par **I**

rayon incident : rayon lumineux qui arrive sur le miroir

angle d'incidence α_1 : angle déterminé par le rayon incident et la normale n au miroir

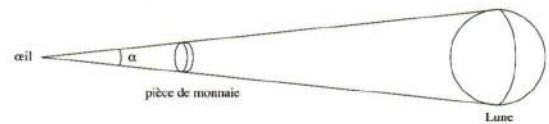
rayon réfléchi : rayon lumineux qui part du miroir

angle de réflexion α_2 : angle déterminé par le rayon réfléchi et la normale n au miroir



Ombres et éclipses

Exercice 16



Le diamètre apparent est l'angle α représenté sur la figure

Ombres et éclipses

Exercice 17

a) On considère à partir de la photographie que la lampe à pétrole est 1,4 fois plus éloignée de l'écran que la bougie. L'intensité de la lampe à pétrole est $(1,4)^2$ c'est-à-dire environ 2 fois plus grande que celle de la bougie.

b) Les «ombres» sur l'écran sont en fait des pénombres.

Si l'on rapproche la lampe à pétrole de l'écran, l'«ombre» F ne varie pas d'intensité mais l'«ombre» E (éclairée par la lampe à pétrole) devient plus claire.

Si l'on rapproche la bougie de l'écran, l'«ombre» E ne varie pas d'intensité mais l'«ombre» F (éclairée par la bougie) devient plus claire.

Les deux sources ne peuvent donc pas être placées n'importe comment pour donner des «ombres» de même intensité de gris.

Le meilleur moyen de comprendre cette expérience est de la réaliser soi-même.

c) La seconde lampe est trois fois plus puissante que la première; son intensité lumineuse est aussi trois fois plus grande.

Comme elle décroît avec le carré de la distance, la lampe puissante devra être placée à la distance $d = \sqrt{3} \cdot 30 \text{ cm} = 52 \text{ cm}$ de l'objet pour obtenir le même éclairement.

Ombres et éclipses

Exercice 18

a) Lors d'une éclipse de Soleil, elle se trouve en phase de nouvelle Lune.

b) Il n'y a pas d'éclipse à chaque lunaison car les orbites de la Lune et de la Terre ne sont pas exactement dans le même plan.

c) Un Terrien dans la zone d'une éclipse voit le Soleil totalement ou partiellement masqué par le passage de la Lune.

d) Vue depuis la Terre, la Lune occulte entièrement le Soleil lors d'une éclipse totale; les diamètres apparents des deux astres sont à peu près égaux.

e) En numérotant les images depuis la gauche, l'ordre chronologique est le suivant :

5 - 4 - 7 - 6 - 2 - 1 - 3

3 Lois de la réflexion

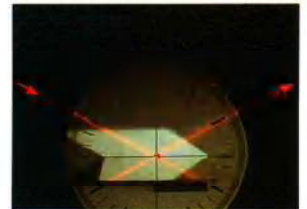
EXPERIENCE

Lorsqu'on mesure les angles d'incidence α_1 et de réflexion α_2 , on constate toujours que :

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

De plus, le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale au miroir se trouvent dans un même plan appelé **plan d'incidence**.

Ces deux propriétés constituent les lois de la réflexion.



4 L'image d'un objet

EXPERIENCE

En se regardant dans un miroir, on voit sa propre image.

Cette image n'est en fait qu'une illusion due à la réflexion de la lumière.



Position de l'image

Disposons une épingle devant une vitre et observons son image. Déplaçons derrière la vitre une seconde épingle jusqu'à la faire coïncider avec l'image de la première. On a déterminé ainsi la position de l'image. On constate que :

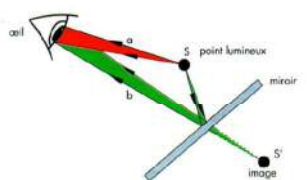
L'image est symétrique de l'objet par rapport au miroir.

Vision de l'image

L'œil de l'observateur capte les rayons issus de l'objet lumineux **après réflexion** sur le miroir. Pour le cerveau, tout se passe comme si la lumière provenait directement de l'image de l'objet.

Définition

Une telle image, située à l'intersection du prolongement des rayons réfléchis, est appelée **image virtuelle**.

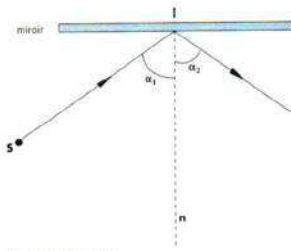


a) Vision directe d'un objet réel.
b) Vision de l'image virtuelle du même objet.

5 Construction du rayon réfléchi

En reportant les angles

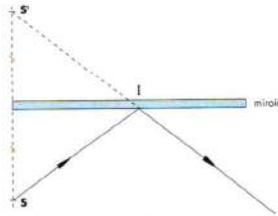
- construire la normale n au miroir passant par I ;
- mesurer l'angle d'incidence α_1 ;
- reporter de l'autre côté de la normale l'angle α_2 tel que $\alpha_2 = \alpha_1$.



En reportant les angles.

En construisant l'image de la source

- construire l'image S' de la source S ;
- construire le rayon réfléchi tel que son prolongement passe par S' .



En construisant l'image de la source.

6 Nombre d'images

Un miroir plan ne donne qu'une seule image d'un objet lumineux. Pour multiplier le nombre d'images, on utilise deux ou plusieurs miroirs sur lesquels la lumière subira des réflexions successives.

(Voir exercices 9 et 10)

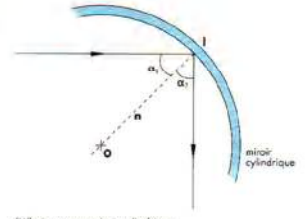


Images multiples d'une bougie placée entre deux miroirs parallèles.

7 Les miroirs sphériques ou cylindriques

La loi de la réflexion $\alpha_1 = \alpha_2$ est encore valable pour les miroirs sphériques (leur surface est une portion de sphère) ou cylindriques (leur surface est une portion de cylindre); la normale n à un tel miroir est déterminée par son rayon de courbure (droite passant par le centre O du cylindre ou de la sphère et le point d'incidence I).

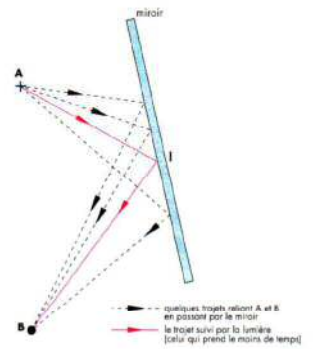
Les rayons du Soleil forment un faisceau parallèle. Après réflexion sur un tel miroir, ils convergent en un même point appelé **foyer** (voir exercice 16). La chaleur des rayons solaires se trouve concentrée au foyer. L'appareillage constitue un four solaire.



Réflexion sur un miroir cylindrique.

8 Principe de Fermat

En partant d'arguments géométriques (voir exercice 5), on peut affirmer que le trajet suivi par un rayon lumineux issu d'un point A et subissant une réflexion sur un miroir avant d'aboutir en un point B est le plus court de tous les trajets imaginables reliant A et B en passant par le miroir; par conséquent, c'est aussi le plus rapide. Le principe de Fermat, énoncé dans le cas de la propagation rectiligne de la lumière, est donc encore valable dans le cas de la réflexion de la lumière.

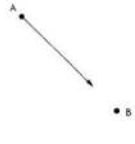


EXERCICES

- 1 Reproduire la figure et construire le rayon réfléchi. Mesurer les angles d'incidence et de réflexion.

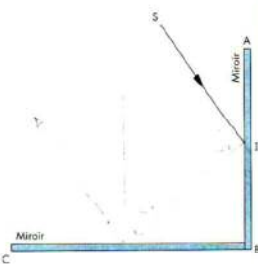


- 2 Un rayon lumineux, issu du point A , se propage en direction du point B . Comment faut-il disposer un miroir plan en B et un second miroir en C pour que le rayon réfléchi, après réflexion en B et C , passe par A ?



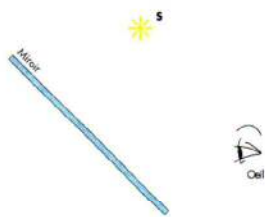
- 3 Deux miroirs plans AB et BC sont disposés perpendiculairement.

- Compléter le trajet du rayon SI .
- Quelle est la particularité du rayon réfléchi par le miroir BC ?



- 4 Une personne est debout devant un miroir plan à 2,8 m de celui-ci. Quelle est la distance qui la sépare de son image?

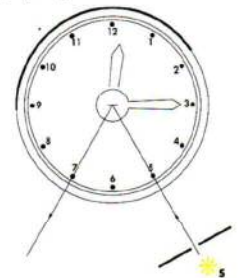
- 5 Reproduire la figure et tracer le rayon lumineux issu du point lumineux S qui pénètre dans l'œil après avoir subi une réflexion sur le miroir.



Montrer que le trajet de ce rayon est plus court que tout autre chemin allant du point S à l'œil en touchant le miroir.

- 6 Lors d'une journée ensoleillée, on voit parfois une vitre «briller». Cela arrive même lorsque la vitre est trop éloignée pour être distinguée à l'œil nu. Expliquer ce phénomène du point de vue de l'optique.

- 7 Un miroir est placé sur la grande aiguille d'une pendule. Un rayon lumineux issu d'une source fixe S est réfléchi par ce miroir de la façon indiquée par la figure.

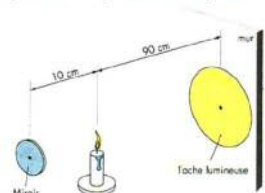


- A quelle heure le rayon réfléchi passera-t-il par 9 h?
- A quelle heure le rayon réfléchi passait-il par 6 h?

EXERCICES

- 8 Une bougie, considérée comme source ponctuelle, est située à 10 cm d'un miroir plan de forme circulaire et de rayon égal à 2,5 cm. Quel est le diamètre de la tache lumineuse projetée, après réflexion, sur un mur situé à 90 cm de la bougie du côté opposé au miroir?

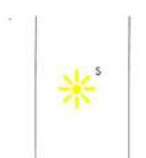
La flamme est sur l'axe de symétrie du miroir; le plan du mur et le plan du miroir sont parallèles.



- 9 Reproduire la figure et tracer tous les rayons lumineux issus du point lumineux S qui pénètrent dans l'œil de l'observateur.

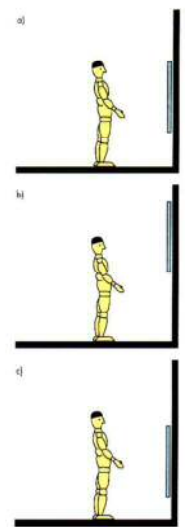


- 10 On place une bougie (ou tout autre objet) entre deux miroirs plans parallèles.



- Combien y a-t-il d'images?
- Peut-on toutes les observer en même temps?
- Où faut-il se mettre pour les observer?

- 11 Dans ces dessins, un personnage se regarde dans un miroir que l'on a représenté en coupe. Déterminez graphiquement, après avoir reproduit ces dessins, la partie de lui-même que le personnage peut observer «dans» le miroir. Peut-il voir ses cheveux? Peut-il voir ses pieds?



- 12 Une personne de 160 cm de hauteur est debout à 2 m d'un miroir vertical. La hauteur de ce miroir est de 50 cm et sa partie inférieure est à 60 cm du sol. On suppose que les yeux de la personne sont à 17 cm du sommet de sa tête.

- Cette personne voit-elle ses pieds «dans» ce miroir?
- Cette personne voit-elle le sommet de sa tête «dans» ce miroir?
- Les réponses précédentes seraient-elles les mêmes si cette personne se trouvait à 5 m du miroir?

13 On se place devant un miroir, assez près de celui-ci. Au moyen d'un crayon gras ou d'un crayon pour matière plastique, on dessine sur le miroir un contour qui délimite exactement l'image de sa tête.



Puis on s'eloigne. Qu'observe-t-on ? L'image de sa tête reste-t-elle inscrite dans le contour dessiné ?

14 Une famille désire acheter un miroir tel que chaque membre de cette famille puisse s'y voir entièrement. Cette famille est composée :

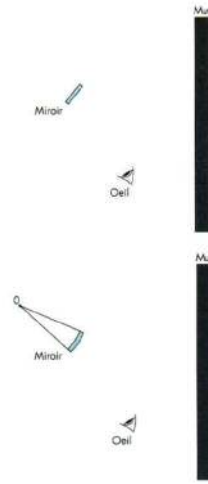
- du père dont la taille vaut 180 cm;
- de la mère dont la taille vaut 176 cm;
- d'une fille de 160 cm et d'un garçon de 140 cm.

On admet que les yeux de chaque membre de la famille sont situés à 12 cm du sommet de leur tête.

- a) A quelle distance maximale au-dessus du sol faut-il placer le bord inférieur de ce miroir ?
- b) A quelle distance minimale au-dessus du sol faut-il placer le bord supérieur de ce miroir ?
- c) Quelle doit être la hauteur minimale de ce miroir ?

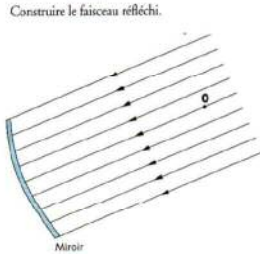
15 Une personne regarde un mur par l'intermédiaire d'un miroir plan.

- a) Construire la portion de mur visible.
- b) Même question s'il remplace le miroir plan par un miroir sphérique.



- c) Les portions du mur visibles dépendent-elles de la distance de l'œil au miroir ?
- d) Expliquer pourquoi les rétroviseurs sont souvent des portions de miroir sphérique.

16 On considère un faisceau parallèle incident sur un miroir sphérique centré en O.

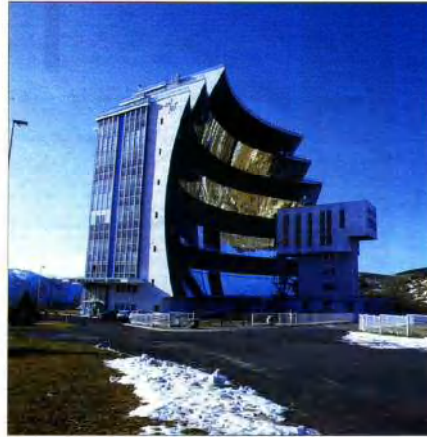
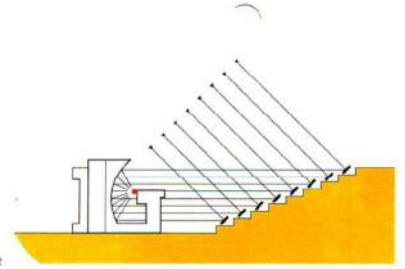


ÉTUDE DE DOCUMENTS

17 Le four solaire d'Odeillo

Le four solaire expérimental d'Odeillo, situé à 1600 m d'altitude dans les Pyrénées, bénéficie d'un excellent ensoleillement. Un miroir parabolique de 40 m de hauteur sur 54 m de longueur, intégré au bâtiment des laboratoires, capte et concentre l'énergie que lui envoient 63 miroirs orientables de 45 m² chacun. Ces miroirs, dont le réglage est semi-automatique, sont disposés sur 8 gradins à flanc de coteau. Le rayonnement solaire, focalisé par le grand miroir parabolique de 2160 m², se concentre en un faisceau de 40 cm de diamètre au centre duquel la température peut atteindre ou dépasser 3500°C.

Le four d'Odeillo est actuellement utilisé pour la mise à l'épreuve de matériaux réfractaires entrant dans la construction de véhicules spatiaux (étude de choix thermiques).



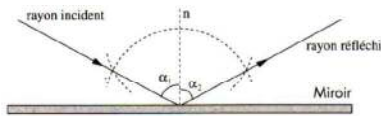
- a) Pourquoi a-t-on choisi le site d'Odeillo ?
- b) Pourquoi emploie-t-on un miroir parabolique ?
- c) Pourquoi les miroirs sont-ils orientables ?

Corrigé des exercices

La réflexion de la lumière

Exercice 1

- Construire la normale n au miroir.
- Construire le rayon réfléchi, symétrique du rayon incident par rapport à n.

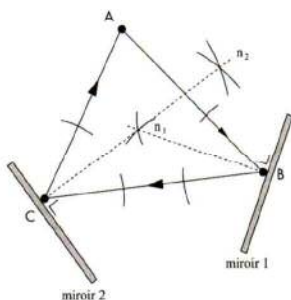


$\alpha_1 = \alpha_2 = 62^\circ$

La réflexion de la lumière

Exercice 2

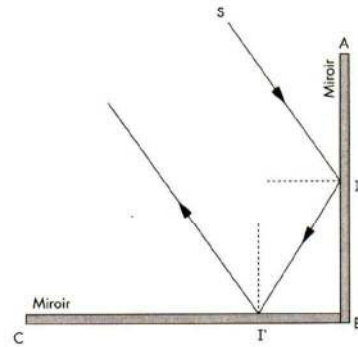
- Le rayon incident AB est réfléchi en BC.
- On construit la bissectrice de l'angle formé par ces deux rayons ; c'est la normale n₁ au miroir 1.
- On construit le miroir 1 en B, perpendiculairement à n₁.
- On répète la même construction en C.



La réflexion de la lumière

Exercice 3

- a) • On construit en I le rayon réfléchi par le miroir AB; il frappe le miroir BC en I'.
- On construit en I' le rayon réfléchi par le miroir BC.

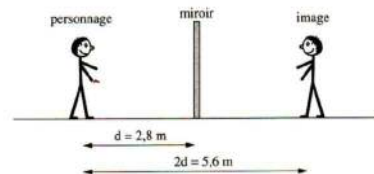


- b) Le rayon réfléchi par le miroir BC est parallèle au rayon incident sur le miroir AB; cette propriété est vérifiée si les deux miroirs sont perpendiculaires.

La réflexion de la lumière

Exercice 4

L'image est symétrique du personnage par rapport au miroir; elle se trouve derrière le miroir. L'image est à 5,6 m du personnage.



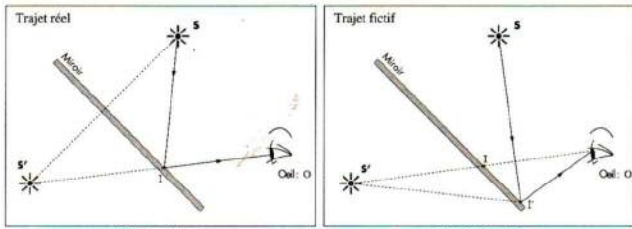
La réflexion de la lumière

Exercice 5

Le rayon réfléchi qui pénètre dans l'œil O semble provenir de l'image S' de S.

Construction du trajet réel :

- Construire l'image S' : symétrique de S par rapport au miroir.
- Construire le rayon réfléchi qui passe par O (son prolongement passe par S') ; le point d'incidence I est à l'intersection du rayon réfléchi et du miroir.
- Construire le rayon incident SI.



- Par propriété de symétrie la longueur du segment SI est égale à la longueur du segment S'I.
- La longueur du trajet réel SIO de la lumière est égale à la longueur du segment S'O.

- Par propriété de symétrie la longueur du segment S'I est égale à la longueur du segment S'I.
- La longueur du trajet fictif S'I'O de la lumière est égale à la longueur de la ligne brisée S'IO.

Comme la distance S'O est plus petite que la longueur de toute ligne brisée S'IO, le trajet réel de la lumière est plus court que n'importe quel autre trajet fictif. Comme la lumière se propage à vitesse constante dans l'air, le trajet réel de la lumière est aussi celui qui prend le moins de temps.

La réflexion de la lumière

Exercice 6

Lorsqu'on perçoit ce phénomène, on reçoit une partie des rayons lumineux provenant du Soleil et réfléchis par la vitre; on voit en fait une partie de l'image du Soleil. L'intensité lumineuse reçue est suffisante pour que ce phénomène soit perçu à grande distance.

La réflexion de la lumière

Exercice 7

- Lorsque le rayon incident passe par l'indication "5" et le rayon réfléchi par l'indication "9" :
 - La normale n au miroir partage l'angle formé par le rayon incident et le rayon réfléchi en deux angles égaux; elle passe par l'indication "7".
 - Le miroir et par conséquent la grande aiguille sont perpendiculaires à n; la grande aiguille indique "4".



Il sera midi 20 lorsque le rayon réfléchi passera par l'indication "9".

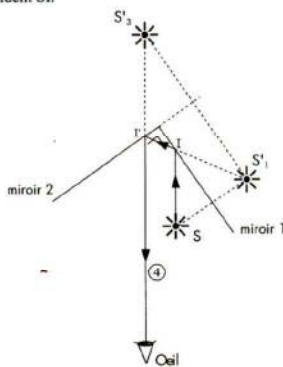
- Par le même raisonnement on trouve que :

Il était midi 12 minutes et 30 secondes lorsque le rayon réfléchi passait par l'indication "6".

Trajet numéro 4

Le rayon issu de S pénètre dans l'œil de l'observateur après deux réflexions successives sur le miroir 1 puis sur le miroir 2.

- Construire S₁, image de S par le miroir 1.
- Construire S₂, image de S₁ par le miroir 2.
- Construire le rayon réfléchi par le miroir 2 (il pénètre dans l'œil); son prolongement passe par S₂ et il coupe le miroir 2 en I'.
- Construire le rayon réfléchi par le miroir 1; il passe par I', son prolongement passe par S₁ et il coupe le miroir 1 en I.
- Construire le rayon incident SI.



La réflexion de la lumière

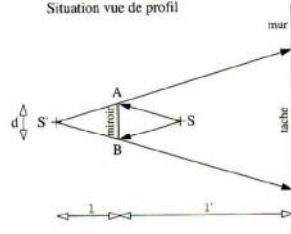
Exercice 10

- Il y a une infinité d'images qui sont alignées sur une perpendiculaire aux miroirs passant par S.
- Il est impossible de les observer toutes en même temps.
- Il faut mettre son œil entre les deux miroirs pour observer ces images.

La réflexion de la lumière

Exercice 8

Situation vue de profil



On désigne par :

- S : la flamme de la bougie
- S' : l'image de la flamme
- d = 5 cm : diamètre du miroir
- d' : diamètre de la tache
- l = 10 cm : distance miroir-S'
- l' = 90 cm : distance bougie-mur

Par symétrie, la distance S-miroir est égale à la distance S'-miroir (= l)

La tache sur le mur est délimitée par les rayons réfléchis par le bord du miroir.

Les triangles S'AB et S'A'B' sont semblables :

$$\frac{d'}{d} = \frac{l + l'}{l} \Rightarrow d' = d \cdot \frac{l + l'}{l} = 5 \text{ cm} \cdot \frac{10 \text{ cm} + 90 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 50 \text{ cm}$$

La réflexion de la lumière

Exercice 9

Trajet numéro 1

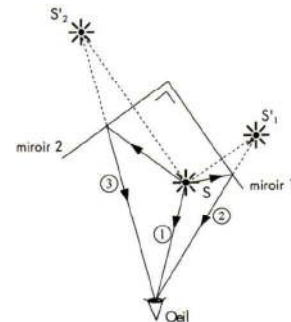
Le rayon issu de S pénètre directement dans l'œil de l'observateur.

Trajet numéro 2

Le rayon issu de S pénètre dans l'œil de l'observateur après une réflexion sur le miroir 1; il semble provenir de S₁, image de S par le miroir 1.

Trajet numéro 3

Le rayon issu de S pénètre dans l'œil de l'observateur après une réflexion sur le miroir 2; il semble provenir de S₂, image de S par le miroir 2.



Trajet numéro 4

La réflexion de la lumière

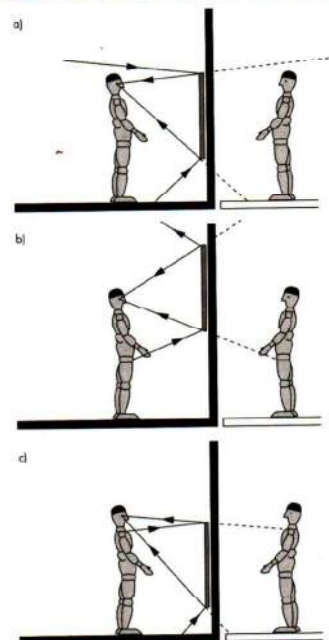
Exercice 11

Le personnage voit son image par le miroir. La partie visible est limitée par les rayons réfléchis sur les bords du miroir avant de pénétrer dans l'œil.

Pour ce type de situation, on peut utiliser le modèle suivant :

Le miroir est considéré comme un trou dans le mur par lequel on voit un monde symétrique du monde réel par rapport au plan du miroir.

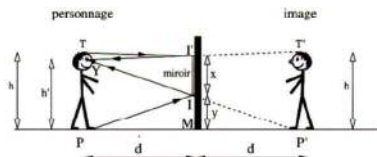
- Il voit ses pieds et ses cheveux.
- Il voit ses cheveux mais pas ses pieds.
- Il voit ses pieds mais pas ses cheveux.



Pour ce type de situation, on peut utiliser le modèle suivant :

Le miroir est considéré comme un trou dans le mur par lequel on voit un monde symétrique du monde réel par rapport au plan du miroir.

La figure représente les rayons qui permettent à l'observateur de voir ses pieds et le sommet de sa tête.



On désigne par :

- P : les pieds
- P' : l'image des pieds
- T : le sommet de sa tête
- T' : l'image du sommet de sa tête
- Y : les yeux
- M : le pied du mur sur lequel est fixé le miroir
- I et I' : les bords du miroir

- x : dimension minimale du miroir pour que le personnage se voie entièrement
- y : altitude maximum du bord inférieur du miroir (point I) pour que le personnage voie ses pieds
- x + y : altitude minimum du bord supérieur du miroir (point I') pour que le personnage voie sa tête

• Les triangles P'IM et P'YP sont semblables : $\frac{y}{h'} = \frac{d}{2d} = \frac{1}{2} \Rightarrow y = \frac{h'}{2} = \frac{148 \text{ cm}}{2} = 74 \text{ cm}$

L'altitude maximale du bord inférieur du miroir vaut la moitié de la hauteur des yeux du personnage. Le bord inférieur du miroir doit se trouver au maximum à 74 cm du sol; le miroir de l'énoncé satisfait cette condition et le personnage peut voir ses pieds.

• Les triangles YI'I' et YPT' sont semblables : $\frac{x}{h} = \frac{d}{2d} = \frac{1}{2} \Rightarrow x = \frac{h}{2} = \frac{160 \text{ cm}}{2} = 80 \text{ cm}$

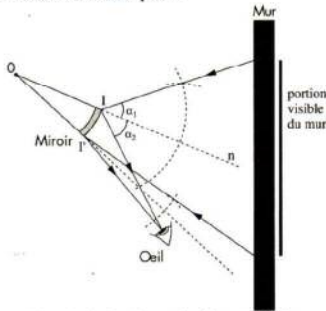
La taille minimale du miroir permettant au personnage de se voir entièrement vaut la moitié de sa propre taille

• $x + y = 74 \text{ cm} + 80 \text{ cm} = 154 \text{ cm}$

Le bord supérieur du miroir doit se trouver au minimum à 154 cm du sol; le miroir de l'énoncé ne satisfait pas cette condition et le personnage ne peut pas voir sa tête.

Les propriétés précédentes sont indépendantes de la distance à laquelle le personnage se trouve du miroir car s'il s'éloigne ou se rapproche du miroir, son image s'en éloigne ou s'en rapproche d'autant.

b) La construction est la même qu'en a). La normale n au miroir sphérique est confondue avec le prolongement du rayon de courbure de la sphère.

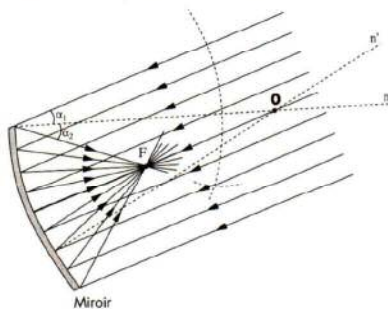


- c) Plus on rapproche son œil du miroir, plus la portion de mur visible est grande. Cette propriété est vérifiée pour les deux miroirs de cet exercice.
- d) Les rétroviseurs sont souvent des portions de miroir sphérique pour permettre un champ de vision plus large qu'un miroir plan.

La réflexion de la lumière

Exercice 16

La normale au miroir sphérique est en chaque point confondue avec son rayon de courbure. On construit les rayons réfléchis en reportant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. On constate que tous les rayons réfléchis passent par un même point F appelé foyer.



La réflexion de la lumière

Exercice 17

- a) Le site d'Odeillo a été choisi pour son ensoleillement.
- b) On emploie un miroir parabolique pour concentrer l'énergie par réflexion au foyer (voir exercice précédent).
- c) Les miroirs sont orientables pour suivre la course du Soleil.

La réflexion de la lumière

Exercice 13

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

La réflexion de la lumière

Exercice 14

Pour qu'un personnage puisse se voir entièrement dans un miroir, il doit :
 • disposer d'un miroir dont la dimension vaut au moins la moitié de sa taille;
 • placer le bord inférieur du miroir à une altitude ne dépassant pas la moitié de la hauteur de ses yeux.
 (Voir exercice 12 dans la même série.)

Toutes les valeurs du tableau sont exprimées en cm :

	Hauteur des yeux	Altitude maximale du bord inférieur du miroir	Taille	Dimension minimale du miroir	Altitude minimale du bord supérieur du miroir
Père	168	84	180	90	84 + 90 = 174
Mère	164	82	176	88	82 + 88 = 170
Fille	148	74	160	80	74 + 80 = 154
Garçon	128	64	140	70	64 + 70 = 134

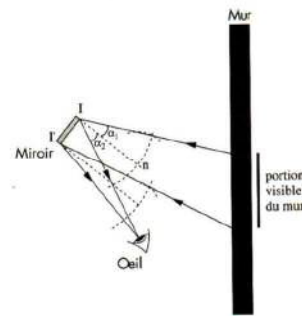
- a) Le bord inférieur du miroir doit être placé à 64 cm du sol (ou plus bas).
- b) Le bord supérieur du miroir doit être placé au minimum à 174 cm du sol (ou plus haut).
- c) La dimension minimale du miroir vaut : 174 cm - 64 cm = 110 cm.

La réflexion de la lumière

Exercice 15

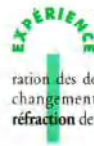
- a) • Construire en I la normale n (perpendiculaire) au miroir.
- Construire le rayon réfléchi dans l'œil par le bord du miroir.
- Construire le rayon incident en reportant l'angle d'incidence α_1 égal à l'angle de réflexion α_2 .
- Répéter cette construction en I'.

La portion de mur visible est délimitée par les deux rayons incidents construits.



Chapitre 16. La réfraction de la lumière

Chacun, à l'occasion d'une promenade, a pu observer les rames d'un bateau semblant « se briser » en pénétrant dans l'eau, voir les étoiles scintiller ou être surpris en sautant dans une piscine de constater qu'elle est plus profonde qu'il n'y paraissait depuis le bord. Ces observations sont à mettre sur le compte de la réfraction de la lumière.



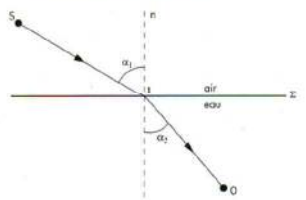
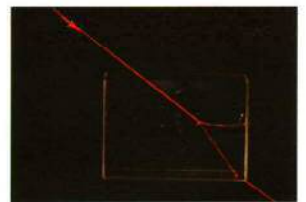
Observons un rayon lumineux se propageant d'abord dans l'eau puis dans l'air. Un rayon non perpendiculaire à la surface de séparation des deux milieux transparents y subit un brusque changement de direction; c'est le phénomène de la réfraction de la lumière.



1 Définitions

Il est utile de donner les définitions suivantes:

- surface de séparation Σ (sigma) :** frontière entre les deux milieux transparents
- point d'incidence I :** point de Σ où arrive le rayon lumineux
- normale n à Σ :** perpendiculaire à Σ passant par I
- rayon incident :** rayon lumineux SI qui traverse le premier milieu transparent
- angle d'incidence α_1 :** angle déterminé par le rayon incident et la normale n à Σ
- rayon réfracté :** rayon lumineux IO qui traverse le second milieu transparent
- angle de réfraction α_2 :** angle déterminé par le rayon réfracté et la normale n à Σ



2 Illusion

EXPÉRIENCE

Un trait vertical **T** est dessiné sur la face arrière d'une cuve partiellement remplie d'eau. Un observateur situé devant la cuve voit le trait se casser au niveau de l'eau. Quelle est l'origine de cette illusion ?

- Les rayons lumineux issus de la partie immergée du trait atteignent l'œil de l'observateur après avoir subi une réfraction sur la face avant de la cuve, lorsque la lumière passe de l'eau dans l'air (on néglige l'effet des minces parois de verre).
- Pour l'observateur, tout se passe comme si la lumière provenait de **T'** où, en réalité, le trait ne se trouve pas.

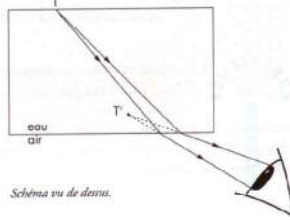


Schéma vu de dessus.

3 Réfraction et réflexion

Lors d'une réfraction de la lumière, on constate **toujours** la présence d'un rayon réfléchi; la surface de séparation des deux milieux se comporte donc aussi comme un miroir. Il est d'ailleurs courant de constater ce phénomène sur la surface d'un plan d'eau tranquille.



6 Sens de la déviation

Deux situations peuvent se présenter lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice n_1 dans un milieu d'indice n_2 :

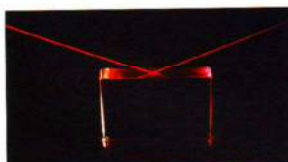
- Si $n_2 > n_1$, le rayon réfracté **se rapproche** de la normale n .
- Si $n_2 < n_1$, le rayon réfracté **s'écarte** de la normale n .

Milieu	Indice : n
vide	1
air et tous les gaz	1,000... = 1
eau	1,33
verre	1,5
diamant	2,4

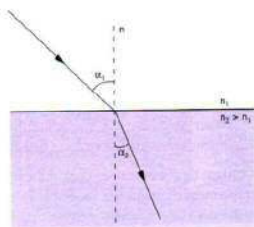
7 La réflexion totale

Dans le cas où $n_2 < n_1$, on constate qu'à partir d'une certaine valeur de l'angle d'incidence, le rayon réfracté **disparaît**; seul subsiste le rayon réfléchi. On dit qu'il y a **réflexion totale**: toute la lumière est réfléchie.

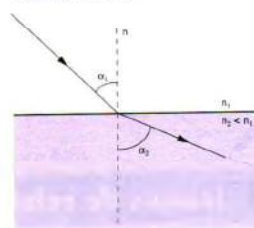
L'angle d'incidence à partir duquel le rayon réfracté n'existe plus est appelé **angle limite de réfraction**; il se note λ (lambda). Si l'angle d'incidence vaut λ , l'angle de réfraction vaut 90° .



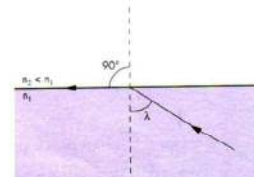
Réflexion totale.



$n_2 > n_1$
(la vitesse de la lumière diminue lorsqu'elle entre dans le deuxième milieu)



$n_2 < n_1$
(la vitesse de la lumière augmente lorsqu'elle entre dans le deuxième milieu)



Réflexion et réfraction.

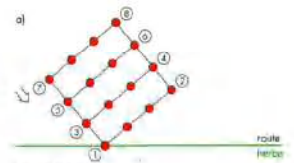
4 La cause de la réfraction

La réfraction résulte du fait que la lumière ne se propage pas à la même vitesse dans tous les milieux transparents.

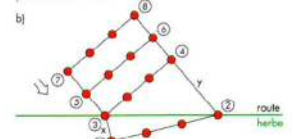
À la surface de séparation de deux milieux transparents, le comportement de la lumière ressemble à celui de la fanfare ci-contre dont les musiciens doivent marcher au pas et en restant alignés:

pendant que le musicien 1, freiné par l'herbe, parcourt une distance x , le musicien 2 parcourt une plus grande distance y sur la route et la fanfare change de direction.

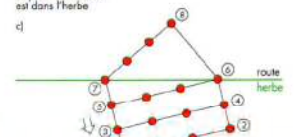
La plus ou moins grande variation de vitesse de la lumière détermine la plus ou moins grande déviation du rayon lumineux.



Le premier musicien pénètre dans l'herbe



Le premier musicien est dans l'herbe



La fanfare n'avance plus dans la même direction

5 Indices de réfraction

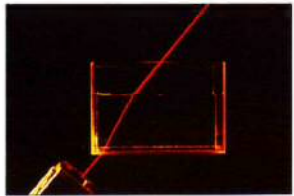
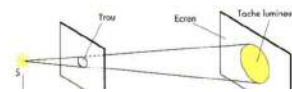
Un rayon lumineux passe de l'air dans un second milieu transparent. La déviation subie dépend de la nature de ce second milieu. On attribue à chaque milieu un nombre appelé «indice de réfraction» et noté n_{milieu} . Il est défini par :

$$n_{\text{milieu}} = \frac{c}{v_{\text{milieu}}}$$

- c est la vitesse de la lumière dans le vide
- v_{milieu} est la vitesse de la lumière dans le milieu considéré

L'indice de réfraction satisfait les propriétés suivantes:

- Dans l'air, comme dans tous les gaz, la lumière se propage quasiment à la même vitesse que dans le vide; l'indice de réfraction des gaz vaut 1.
- Plus l'indice de réfraction d'un milieu est grand, plus la vitesse de la lumière dans ce milieu est faible. ...
l'indice de réfraction d'un milieu est égal à 30 mm ?



15 La sphère lumineuse éclaire l'écran. La sphère opaque crée, sur l'écran, une zone d'ombre et une zone de pénombre.

8 Loi de la réfraction

Les mesures expérimentales de la vitesse de la lumière dans les milieux transparents ont montré qu'elles sont liées aux angles d'incidence et de réfraction par la relation:

$$\frac{\sin \alpha_1}{v_1} = \frac{\sin \alpha_2}{v_2}$$

v_1 et v_2 étant respectivement les vitesses de propagation de la lumière dans le premier et dans le second milieu.

En utilisant la définition des indices de réfraction, la relation ci-dessus peut être mise sous la forme :

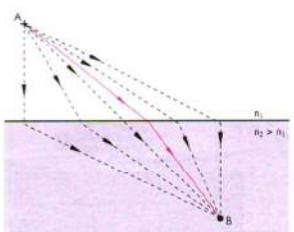
$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2$$

C'est la loi de la réfraction; elle peut être vérifiée grâce au montage de la figure ci-contre.



9 Principe de Fermat

Plusieurs trajets permettent de relier deux points **A** et **B** situés dans des milieux transparents adjacents. Le trajet que suit la lumière entre **A** et **B** (celui qui respecte la loi de la réfraction) est celui qui prend le moins de temps. Le principe de Fermat est encore vérifié pour la réfraction.



— différents trajets
— le trajet suivi par la lumière (celui qui prend le moins de temps)

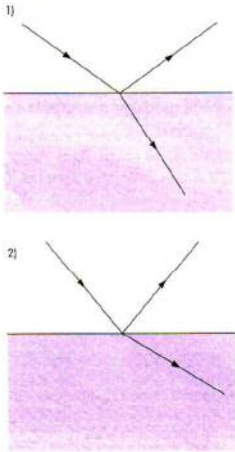
E
EXERCICES

- 1** La vitesse de propagation de la lumière dans l'eau est de $2,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Quel est l'indice de réfraction de l'eau ?
L'indice de réfraction du plexiglas est de 1,50. Quelle est la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu ?
- 2** De ces deux affirmations, laquelle est correcte ?
a) La vitesse de la lumière dans un milieu est d'autant plus grande que l'indice de réfraction de ce milieu est grand.
b) La vitesse de la lumière dans un milieu est d'autant plus petite que l'indice de réfraction de ce milieu est grand.

Classer les milieux transparents suivants par ordre croissant de la vitesse de la lumière : verre, air, eau, diamant.

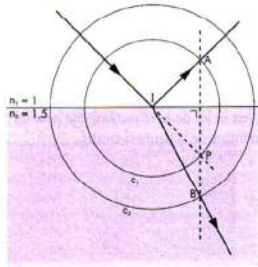
3 Un élève a noté, comme réponse à un calcul : indice de réfraction du second milieu = 0,84. On peut affirmer que cette réponse est fautive. Pourquoi ?

4 Sur les figures, mesurer les angles d'incidence et de réfraction.



- 5** Quelle est l'affirmation correcte ?
a) Un rayon qui passe d'un milieu transparent dans un second milieu d'indice de réfraction inférieur se rapproche de la normale.
b) Un rayon qui passe d'un milieu transparent dans un second milieu d'indice de réfraction inférieur s'éloigne de la normale.

6 Construction de Maxwell.



Marche à suivre pour la construction des rayons réfracté et réfléchi :

- tracer deux cercles c_1 et c_2 centrés en I et de rayons proportionnels aux indices de réfraction n_1 et n_2 ;
- prolonger le rayon incident jusqu'à son intersection P avec le cercle c_1 ;
- construire par P la perpendiculaire à la surface de séparation ;
- cette perpendiculaire coupe le cercle c_1 en un point A par lequel passe le rayon réfléchi ;
- elle coupe le cercle c_2 en un point B par lequel passe le rayon réfracté.

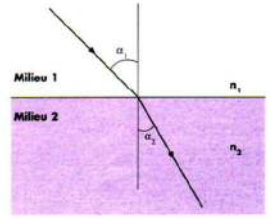
A partir des données ci-dessous, représenter sur un dessin le rayon incident puis construire dans chaque cas les rayons réfléchi et réfracté :

	α_1	n_1	n_2
a)	80°	1,4	1,8
b)	60°	1,5	1,0
c)	60°	1,0	1,5
d)	30°	1,3	1,0

E
EXERCICES

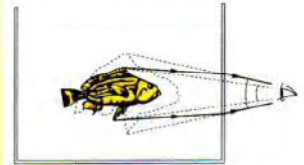
8 La loi de Descartes :
$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2$$

s'applique à un rayon lumineux passant d'un milieu 1 dans un milieu 2.



- a) Cette loi s'écrit-elle différemment si la lumière passe du milieu 2 dans le milieu 1 ?
b) Calculer l'angle de réfraction pour un rayon lumineux passant de l'air dans l'eau si l'angle d'incidence est de 73° .
L'indice de l'eau vaut 1,33 et celui de l'air 1,00.
c) Calculer l'angle d'incidence pour un rayon lumineux passant de l'air dans le verre si l'angle de réfraction est de 38° .
L'indice du verre vaut 1,50 et celui de l'air 1,00.

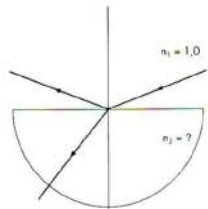
9 Lorsqu'on observe des poissons dans un aquarium, ils nous paraissent légèrement plus grands qu'en réalité. Expliquer pourquoi.



10 Pour atteindre un poisson avec un harpon à travers une surface d'eau, faut-il viser au-dessus ou au-dessous de ce que l'on voit ? (On suppose que le harpon ne change pas de direction en pénétrant dans l'eau.)

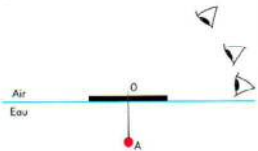
E
EXERCICES

11 Quelle doit être la valeur de l'indice n_2 pour que la lumière suive les trajets indiqués sur la figure ?



12 Un rayon lumineux passe de l'air dans un liquide. L'angle d'incidence mesure 72° et celui de réfraction 40° . Calculer la vitesse de la lumière dans ce liquide.

13 On fait flotter sur l'eau un disque circulaire mince et opaque de rayon $R = 25 \text{ mm}$. Une aiguille, d'extrémité A, est enfoncée par le centre O de ce disque. On désire que la tête A de cette aiguille ne puisse être vue, quelle que soit la position de l'œil au-dessus de la surface de l'eau.



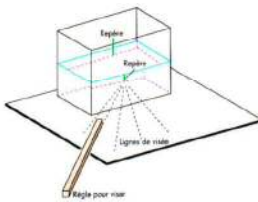
Quelle peut être la longueur maximale de la partie immergée OA de l'aiguille ?



14 Sur la face arrière d'un bac rectangulaire transparent, on fixe (ou on dessine) un petit repère vertical.

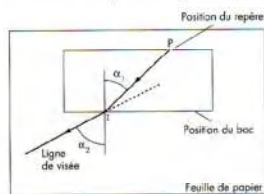
On remplit d'eau ce bac de manière à ce que le sommet du repère demeure au-dessus de la surface.

On dispose le bac sur une feuille de papier. Sur cette feuille, on dessine le contour du bac et on indique la position du repère par un point P.



On place ensuite ses yeux au niveau de la table de manière à voir le repère au travers de l'eau. Au moyen d'une règle, on vise ce repère puis on trace la ligne de visée sur la feuille de papier. Il faut faire une dizaine de visées sous des angles différents.

On retire le bac de la feuille de papier.
On prolonge chaque ligne de visée et on désigne par I son point d'intersection avec la face du bac.
On trace pour chaque visée le trajet réel de la lumière allant du repère à l'œil (ligne P, I, œil).

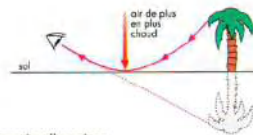


- a) L'angle α_2 est-il parfois plus petit que l'angle α_1 ?
b) Existe-t-il une situation pour laquelle $\alpha_1 = \alpha_2$?
c) Reporter sur un graphique les valeurs de α_2 en fonction de celles de α_1 .

15 Les mirages

Nous avons vu au chapitre 2 que la lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent homogène. Dans les régions chaudes, l'air n'est pas homogène : plus on se rapproche du sol, plus sa température est élevée. Ces variations de température entraînent des variations de l'indice de réfraction de l'air et la lumière ne s'y propage plus en ligne droite, mais suit une trajectoire incurvée. Un observateur voit alors un mirage.

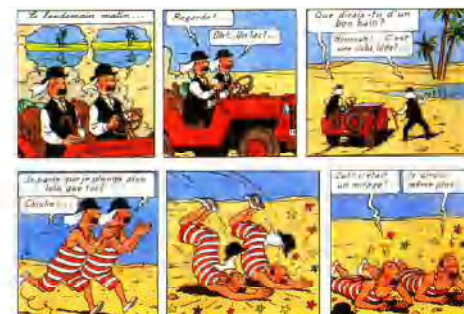
Ce phénomène existe aussi dans nos régions. Il arrive parfois que l'on observe, sur une route en été, une image vibrante ressemblant à une flaque d'eau. Notre œil reçoit en fait la lumière provenant du ciel.



Formation d'un mirage.



Mirage.



Extraits de «Tintin au pays de l'or noir»

- a) En observant la courbure de rayons lumineux, trouver comment varie l'indice de réfraction de l'air en fonction de la température.
b) Quelle erreur Hergé a-t-il commise dans le troisième dessin ?
c) Dans les régions polaires, la température de l'air diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche du sol. Expliquer, dans ce cas, la trajectoire d'un rayon lumineux.

Corrigé des exercices

La réfraction de la lumière

Exercice 1

Par définition, l'indice de réfraction n d'un milieu transparent est le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 300\,000\text{ km/s}$) sur la vitesse de la lumière dans ce milieu transparent v :

$$n = \frac{c}{v}$$

Indice de réfraction de l'eau :	Vitesse de la lumière dans le plexiglas :
$n_{\text{eau}} = \frac{c}{v_{\text{eau}}} = \frac{300\,000\text{ km/s}}{225\,000\text{ km/s}} = 1,33$	$v_{\text{plexi}} = \frac{c}{n_{\text{plexi}}} = \frac{300\,000\text{ km/s}}{1,50} = 200\,000\text{ km/s}$

La réfraction de la lumière

Exercice 2

L'affirmation b) est correcte : «la vitesse de la lumière dans un milieu transparent est d'autant plus petite que l'indice de réfraction de ce milieu est grand». Cette propriété découle de la définition de l'indice de réfraction.

	Indice de réfraction	Vitesse de la lumière
Diamant	2,4	125 000 km/s
Verre	1,5	200 000 km/s
Eau	1,33	225 000 km/s
Air	1	300 000 km/s

La réfraction de la lumière

Exercice 3

L'indice de réfraction d'un milieu transparent est toujours plus grand ou égal à 1.

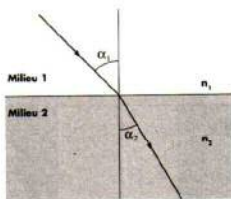
Dans un milieu d'indice plus petit que 1, la lumière se propagerait plus vite que dans le vide, ce qui est impossible.

La réfraction de la lumière

Exercice 8

La loi de Descartes :

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2$$



a) Cette loi s'écrit de la même manière si la lumière passe du milieu 2 dans le milieu 1.

b) $n_{\text{air}} = 1$ $\alpha_1 = 73^\circ$ $n_{\text{eau}} = 1,33$ $\alpha_2 = ?$

$$n_{\text{air}} \cdot \sin \alpha_1 = n_{\text{eau}} \cdot \sin \alpha_2 \Rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{n_{\text{air}} \cdot \sin \alpha_1}{n_{\text{eau}}} = \frac{1 \cdot \sin 73^\circ}{1,33} = 0,719 \Rightarrow \alpha_2 = 46^\circ$$

c) $n_{\text{air}} = 1$ $\alpha_1 = ?$ $n_{\text{verre}} = 1,5$ $\alpha_2 = 38^\circ$

$$n_{\text{air}} \cdot \sin \alpha_1 = n_{\text{verre}} \cdot \sin \alpha_2 \Rightarrow \sin \alpha_1 = \frac{n_{\text{verre}} \cdot \sin \alpha_2}{n_{\text{air}}} = \frac{1,5 \cdot \sin 38^\circ}{1} = 0,923 \Rightarrow \alpha_1 = 67^\circ$$

La réfraction de la lumière

Exercice 9

Les rayons lumineux parviennent à l'œil de l'observateur après avoir subi une réfraction sur les parois de la cuve. Le poisson est vu sous un angle plus grand que s'il n'y avait pas eu de réfraction et semble de ce fait un tiers plus gros (un tiers plus proche) qu'en réalité.

Cet effet est particulièrement frappant lorsqu'on regarde le fond d'une piscine depuis un plongeur.

La réfraction de la lumière

Exercice 10

Le poisson semble plus près de la surface qu'en réalité (voir exercice précédent). Il faut donc viser au-dessous de ce que l'on voit pour avoir une chance de l'atteindre.

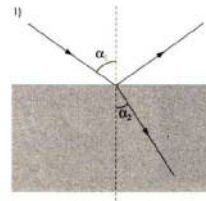
La réfraction de la lumière

Exercice 4

Angle d'incidence : α_1
Angle de réfraction : α_2

$$\alpha_1 = 55^\circ$$

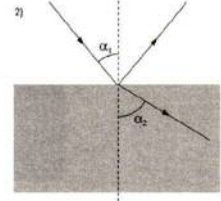
$$\alpha_2 = 32^\circ$$



Angle d'incidence : α_1
Angle de réfraction : α_2

$$\alpha_1 = 39^\circ$$

$$\alpha_2 = 59^\circ$$



La réfraction de la lumière

Exercice 5

L'affirmation b) est correcte : «un rayon qui passe d'un milieu transparent dans un second milieu d'indice de réfraction inférieur s'éloigne de la normale».

La réfraction de la lumière

Exercice 6

Il n'y a pas de corrigé détaillé pour cet exercice; on peut vérifier les constructions en mesurant les angles de réfraction :

a) $\alpha_2 = 50^\circ$

b) α_2 ne peut pas être construit, le rayon réfracté n'existe pas; il y a réflexion totale.

c) $\alpha_2 = 35^\circ$

d) $\alpha_2 = 41^\circ$

La réfraction de la lumière

Exercice 7

On compare les valeurs des indices de réfraction en observant le sens de la déviation du rayon réfracté :

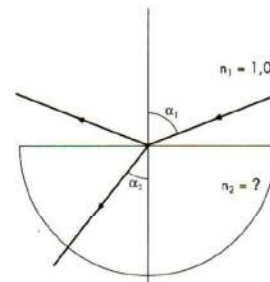
- si le rayon réfracté se rapproche de la normale : l'indice du premier milieu traversé est plus petit que l'indice du second milieu traversé
- si le rayon réfracté s'éloigne de la normale : l'indice du premier milieu traversé est plus grand que l'indice du second milieu traversé

a)	b)	c)	d)	e)	f)
$n_1 > n_2$	$n_1 < n_2$	$n_1 > n_2$	$n_1 < n_2$	$n_1 = n_2$	$n_1 < n_2$

La réfraction de la lumière

Exercice 11

En mesurant les angles sur la figure on obtient : $\alpha_1 = 69^\circ$ et $\alpha_2 = 39^\circ$



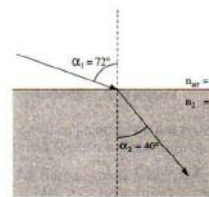
$$\text{Loi de la réfraction : } n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{1 \cdot \sin 69^\circ}{\sin 39^\circ} = 1,48$$

La réfraction de la lumière

Exercice 12

Loi de la réfraction :

$$n_{\text{air}} \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \Rightarrow n_2 = \frac{n_{\text{air}} \cdot \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{1 \cdot \sin 72^\circ}{\sin 40^\circ} = 1,48$$



Définition de l'indice de réfraction :

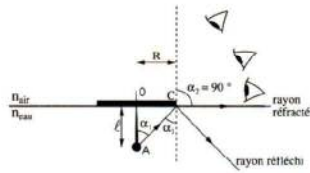
$$n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{300\,000\text{ km/s}}{1,48} = 202\,700\text{ km/s}$$

La lumière se propage à environ 200 000 km/s dans ce liquide.

La réfraction de la lumière

Exercice 13

Pour que la tête de l'aiguille soit invisible pour l'observateur, la lumière doit subir une réflexion totale sous la surface de l'eau.



La longueur maximale de l'aiguille correspond à la situation de réfraction limite ($\alpha_2 = 90^\circ$); dans ce cas :

$$n_{\text{eau}} \cdot \sin \alpha_1 = n_{\text{air}} \cdot \sin 90^\circ$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_{\text{air}} \cdot \sin 90^\circ}{n_{\text{eau}}} = \frac{1 \cdot 1}{1,33} = 0,75 \Rightarrow \alpha_1 = 49^\circ$$

Par trigonométrie dans le triangle OAC :

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{R}{\ell} \Rightarrow \ell = \frac{R}{\text{tg } \alpha_1} = \frac{25 \text{ mm}}{\text{tg } 49^\circ} = 22 \text{ mm}$$

La longueur maximale de l'aiguille est de 22 mm.

La réfraction de la lumière

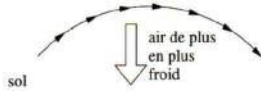
Exercice 14

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

La réfraction de la lumière

Exercice 15

- a) En traversant des couches d'air de plus en plus chaudes, le rayon lumineux s'éloigne de la normale à la surface de séparation entre les couches; l'indice de réfraction de l'air diminue avec la température.
- b) On peut se rendre compte qu'il s'agit d'un mirage si l'image est renversée.
- c) La trajectoire d'un rayon lumineux est courbée dans l'autre sens :



Chapitre 17. La décomposition de la lumière

La lumière solaire (lumière du jour), la lumière émise par une lampe à incandescence ordinaire sont des lumières blanches. Mais que cette lumière vienne à frapper la surface d'un disque compact, la nacre d'un coquillage ou une simple tache d'huile, et c'est un festival de couleurs! La lumière blanche se trouve alors décomposée et l'on observe son spectre.

1 Analyse de la lumière blanche

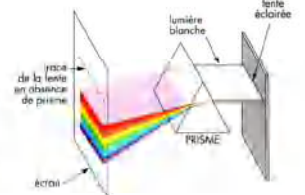
La décomposition de la lumière s'étudie à l'aide d'un **prisme en verre** ou à l'aide d'un **réseau**. Un réseau est une feuille transparente sur laquelle sont gravés des traits parallèles, équidistants, fins et serrés (par exemple, 800 traits par millimètre).



Diffraction sur un disque compact.

EXPERIENCE Envoyons un pinceau de lumière blanche dans un prisme; sur un écran placé derrière le prisme s'étale une image continue de bandes colorées; c'est le spectre de la lumière blanche.

La lumière émise par le filament d'une lampe à incandescence ou par le Soleil est complexe. Son spectre, obtenu avec un prisme, montre qu'elle est constituée d'une infinité de lumières simples (monochromatiques), variant du violet au rouge, sans discontinuité. Toutes ces lumières simples, mélangées dans le faisceau de lumière blanche, sont séparées par réfraction à l'entrée et à la sortie du prisme. Elles sont déviées dans des directions différentes sur l'écran car leurs vitesses dans le verre différent légèrement.



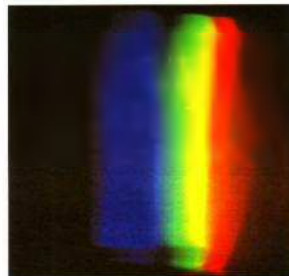
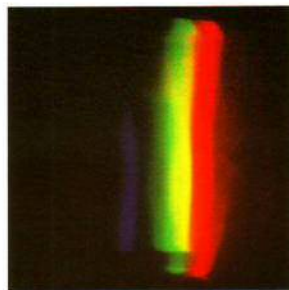
Projection du spectre de la lumière blanche, obtenu avec un prisme.

2 Spectres et température

La lumière émise par l'incandescence d'un fil de fer fin chauffé dans une flamme varie, selon la température, du rouge sombre au blanc.

EXPERIENCE Une lampe à incandescence (prévue pour 6V) est alimentée sous une tension pouvant varier de 0 à 7 volts. Observons à travers le prisme le filament lorsqu'il est «rouge», puis lorsqu'il devient «blanc».

Le spectre continu de la lumière émise par un corps incandescent dépend de sa température. Plus celle-ci est élevée, plus le spectre est lumineux et plus il est étendu vers le violet.



Spectre correspondant à 2 températures différentes.

3 Lumières et couleurs

Rôle d'un filtre

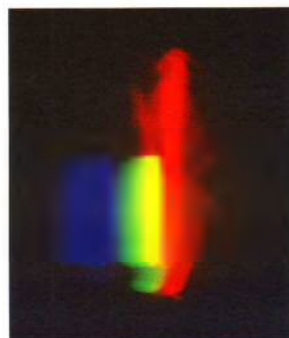
Un filtre est un matériau coloré, transparent ou translucide.

EXPERIENCE Une fente à demi-recouverte par un filtre rouge est éclairée en lumière blanche; on projette son image sur un écran, après avoir interposé un prisme dans le faisceau. On compare les deux spectres.

Le filtre rouge arrête en grande partie les couleurs du violet au jaune, laissant passer essentiellement le rouge. Il n'a donc pas coloré la lumière blanche en rouge, mais absorbé les autres couleurs.

De même, un filtre bleu ne laisse passer essentiellement que du bleu; un filtre vert arrête en grande partie toutes les couleurs sauf le vert.

Un filtre de couleur ne laisse passer que certaines lumières colorées et absorbe en grande partie les autres.



En haut : lumière rouge. En bas : lumière blanche.

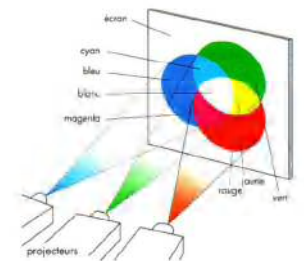
EXPERIENCE Synthèse additive des couleurs

A l'aide de trois projecteurs munis de filtres rouge, vert et bleu, on éclaire un écran blanc de façon à ce que les faisceaux se superposent partiellement. On obtient ainsi de nouvelles couleurs.

Partant du rouge, du vert et du bleu, on forme toutes les autres couleurs, y compris le blanc. C'est pour cela que le rouge, le vert et le bleu sont appelés couleurs fondamentales.

Couleurs des objets

Un pull éclairé en lumière blanche apparaît rouge parce qu'il absorbe en grande partie toutes les autres couleurs de la lumière blanche et ne renvoie qu'une couleur, le rouge (le rayonnement absorbé se transforme en chaleur).



Synthèse additive des couleurs.

4 Arc-en-ciel

Lorsque la pluie et le Soleil sont présents en même temps, on peut observer la formation d'un **arc-en-ciel**. Les gouttes d'eau se comportent comme autant de petits prismes et décomposent la lumière blanche du Soleil, formant un spectre continu de sept couleurs principales.

Pour voir l'arc-en-ciel, l'observateur doit tourner le dos au Soleil et regarder en direction des gouttes d'eau.

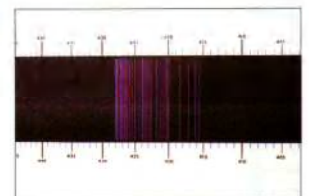


Arc-en-ciel.

5 Les spectres de raies

Un gaz comme le néon peut devenir lumineux lorsqu'il est soumis à une décharge électrique. L'observation de son spectre ne montre plus un spectre continu mais une succession de raies séparées par des plages noires.

La lumière émise ne contient pas toutes les couleurs, mais seulement celles dont on peut voir les raies dans le spectre; les couleurs absentes du mélange correspondent aux plages noires du spectre.



Spectre de raies.

6 De part et d'autre du visible

Infrarouge et ultraviolet

Le spectre de la lumière émise par une lampe à incandescence est formé sur un écran à l'aide d'un prisme.

L'exploration, avec des détecteurs appropriés, des zones situées avant le rouge et après le violet (parties non visibles) y montre la présence de radiations invisibles pour l'œil humain, l'infrarouge et l'ultraviolet.



Le thermomètre, dont le réservoir a été noirci, s'échauffe, prouvant ainsi la présence d'infrarouge.

Ondes électromagnétiques

La lumière constitue la partie visible d'un ensemble beaucoup plus large que l'on nomme ondes électromagnétiques.

Ondes électromagnétiques par ordre croissant d'énergie :

- les ondes radio
- les ondes radar
- les micro-ondes
- l'infrarouge
- la lumière (du rouge au violet)
- l'ultraviolet
- le rayonnement X
- le rayonnement gamma

Exemples :

- transmissions radiophoniques et télévisuelles...
- détecteurs des avions; mesure de la vitesse des voitures...
- fours à micro-ondes...
- radiateurs...
- vision, photo, cinéma...
- lampes à bronzer, coups de soleil...
- radiographie médicale...
- radiothérapie...

10 Impression en couleurs

Depuis le XVIII^e siècle, on connaît le principe de la quadrichromie. Un portrait de Louis XV a été imprimé ainsi en couleurs. On trouve souvent les quatre couleurs de référence de la quadrichromie : jaune, magenta, cyan et noir sur le bord du papier gommé d'une planche de timbres-poste ou sur la bordure cachée d'un emballage imprimé.



Obtention des clichés. Sélection des couleurs.

On photographie trois fois l'original, respectivement à travers un filtre bleu, vert et rouge (couleurs fondamentales). Le filtre bleu (bleu-violet exactement) absorbe sa couleur complémentaire : le jaune. Le négatif correspondant sera donc clair pour les parties contenant beaucoup de jaune.

- a) Quelle est la couleur absorbée par le filtre rouge ? À quelle couleur vont correspondre les parties claires ?
- b) Quelle est la couleur absorbée par le filtre vert ? À quelle couleur vont correspondre les parties claires ?

Le positif correspondant au jaune est formé sur une plaque appelée cliché. Les parties contenant beaucoup de jaune vont donc y paraître foncées.

À quelles couleurs correspondent les parties foncées des deux autres clichés ?

Rôle des encres. Impression.

Contrairement à la plupart des pigments colorés utilisés en peinture, les encres d'imprimerie sont transparentes. Elles agissent comme des filtres superposés vis-à-vis de la lumière blanche, d'où l'aspect coloré du document imprimé.

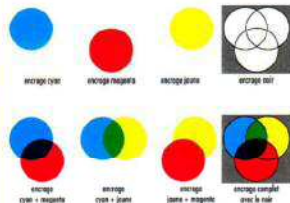
Chaque cliché correspondant à une couleur primaire va être encré sur les parties foncées de l'image (propriété particulière du matériau utilisé pour le cliché et de l'encre). La superposition des trois encrages sur le même support redonne une image semblable à l'original.

L'encre cyan ne laisse passer que les couleurs du vert au bleu, mais arrête le rouge.

- a) Quelles couleurs le magenta et le jaune vont-ils laisser passer ?
- b) Quelle couleur obtient-on par superposition des encrages cyan et magenta ?
- c) Quelle synthèse a-t-on réalisée ici ?

Remarque : un passage à l'encre noire permet d'améliorer le contrasté.

La figure illustre une impression selon ce procédé.



XERCICES

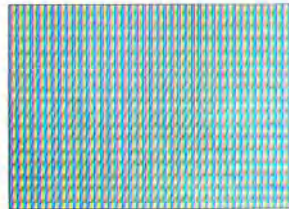
- 1 Citer trois couleurs de base qui permettent de donner, par addition sur un écran, l'impression de blanc. Pourquoi cette synthèse s'appelle-t-elle la trichromie ?
- 2 Récupérer un voilage fin ou un morceau de bas ou de collant. Bien le tendre et observer différentes sources de lumière à travers. Noter ces observations.
- 3 «Un arc-en-ciel à la maison»
Placer un verre rempli d'eau à ras bord sur une table de façon à ce qu'il soit éclairé par le soleil; par ébranchement, trouver la position qui permet l'observation d'un spectre sur la table ou sur le sol.
- 4 Récupérer des papiers transparents colorés (filtres) et se procurer une lampe de poche.
Avec une lampe munie d'un filtre rouge, éclairer des feuilles rouge, verte, bleue, orange, etc. (par exemple, des couvertures de cahier). Noter ce que l'on peut observer.
Observer les mêmes objets, éclairés en lumière blanche, en regardant à travers le filtre.
- 5 Newton a fixé arbitrairement les couleurs du spectre de la lumière solaire à 7, par analogie avec les sept notes de la gamme.
Quelles sont ces couleurs ?
- 6 On éclaire un tissu de couleur verte avec de la lumière rouge. Qu'observe-t-on ?
- 7 Trois filtres jaune, magenta et cyan sont posés sur la platine d'un rétroprojecteur, en se superposant partiellement. Compléter la phrase :
«Le filtre jaune laisse passer le vert et le rouge, mais arrête le bleu; le filtre cyan laisse passer le vert et le bleu, mais arrête le rouge. Les deux filtres superposés ne laissent donc passer que le»
Ecrire les phrases correspondantes pour les autres superpositions des filtres. Expliquer alors pourquoi la zone centrale est noire.
Pourquoi appelle-t-on cette synthèse des couleurs la synthèse soustractive ?
- 8 Pigments colorés et peinture
Le pigment jaune utilisé en peinture renvoie, quand il est éclairé en lumière blanche, essentiellement du jaune et du vert. Le pigment bleu, lui, renvoie du bleu et du vert (c'est du cyan).
a) Quelles couleurs absorbe le pigment jaune ?
b) Quelles couleurs absorbe le pigment bleu-cyan ?
- 9 Un texte est écrit en rouge sur une étiquette blanche. Comment nous apparaissent le texte et l'étiquette si on les éclaire :
a) avec de la lumière blanche ;
b) avec de la lumière bleue ;
c) avec de la lumière rouge ?

11 Télévision couleur

La vision des couleurs par l'œil humain s'explique par la présence dans la rétine de «cônes» sensibles au rouge, au vert ou au bleu. Selon les proportions de ces trois couleurs reçues, l'œil voit du «blanc» ou une couleur.

La caméra vidéo possède des «cellules photoélectriques» sensibles à ces trois couleurs et qui analysent la lumière reçue.

L'écran du téléviseur couleur possède des pastilles de substances qui émettent de la lumière rouge, verte ou bleue (luminophores) quand elles sont frappées par des faisceaux d'électrons. Le dosage des trois couleurs de base permet de reconstituer toutes les couleurs, l'œil réalisant la synthèse additive.

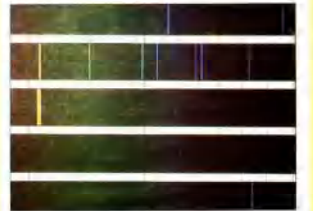


En observant l'écran de la télévision, déterminez quelles pastilles doivent être lumineuses pour obtenir du jaune, du violet, du blanc.

12 La spectrométrie, ou la traque des atomes

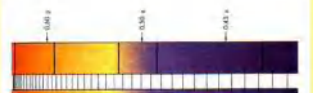
En spectrométrie, selon la source étudiée, on rencontre différents types de spectres, parmi lesquels :

- spectre d'émission d'un seul type d'atomes ;
- spectre d'émission d'un mélange de plusieurs atomes ;
- spectre d'absorption d'un atome ;
- spectre d'émission d'un atome superposé à un spectre continu.



Spectres d'émission : H, He, Ni, K, Ca.

En disposant de tables de spectres, on peut reconstituer la composition de Sirius.



Spectre de Sirius.

Recherchez dans un dictionnaire la différence entre spectrométrie et spectrographie. Quel est l'avantage de la première ?

Corrigé des exercices

La décomposition de la lumière

Exercice 1

Le jaune, le bleu et le rouge donnent par addition sur un écran l'impression de blanc. On parle de trichromie car cette synthèse utilise trois couleurs.

La décomposition de la lumière

Exercice 2

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

La décomposition de la lumière

Exercice 3

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

La décomposition de la lumière

Exercice 4

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

La décomposition de la lumière

Exercice 5

Les couleurs de l'arc-en-ciel sont : violet - indigo - bleu - vert - jaune - orange - rouge.

La décomposition de la lumière

Exercice 6

Le tissu vert absorbe toutes les couleurs qu'il reçoit (en particulier le rouge) sauf le vert qu'il renvoie. Éclairé en lumière rouge il ne renvoie pas de lumière et apparaît noir.

La décomposition de la lumière

Exercice 7

- Le filtre jaune laisse passer le **vert** et le rouge; le filtre cyan (bleu clair) laisse passer le **vert** et le **bleu**. Ces deux filtres superposés ne laissent passer que le **vert**.
- Le filtre magenta laisse passer le **bleu** et le rouge; le filtre cyan (bleu clair) laisse passer le vert et le **bleu**. Ces deux filtres superposés ne laissent passer que le **bleu**.
- Le filtre jaune laisse passer le vert et le **rouge**; le filtre magenta (rose) laisse passer le bleu et le **rouge**. Ces deux filtres superposés ne laissent passer que le **rouge**.
- Les trois filtres superposés ne laissent passer aucune lumière et la zone centrale est noire. Cette synthèse est soustractive car lorsque la lumière blanche (contenant toutes les couleurs) traverse un filtre, seules subsistent dans le faisceau les couleurs du filtre; les autres sont absorbées.

La décomposition de la lumière

Exercice 8

- Le pigment jaune absorbe presque entièrement toutes les couleurs sauf le jaune et le vert.
- Le pigment bleu absorbe presque entièrement toutes les couleurs sauf le bleu et le vert.

Chapitre 18. Les lentilles

Les lentilles sont des objets transparents que l'on trouve dans des appareils courants : lunettes, verres de contact, appareil de photo, projecteur de diapositives ou dans des appareils plus spécialisés : microscope, lunette astronomique. Dans tous les cas, leur rôle est d'obtenir des images d'objets que l'on désire observer.

1 Description

Une lentille est un corps transparent limité par deux surfaces sphériques ou par une surface sphérique et une surface plane.

L'**axe principal** d'une lentille limitée par deux surfaces sphériques est la droite reliant les centres des deux portions de sphères.

L'**axe principal** d'une lentille limitée par une surface sphérique et un plan est la perpendiculaire à ce plan passant par le centre de la surface sphérique.

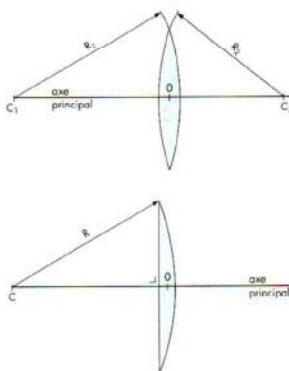
Une lentille est **mince** si son épaisseur mesurée sur l'axe principal est négligeable face aux rayons R_1 et R_2 de ses faces. Le centre optique O d'une telle lentille est son point d'intersection avec l'axe principal.

Les **réfractions** subies par les rayons lumineux à l'entrée et à la sortie de la lentille vont permettre d'obtenir les images désirées.

2 Deux sortes de lentilles

Par leur forme, on distingue deux sortes de lentilles :

- les lentilles plus minces aux bords qu'au centre sont **convergentes**.
- les lentilles plus minces au centre qu'aux bords sont **divergentes**.



Exemple de lentilles convergentes et divergentes.

La décomposition de la lumière

Exercice 9

Dans la première édition du livre, il n'y a pas d'exercice pour ce corrigé.

Le texte écrit en rouge sur une étiquette blanche paraît :

- rouge sur fond blanc si on l'éclaire avec de la lumière blanche;
- noir sur fond bleu si on l'éclaire avec de la lumière bleue;
- rouge sur fond rouge si on l'éclaire avec de la lumière rouge; on ne peut plus le distinguer.

La décomposition de la lumière

Exercice 10

Obtention des clichés. Sélection des couleurs.

- Le filtre rouge absorbe sa couleur complémentaire : le cyan. Le négatif correspondant sera clair pour les parties contenant beaucoup de cyan. Le positif correspondant sera foncé pour les parties contenant beaucoup de cyan.
- Le filtre vert absorbe sa couleur complémentaire : le magenta. Le négatif correspondant sera clair pour les parties contenant beaucoup de magenta. Le positif correspondant sera foncé pour les parties contenant beaucoup de magenta.

Rôle des encres. Impression.

- L'encre magenta ne laisse passer que les couleurs bleue et rouge mais absorbe le vert. L'encre jaune ne laisse passer que les couleurs verte et rouge mais absorbe le bleu.
- On obtient du **bleu** par superposition des encrages cyan et magenta.
- La synthèse réalisée est une synthèse soustractive.

La décomposition de la lumière

Exercice 11

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

La décomposition de la lumière

Exercice 12

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

3 Les foyers, la distance focale, les plans focaux

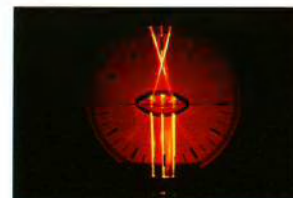
Envoyons un faisceau parallèle à l'axe principal d'une lentille; on constate que :

- pour une lentille convergente, le faisceau, après son passage dans la lentille **converge** en un point de l'axe principal appelé **foyer principal image** et noté F' ;
- pour une lentille divergente, le faisceau, après son passage dans la lentille **diverge** comme s'il provenait d'un point de l'axe principal appelé **foyer principal objet** et noté F .

Pour chaque lentille, le point situé sur l'axe principal et symétrique de F' par rapport au centre optique O est appelé **foyer principal objet**. On le note F .

La distance f entre le centre optique et chacun des foyers est la **distance focale** (ou **focale**) de la lentille.

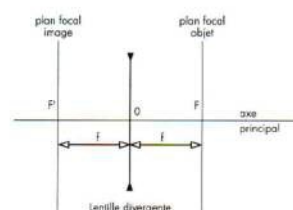
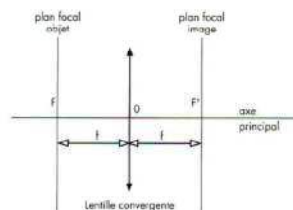
Le **plan focal objet** d'une lentille est le plan perpendiculaire à l'axe principal et contenant F . Le **plan focal image** est le plan perpendiculaire à l'axe principal et contenant F' .



Lentille convergente.



Lentille divergente.



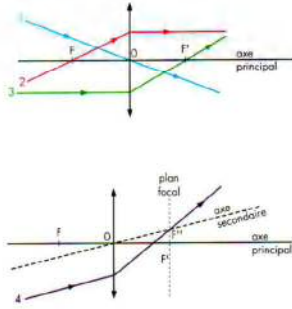
4 Représentation schématique

Une lentille est représentée schématiquement par une flèche avec son centre optique O et son axe principal.

5 Trajet des rayons dans une lentille convergente

L'expérience montre que :

1. Un rayon passant par le centre optique **O** n'est pas dévié.
 2. Un rayon incident passant par le foyer principal objet **F** ressort de la lentille parallèlement à l'axe principal.
 3. Un rayon incident parallèle à l'axe principal ressort de la lentille en passant par le foyer principal image **F'**.
 4. L'axe secondaire correspondant à un rayon incident quelconque est la parallèle à ce rayon passant par le centre optique. Cet axe coupe le plan focal image et le rayon émergent en un point **F''** appelé foyer secondaire.
- A tout rayon correspondent un axe secondaire et un foyer secondaire; cette construction permet de déterminer le trajet du rayon à la sortie de la lentille.

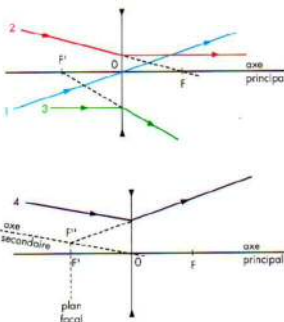


6 Trajet des rayons dans une lentille divergente

L'expérience montre que :

1. Un rayon passant par le centre optique **O** n'est pas dévié.
2. Un rayon incident dont le prolongement passe par le foyer principal objet **F** ressort de la lentille parallèlement à l'axe principal.
3. Un rayon incident parallèle à l'axe principal ressort de la lentille comme s'il provenait du foyer principal image **F'**.
4. L'axe secondaire et le foyer secondaire **F''** correspondant à un rayon quelconque se construisent de la même manière que dans le cas d'une lentille convergente.

Un rayon incident quelconque ressort de la lentille comme s'il provenait du foyer secondaire **F''** qui lui correspond.

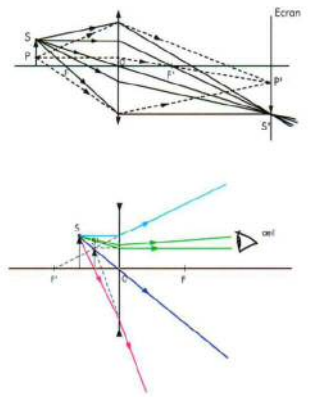


7 L'image d'un objet

a) Exemple avec une lentille convergente.

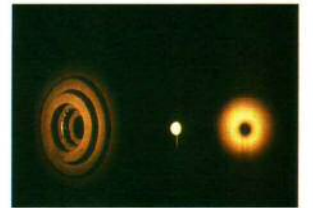
Considérons les rayons issus d'un point **S** d'une source lumineuse située dans un plan perpendiculaire à l'axe principal d'une lentille; en construisant leurs trajets, on constate qu'ils convergent en un point **S'** derrière la lentille. Un écran placé à cet endroit serait donc éclairé en **S'**. Cette propriété étant valable pour chaque point de la source, il se constitue ainsi, point par point sur l'écran, une image nette et fidèle de l'objet lumineux.

Si l'écran était placé plus en avant ou plus en arrière, le faisceau issu de **S** n'y formerait plus un point mais une tache; l'image serait floue. La recherche de la position de l'écran donnant une image nette s'appelle la **mise au point**. On peut aussi faire la mise au point en déplaçant la lentille.

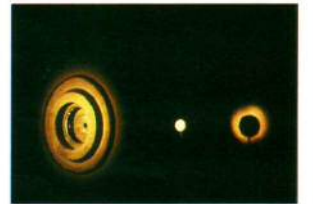


b) Exemple avec une lentille divergente.

La même expérience réalisée avec une lentille divergente montre que les rayons issus du point **S** de la source divergent après leur passage dans la lentille. Leurs prolongements se coupent en un point **S'** et la lumière semble provenir de ce point. Cette propriété valable pour chaque point de la source permet à un observateur d'en voir une image.



Diaphragme ouvert.



Diaphragme fermé.

Remarques

- Il n'est pas nécessaire, pour déterminer l'image d'un point lumineux, de construire les trajets de tous les rayons pénétrant dans la lentille; deux suffisent mais un troisième est utile pour vérifier la précision de la construction.
- Les trajets décrits dans les paragraphes 5 et 6 ne sont vraiment respectés, dans un montage réel, que si l'on élimine, à l'aide d'un diaphragme, les rayons trop éloignés de l'axe principal. Si l'on ne prend pas cette précaution, l'image ne sera pas vraiment nette.

8 La nature de l'image

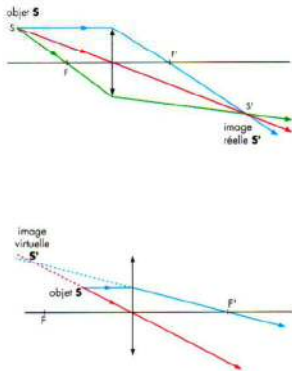
Lors de la formation d'une image par une lentille, deux cas peuvent se présenter :

a) Les rayons issus de la source ponctuelle **S** convergent en un point **S'** après leur passage dans la lentille; ce point est alors appelé **image réelle**.

C'est ce type d'image qui se forme sur le film d'un appareil de photo.

b) Les rayons issus de la source ponctuelle **S** divergent après leur passage dans la lentille. L'image **S'** se trouve alors à l'intersection du prolongement de ces rayons lumineux; ce point est appelé **image virtuelle**.

Une telle image ne peut pas être reçue sur un écran mais peut être vue directement en plaçant l'œil sur le trajet des rayons émergents de la lentille.



Remarques

- Une image virtuelle est obtenue avec une lentille convergente lorsque la source est placée entre la lentille et son foyer **F** (voir exercice 12).
- L'image que donne un miroir est virtuelle.

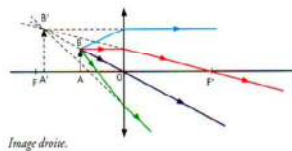


Image droite.

9 Le sens de l'image

Si, sur un schéma, un point objet et son image sont du même côté de l'axe principal, on dit que l'image est droite.

Si, sur un schéma, un point objet et son image sont de part et d'autre de l'axe principal, on dit que l'image est renversée.

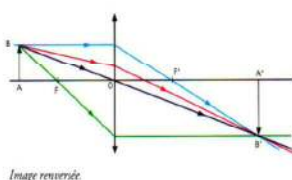


Image renversée.

10 Les lois des lentilles

L'observation expérimentale et les constructions graphiques montrent que, pour un objet donné, la position de son image dépend de la distance focale de la lentille utilisée et de la position de l'objet.

La taille de l'image dépend aussi de la taille de l'objet.

Sur un montage comprenant une lentille convergente de distance focale **f** connue, on repère la position de l'image obtenue avec un écran.

Désignons par :

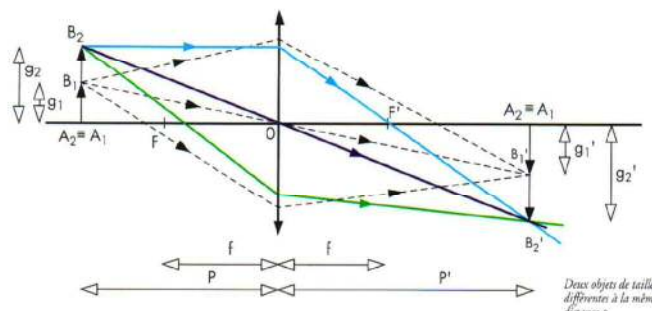
- p** la distance entre l'objet et le centre optique de la lentille
- p'** la distance entre l'image et le centre optique de la lentille
- g** la hauteur de l'objet
- g'** la hauteur de l'image

En mesurant **p'** et **g'** pour différentes valeurs de **p**, on constate que dans chaque cas :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

et

$$\frac{g'}{g} = \frac{p'}{p}$$



Deux objets de tailles différentes à la même distance **p**.



11 Conventions des signes algébriques

Les relations précédentes ne sont pas vérifiées pour un montage faisant intervenir une lentille divergente ou une image virtuelle.

Pour les généraliser à toute situation, il suffit de respecter les conventions suivantes:

f	sera	positif	si la lentille est	convergente
f	sera	négalif	si la lentille est	divergente
p et g	seront	positifs	si l'objet est	réel
p et g	seront	négalifs	si l'objet est	virtuel
p' et g'	seront	positifs	si l'image est	réelle
p' et g'	seront	négalifs	si l'image est	virtuelle

	Lentille convergente	Lentille divergente	Objet réel	Objet virtuel	Image réelle	Image virtuelle
f	+	-				
p			+	-		
g			+	-		
p'					+	-
g'					+	-

12 Le grandissement et le sens de l'image

Le grandissement d'un montage comprenant une lentille est un rapport défini par:

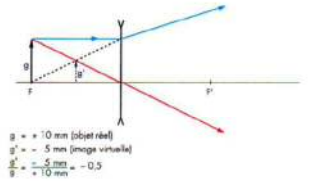
$$\frac{g'}{g}$$

Sa valeur absolue indique le rapport entre la taille de l'image et celle de l'objet: le signe algébrique de ce rapport permet de connaître le sens de l'image (- si l'image est droite et + si elle est renversée):

si $\frac{g'}{g} = -2$ l'image sera droite et deux fois plus grande que l'objet

si $\frac{g'}{g} = +2$ l'image sera renversée et deux fois plus grande que l'objet

si $\frac{g'}{g} = -0,5$ l'image sera droite et sa grandeur vaudra la moitié de celle de l'objet.



13 La vergence d'une lentille

Les propriétés d'une lentille sont déterminées par la valeur de sa distance focale f . Les opticiens préfèrent utiliser la vergence C définie comme l'inverse de la distance focale:

$$C = \frac{1}{f}$$

Si la distance focale est exprimée en mètres [m], la vergence sera exprimée en dioptries [m^{-1}].

A partir de la distance focale de la lentille, on peut calculer sa vergence et vice versa. Ces deux grandeurs font en quelque sorte double emploi et l'utilisation de l'une plutôt que l'autre est affaire de convenance.

E XERCICES

1 Vrai ou faux ?

- Une lentille à bords minces est convergente.
- Tous les rayons qui traversent une lentille convergente sont déviés.
- Le foyer d'une lentille est en son centre.
- Quelle que soit sa position par rapport à la lentille, un objet donne toujours une image réelle recueillie sur un écran.
- Le plan focal image est le plan dans lequel se forme l'image d'un objet situé à l'infini.

2 Rappeler ce qu'on appelle centre optique et foyer d'une lentille convergente, en précisant la propriété d'un rayon lumineux qui passe par l'un de ces points.

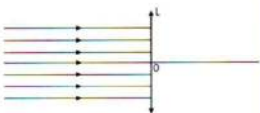
3 Que signifie, en optique, l'expression «faire la mise au point» ?

4 Marche d'un pinceau lumineux

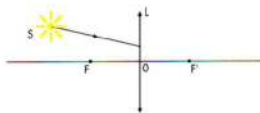
Une lentille de diamètre 4 cm a une distance focale de 5 cm. Schématiser la lentille et placer les foyers.

Tracer un pinceau lumineux issu du foyer F et qui traverse la lentille.

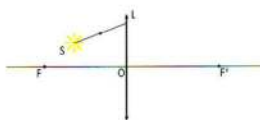
5 Dessiner le faisceau lumineux après son passage à travers la lentille L dont la distance focale vaut 50 mm.



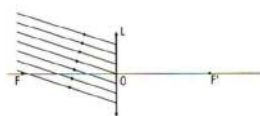
6 Tracer le rayon lumineux, issu du point lumineux S , après son passage à travers la lentille L de foyers F et F' .



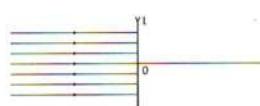
7 Tracer le rayon lumineux, issu du point lumineux S , après son passage à travers la lentille L de foyers F et F' .



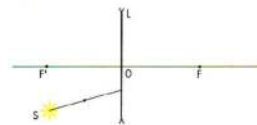
8 Tracer les rayons lumineux après leur passage à travers la lentille L de foyers F et F' . Ces rayons sont tous issus d'un point lumineux très éloigné.



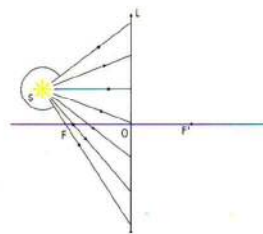
9 Dessiner le faisceau lumineux après son passage à travers la lentille L dont la distance focale vaut -50 mm.



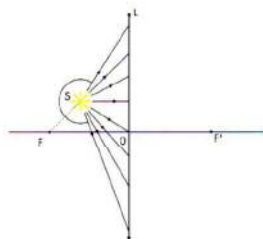
10 Tracer le rayon lumineux, issu du point lumineux S , après son passage à travers la lentille L de foyers F et F' .



11 Tracer les rayons lumineux après leur passage à travers la lentille L de foyers F et F' .

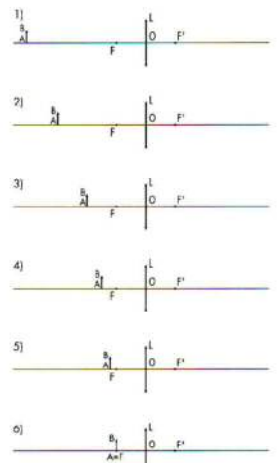


12 Tracer les rayons lumineux après leur passage à travers la lentille L de foyers F et F' .

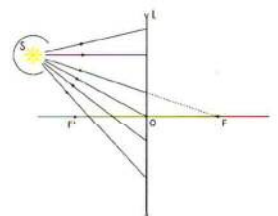


E XERCICES

13 Construire sur chaque figure l'image $A'B'$ de l'objet lumineux AB produite par la lentille L de foyers F et F' .

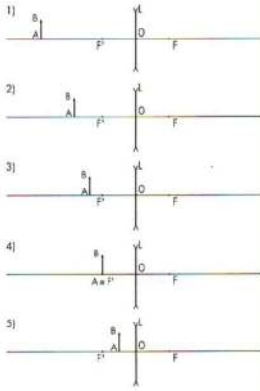


14 Tracer les rayons lumineux, issus du point lumineux S , après leur passage à travers la lentille L de foyers F et F' .





15 Construire sur chaque figure l'image A'B' de l'objet lumineux AB produite par la lentille L de foyers F et F'.



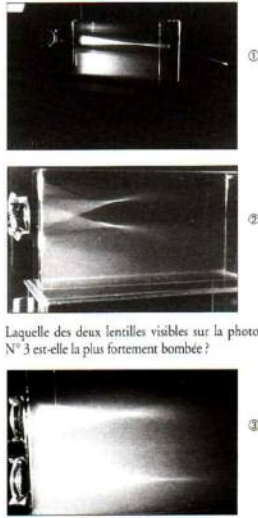
Que peut-on dire de l'image A'B' quand l'objet AB est très éloigné de la lentille (rejeté à l'infini) ?

16 Pour réaliser les photographies ci-après, on a utilisé des lentilles convergentes fixées dans des pinces, des lampes 12 V à petit filament et un bac transparent, tourné à l'envers, dans lequel on a injecté un peu de fumée.

a) Compléter ce tableau :

N° photo	Nombre de lentilles utilisées	Nombre de lampes utilisées
1		
2		
3		

b) A partir de la photo N° 2, faire un croquis montrant le bac, la lentille et les lampes qui produisent l'effet observé.

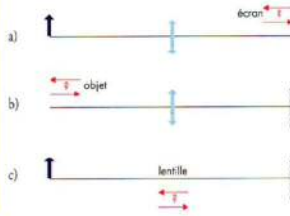


c) Laquelle des deux lentilles visibles sur la photo N° 3 est-elle la plus fortement bombée ?

17 Exercice de synthèse: rôle d'un diaphragme

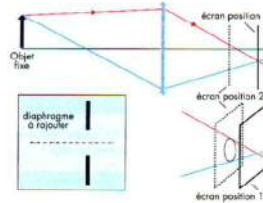
1) D'une manière générale, faire la mise au point, c'est trouver les positions respectives de l'objet, de la lentille et de l'écran les uns par rapport aux autres pour que l'image soit nette.

Lorsque vous utilisez un projecteur de diapositives ou un appareil photographique réglable, dans quel cas êtes-vous ?



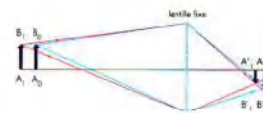
2) Quand la mise au point est faite, si on déplace l'écran en avant ou en arrière, nous savons que l'image recueillie devient floue. Par contre, si la lentille est diaphragmée, l'image recueillie reste pratiquement nette dans une zone d'autant plus grande que le diaphragme est petit.

a) Reproduire la figure sans le tracé des rayons, en plaçant le diaphragme contre la lentille. Compléter par les rayons et expliquer les observations précédentes.



b) Si la mise au point est faite avec un diaphragme très petit et s'il est ensuite retiré, que risque-t-on d'observer sur l'écran ?

3) Quand la mise au point est faite (image A'B'), si on déplace l'objet par rapport à la lentille, sans toucher à l'écran, l'image A'B' recueillie devient floue. Là encore, si on place un diaphragme, il est possible de déplacer un peu l'objet sans que la netteté en soit affectée.



a) Reproduire la figure en y ajoutant le diaphragme et compléter le tracé des rayons, afin d'expliquer les observations précédentes.

b) Dans quel cas peut-on avoir simultanément nettes les images de plusieurs objets placés à des distances différentes ?

4) Expliquer comment évolue la luminosité de l'image quand le diamètre du diaphragme diminue.



18 Construction d'une image

Une lettre lumineuse de hauteur $g = 4$ cm est située dans un plan perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille convergente, à la distance $p = 150$ cm de celle-ci. La lentille a un diamètre $d = 10$ cm et une distance focale $f = 50$ cm.

Construire l'image de cet objet et en déterminer la hauteur g' (choisir une échelle convenable).

19 Construction d'une image

On forme sur un écran, avec une lentille de vergence $+1$ dioptrie, l'image d'un arbre dont la hauteur g est 2,5 m. L'arbre est situé à la distance $p = 8$ m de la lentille.

En choisissant une échelle convenable, construire l'image de l'arbre. Quelle est sa hauteur g' sur l'écran ?

20 On forme avec une lentille convergente l'image d'un segment lumineux perpendiculaire à l'axe de la lentille. A l'aide des résultats suivants, faire une représentation graphique de l'expérience.

Déterminer alors la distance focale de la lentille.

Distance objet-lentille :	$p = 10$ cm ($= 0,1$ m)
Distance lentille-écran :	$p' = 30$ cm ($= 0,3$ m)
hauteur de l'objet :	$g = 2$ cm ($= 0,02$ m)
hauteur de l'image :	$g' = 6$ cm ($= 0,06$ m)

21 Un cas intéressant: l'image est identique à l'objet

Vous savez déjà que l'image peut avoir une taille plus petite ou plus grande que l'objet, selon la position de cet objet par rapport à la lentille. On peut donc penser que pour une position particulière, l'image aura la même taille que l'objet.

Par tâtonnement, il est possible de trouver cette position. Essayez.

En déduire une méthode de mesure de la distance focale.



22 Soit un segment lumineux de hauteur $g = 4$ cm et une lentille de distance focale $f = 8$ cm. Trouver, par construction, la position de l'objet et celle de l'image si celle-ci a une hauteur $g' = 3$ cm.

23 Un objet lumineux AB est placé devant une lentille convergente de centre optique O dont la distance focale mesure 20 cm. L'image A'B' produite par la lentille est nette sur un écran. On désigne par OA la distance qui sépare l'objet AB du centre optique O de la lentille et par OA' la distance de O à l'image A'B'.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs de OA' pour diverses valeurs de OA.

OA en [m]	OA' en [m]
0,30	0,60
0,40	0,40
0,45	0,36
0,60	0,30
0,70	0,28

a) Sur un graphique, placer les valeurs de OA sur l'axe x (horizontal) et les valeurs de OA' sur l'axe y (vertical). Pour chaque couple de valeurs correspondantes de OA et OA', relier par une droite les points sur les axes (OA; 0) et (0; OA').

Que constate-t-on ?

b) Compléter le tableau suivant au moyen du graphique à 10^{-3} m près).

OA en [m]	OA' en [m]
0,50	_____
0,90	_____
0,34	_____

c) Que devient la distance OA' quand l'objet AB est très éloigné de O ?

d) On suppose que l'objet AB est situé à une grande distance du centre optique O. On rapproche l'objet de O.

Comment varie la distance OA' ?

Que peut-on dire de OA' quand OA est très légèrement supérieur à 20 cm ?

e) Que devient la distance OA' quand l'objet AB est placé à une distance inférieure à 20 cm du centre optique O ?

Observe-t-on une image dans ce cas ? Cette méthode est appelée «Méthode de Lissajous» (1822-1880).

24 Un objet lumineux AB est situé à 250 mm du centre optique d'une lentille convergente de focale + 150 mm.

a) A quelle distance du centre optique se trouve l'image A'B' ?

b) L'image A'B' est-elle réelle ou virtuelle ?

25 Un objet lumineux AB est situé à 150 mm du centre optique d'une lentille divergente de focale - 100 mm.

a) A quelle distance du centre optique se trouve l'image A'B' ?

b) L'image A'B' est-elle réelle ou virtuelle ?

26 On projette sur un écran l'image A'B' d'un objet lumineux AB produite par une lentille convergente. La hauteur de l'image A'B' mesure 48 mm. La distance de l'objet AB au centre optique de la lentille est égale à 1,2 m et celle du centre optique à l'écran vaut 36 cm.

Calculer la hauteur de l'objet AB.

27 On place un objet lumineux de 6 mm de hauteur à 50 mm du centre optique d'une lentille divergente de focale - 75 mm.

a) A quelle distance du centre optique se trouve l'image A'B' ?

b) L'image A'B' est-elle réelle ou virtuelle ?

c) Quelle est la hauteur de l'image A'B' ?

d) L'image A'B' est-elle renversée ou droite ?

28 Un objet lumineux AB de 12 cm de hauteur est situé à 32 cm du centre optique d'une lentille convergente de focale + 20 cm.

a) A quelle distance du centre optique de la lentille faut-il placer un écran pour y projeter l'image A'B' de l'objet AB ?

b) Calculer la hauteur de l'image A'B'.

c) Construire, sur une figure à l'échelle 1:5, l'image A'B'.



29 Une lentille donne d'un objet lumineux de 30 mm de hauteur, situé à 40 cm de son centre optique, une image réelle A'B' haute de 45 mm.

a) Quelle est la distance séparant l'écran du centre optique de la lentille ?

b) Quelle est la distance focale de la lentille ?

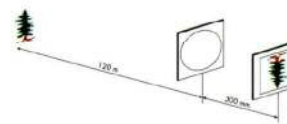
30 Un objet lumineux AB est situé à 80 cm d'un écran sur lequel on désire projeter une image A'B' de même taille que l'objet AB.

a) Quel type de lentille faut-il utiliser ?

b) A quelle distance de l'objet faut-il placer la lentille ?

c) Quelle doit être la distance focale de la lentille ?

31 L'image d'un arbre, situé à 120 m du centre optique d'une lentille convergente, est nette sur un écran translucide placé à 300 mm de la lentille.



a) Quelle est la hauteur réelle de l'arbre ?

b) Quelle est la distance focale de la lentille ?

32 Vergence et distance focale

Quelle est la vergence d'une lentille convergente de distance focale $f = 150$ mm ?

33 Vergence et distance focale

Quelle est la distance focale d'une lentille dont la vergence vaut + 40 dioptries ?

34 Optique de phare

Phare de l'île de Porquerolles

Monsieur Emilio Sarraz, gardien du phare, raconte: «Le phare de Porquerolles a été édifié en 1823 par les forçats de Toulon. Son optique date de 1906 et est située à 80 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il émet deux éclats blancs toutes les dix secondes. Sa portée est de 29 milles, soit environ 53 kilomètres. Sa puissance est équivalente à 8 millions de bougies!» L'optique d'un tel phare est constituée de **lentilles à échelons**, dites «de Fresnel». Ces dernières comportent une lentille centrale de quelques centimètres de diamètre entourée d'anneaux concentriques en morceaux de verres taillés, de section triangulaire (les échelons). Cette lentille délivre un faisceau émergent cylindrique, très lumineux, doux de grande portée. L'image obtenue avec une lentille convergente, de grand diamètre, non diaphragmée, est déformée; on parle d'**aberrations**. En particulier, dans le cas d'une optique de phare, si la lampe est placée au foyer objet, le faisceau émergent n'est pas parfaitement cylindrique; la lumière est dispersée dans l'espace et la portée du phare en est réduite.



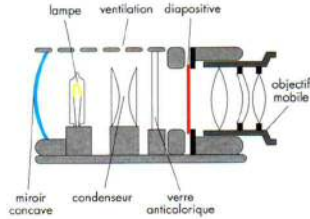
Phare de Porquerolles, France. (Photo Jean-Claude Rouvina)

Questions

- Pourquoi n'utilise-t-on pas une lentille diaphragmée?
- Quelle est l'origine du mot phare? Renseignez-vous sur les caractéristiques des principaux phares (hauteur, portée).
- La lentille d'un phare a un diamètre de plusieurs dizaines de centimètres. Indépendamment des problèmes d'aberrations, que risquerait-il de se produire avec une lentille d'un «seul tenant»?
- Recherchez dans votre classe un appareil utilisant un faisceau ouvert, lumineux, avec le minimum de déformations pour l'image.

35 Le projecteur de diapositives

Le projecteur de diapositives est utilisé pour obtenir sur un écran une image agrandie et aussi lumineuse que possible. Afin d'améliorer les qualités de l'image, de corriger les déformations sur les bords et de supprimer les irrégularités, son objectif est constitué de plusieurs lentilles convergentes et divergentes. L'ensemble est cependant équivalent à une lentille convergente unique dont on connaît la distance focale. Les fabricants mettent souvent à disposition un graphique qui permet d'éviter des calculs pour déterminer la distance appareil-écran, en fonction de la distance focale de l'objectif, afin d'obtenir une image à la taille désirée.



37 Les objectifs photographiques

L'objectif d'un appareil photographique est caractérisé par deux nombres: le premier donne la distance focale (focale) et le second l'ouverture relative maximale (pleine ouverture); on a par exemple: 50mm f/1,8. On mesure la distance focale en millimètres.

Un objectif est dit de «focale normale» si la distance focale a une valeur proche de celle de la diagonale de l'image rectangulaire obtenue sur le film. Il couvre un angle (champ angulaire) de l'ordre de 45°, voisin de celui de l'œil, d'où son qualificatif de «normal».

En utilisant des objectifs de focale plus petite ou plus grande, il est possible d'obtenir des images très différentes. Des photographies du même sujet prises du même endroit, avec un objectif grand angle (f = 28 mm), un objectif

«normal» (f = 50 mm), un téléobjectif (f = 105 mm) et un autre téléobjectif (f = 180 mm). Dans certains objectifs, on peut faire varier la distance focale entre deux limites, en déplaçant l'un par rapport à l'autre, deux groupes de lentilles: c'est l'**objectif zoom**. Il existe même un objectif appelé «fish-eye», de distance focale très courte, qui permet d'obtenir des effets très spéciaux.

Questions

- Vérifier que l'objectif de focale 50 mm est «normal» pour une pellicule 24 x 36.
- Chercher l'origine de l'appellation «fish-eye».
- Plutôt que d'acheter un objectif de 50 mm avec le boîtier reflex, on achète souvent un zoom 35-70 mm ou un zoom 35-105 mm. Quel en est l'intérêt?

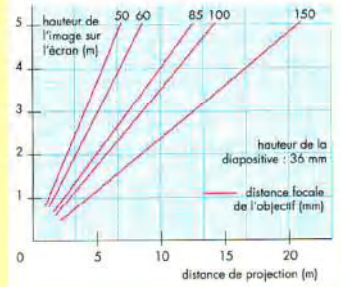


Influence de l'objectif:
- le téléobjectif réduit le champ de vision et grossit,
- le grand-angle élargit le champ de vision.

Questions

- Comment évolue la luminosité de l'image quand l'écran est de plus en plus éloigné?
- Comment doit-on placer la diapositive pour obtenir une image à l'infini sur l'écran? Pourquoi?

Courbes donnant la hauteur de l'image en fonction de l'éloignement de l'écran.



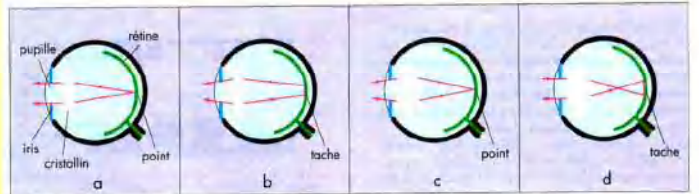
36 Utilité des verres correcteurs

L'œil est un système optique complexe, car il est constitué de plusieurs milieux transparents différents. Cependant, on peut l'assimiler à une **lentille convergente unique, de distance focale d'environ 15 mm, lors de la vision à l'infini**. L'image se forme dans le plan focal image, situé sur la rétine (fig. a). En observant un objet plus proche, l'image se forme derrière le plan focal; avec ce modèle, la vision serait floue (fig. b). Pour corriger ce défaut, l'œil accommode, c'est-à-dire que le cristallin se bombe: il devient plus convergent et l'image se forme sur la rétine (fig. c). Il y a cependant une distance limite, au-delà de laquelle un objet ne peut plus être vu net. Avec l'âge, cette distance augmente, l'œil accommodant de moins en moins: c'est la **presbytie**. L'œil n'est plus assez convergent pour la vision proche, on doit porter des verres correcteurs qui seront des lentilles convergentes.

Dans le cas de la **myopie**, l'image se forme avant la rétine, le cristallin étant trop convergent pour un objet situé à l'infini (fig. d). Les verres correcteurs seront des lentilles divergentes.

Questions

- Essayer d'évaluer la distance la plus courte à laquelle un objet est encore vu nettement.
- Les «verres de presbytie» sont-ils nécessaires pour la vision lointaine? En quoi consistent les «verres à double foyer» ou les «verres progressifs»? Quel est leur intérêt?
- Un myope a-t-il besoin de lunettes pour voir de près, par exemple pour lire?
- Calculer la vergence de l'œil (vision à l'infini).



Corrigé des exercices

Les lentilles

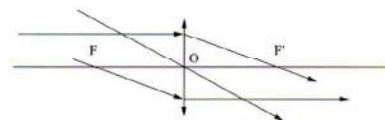
Exercice 1

- Une lentille à bords minces est effectivement convergente.
- Parmi les rayons qui traversent une lentille convergente, ceux qui passent par le centre optique ne sont pas déviés.
- Le foyer d'une lentille n'est pas en son centre.
- Suivant sa position par rapport à la lentille, un objet donne soit une image réelle que l'on peut recueillir sur un écran soit une image virtuelle qui ne peut pas être recueillie sur un écran mais qui peut être vue directement à travers la lentille.
- Un objet à l'infini envoie un faisceau de rayons parallèles sur la lentille. Ces rayons convergent en un point du plan focal. L'image d'un objet à l'infini se forme donc bien dans le plan focal.

Les lentilles

Exercice 2

- Le centre optique O est le point d'intersection d'une lentille mince avec l'axe principal. Un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.
- Le foyer principal image F' d'une lentille convergente est le point par lequel émergent tous les rayons d'un faisceau incident parallèle à l'axe optique de la lentille.
- Le foyer principal objet F d'une lentille convergente est le point symétrique de F' par rapport à la lentille. Les rayons incidents passant par F émergent parallèlement à l'axe principal de la lentille.



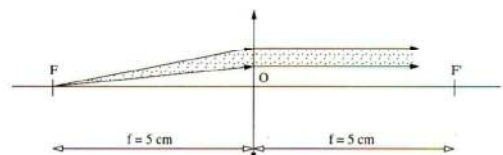
Les lentilles

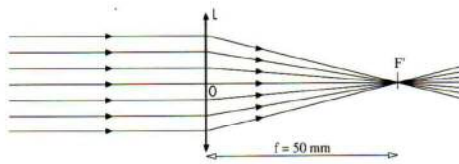
Exercice 3

- Faire la mise au point consiste à trouver les positions respectives de l'objet, de la lentille et de l'écran pour que l'image qui se forme soit nette sur l'écran.

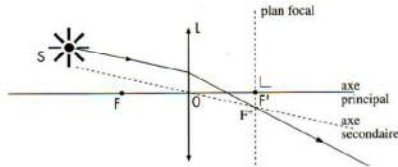
Les lentilles

Exercice 4

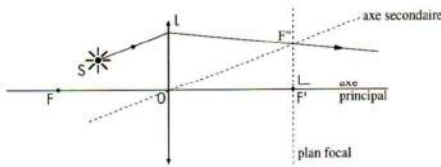




- Construire le plan focal image : perpendiculaire à l'axe principal en F' .
- Construire l'axe secondaire : parallèle au rayon incident passant par le centre optique O ; son intersection avec le plan focal est le foyer secondaire F'' .
- Le rayon émergent passe par F'' .

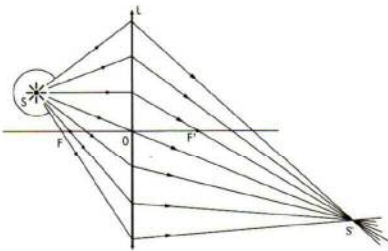


- Construire le plan focal image : perpendiculaire à l'axe principal en F' .
- Construire l'axe secondaire : parallèle au rayon incident passant par le centre optique O ; son intersection avec le plan focal est le foyer secondaire F'' .
- Le rayon émergent passe par F'' .



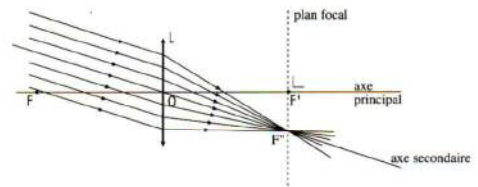
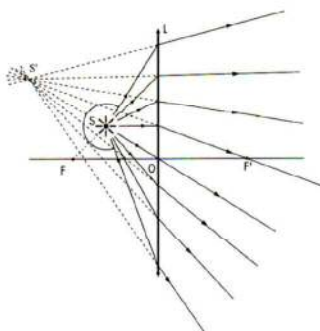
En construisant les rayons émergents correspondant à chacun des rayons incidents, on remarque qu'ils convergent en un point S' .

S' est l'image réelle du point objet S .

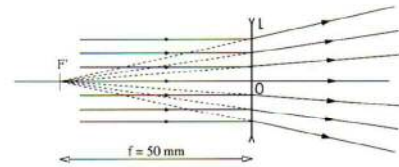


En construisant les rayons émergents correspondant à chacun des rayons incidents, on remarque que leurs prolongements se coupent en un point S' ; les rayons émergents semblent provenir de S' .

S' est l'image virtuelle du point objet S .

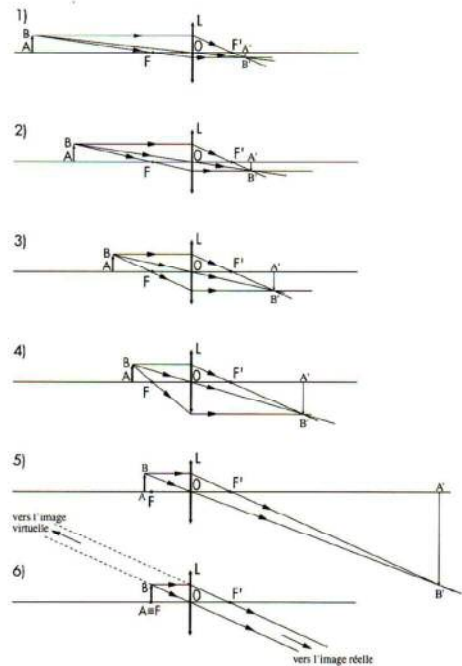
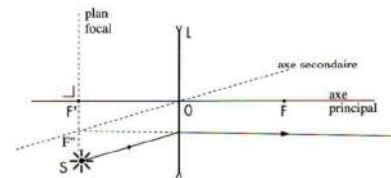


Le foyer F'' où convergent les rayons émergents est l'image du point lumineux très éloigné.



Les rayons émergents semblent provenir du foyer F' .

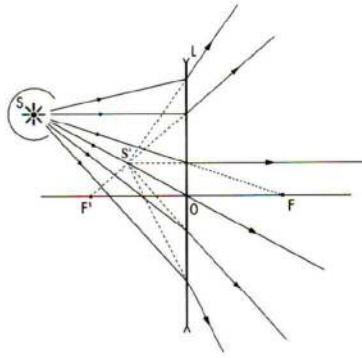
- Construire le plan focal image : perpendiculaire à l'axe principal en F' .
- Construire l'axe secondaire : parallèle au rayon incident passant par le centre optique O ; son intersection avec le plan focal est le foyer secondaire F'' .
- Le rayon émergent semble provenir de F'' .



- Plus l'objet est proche du foyer de la lentille, plus l'image est grande.
- Si l'objet est placé au foyer, les rayons émergents sont parallèles; on dit qu'il y a deux images à l'infini; l'une est réelle et l'autre est virtuelle.

En construisant les rayons émergents correspondant à chacun des rayons incidents, on remarque que leurs prolongements se coupent en un point S' . Les rayons émergents semblent provenir de S' .

S' est l'image virtuelle du point objet S .



Dans la première édition du livre, les photos ne sont pas dans le bon ordre. L'ordre correct est le suivant :

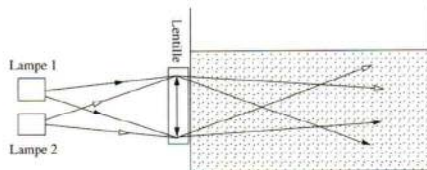


Le corrigé ci-dessous fait référence à l'ordre correct.

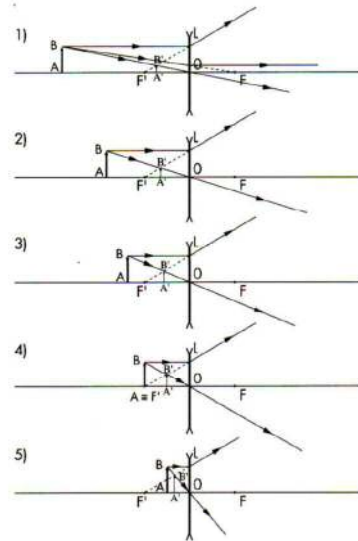
a)

N° photo	Nombre de lentilles utilisées	Nombre de lampes utilisées
1	1	1
2	1	2
3	2	1

b)



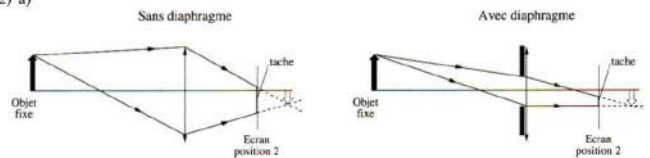
c) La lentille la plus bombée est celle qui a la plus petite distance focale. La distance focale est la distance entre la lentille et le point de convergence (foyer) des rayons émergents. On voit sur la photo que la *lentille du haut* a la plus petite distance focale: c'est la plus bombée.



- L'image est toujours virtuelle.
- Si l'objet AB est rejeté à l'infini, les rayons incidents sont parallèles et l'image se forme dans le plan focal image.

1) Dans le cas d'un projecteur de diapos ou d'un appareil de photo, on déplace la lentille pour effectuer la mise au point; on se trouve dans le cas c).

2) a)

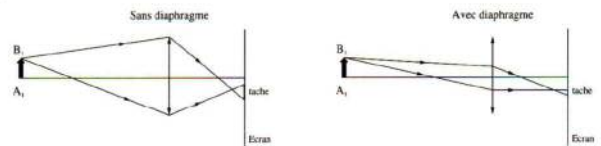


Sans diaphragme, l'image du point considéré de l'objet donne une tache lumineuse de grand diamètre sur l'écran. L'image de l'objet paraît très floue.

Avec le diaphragme fermé, seuls les rayons proches de l'axe principal de la lentille peuvent la traverser. Le diamètre de la tache lumineuse sur l'écran est suffisamment petit pour que l'image paraisse nette.

b) Si la mise au point est effectuée avec un diaphragme très petit, on risque d'observer une image très floue sur l'écran lorsqu'on retire le diaphragme.

3) a)



On considère l'objet A_1B_1 , l'image $A_1'B_1'$ se forme en avant de l'écran; les rayons issus de B_1 forment une tache lumineuse sur l'écran. Sans diaphragme, la tache est grande et l'image est floue alors qu'avec un diaphragme, la tache est suffisamment petite pour que l'image semble nette.

b) On peut donc, avec un diaphragme fermé, obtenir simultanément des images suffisamment nettes pour des objets situés à différentes distances.

L'épaisseur de la zone dans laquelle se trouvent les objets donnant des images suffisamment nettes est la *profondeur de champ*.

Exemple : un photographe effectue la mise au point sur 3 m.

- avec le diaphragme ouvert les objets situés à une distance comprise entre 1,8 m et 4,8 m de l'appareil donneront des images suffisamment nettes. La profondeur de champ vaut $4,8 \text{ m} - 1,8 \text{ m} = 3 \text{ m}$.
- avec le diaphragme fermé les objets situés à une distance comprise entre 1,5 m et l'infini donneront des images nettes. La profondeur de champ est quasiment infinie.

4) La luminosité varie comme la surface du diaphragme. Si le diamètre du diaphragme est divisé par deux la luminosité de l'image est divisée par quatre. Lorsqu'on passe d'une ouverture de diaphragme à la suivante sur un appareil de photo, la luminosité est modifiée d'un facteur deux.

Les lentilles **Exercice 18**

On peut choisir une échelle pour les grandeurs reportées sur l'axe principal et une autre échelle pour les grandeurs reportées perpendiculairement à l'axe principal.

Exemple :
sur l'axe principal; échelle : 1 vingtième;
perpendiculairement à l'axe principal; vraie grandeur.

L'image mesure 2 cm de hauteur.

Les lentilles **Exercice 19**

L'image mesure 36 cm de hauteur.

Les lentilles **Exercice 20**

- Placer la lentille, l'objet et l'image sur un schéma à l'échelle.
- De l'extrémité de l'objet, tracer le rayon incident parallèle à l'axe principal; il est dévié en direction de l'extrémité de l'image et coupe l'axe principal au foyer F'.

La distance focale de la lentille vaut 7,5 cm.

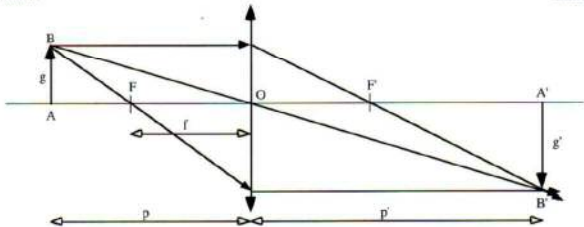
Les lentilles **Exercice 21**

L'image a la même taille que l'objet si la distance entre l'objet et la lentille vaut le double de la distance focale.

Les lentilles **Exercice 22**

<ul style="list-style-type: none"> Représenter la lentille et ses foyers. 	
<ul style="list-style-type: none"> Construire le rayon incident parallèle et à 4 cm de l'axe principal; le rayon émergent correspondant passe par le foyer image. 	
<ul style="list-style-type: none"> Construire le rayon émergent parallèle et à 3 cm de l'axe principal; le rayon incident correspondant passe par le foyer objet. 	

Les lentilles **Exercice 24**



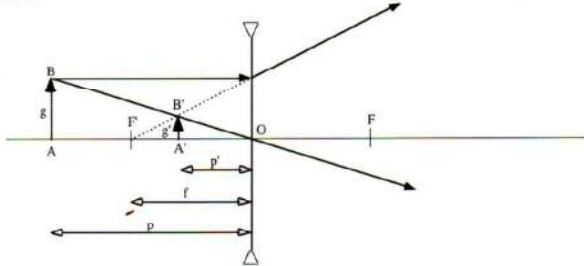
$p = 250 \text{ mm}$ $f = 150 \text{ mm}$

a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{150} = \frac{1}{250} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{150} - \frac{1}{250} = \frac{250 - 150}{150 \cdot 250} = \frac{100}{37500} \Rightarrow p' = 375 \text{ mm}$

L'image A'B' est à 375 mm de la lentille.

b) L'image est réelle car l'objet se trouve devant le foyer de la lentille convergente; la valeur de p' est positive.

Les lentilles **Exercice 25**



$p = 150 \text{ mm}$ $f = -100 \text{ mm}$

a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-100} = \frac{1}{150} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{-100} - \frac{1}{150} = \frac{-150 - 100}{150 \cdot (-100)} = \frac{-250}{-15000} = \frac{1}{60} \Rightarrow p' = 60 \text{ mm}$

L'image A'B' est à 60 mm de la lentille.

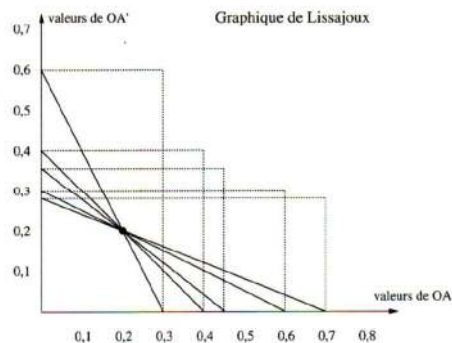
b) L'image est virtuelle; la valeur de p' est négative.

Le point objet est à l'intersection des deux rayons incidents; le point image est à l'intersection des deux rayons émergents.

L'objet est à environ 19 cm de la lentille et l'image à environ 14 cm de la lentille.

Les lentilles **Exercice 23**

a) Toutes les droites construites se coupent en un point de coordonnées (0,2 m ; 0,2 m).



b)

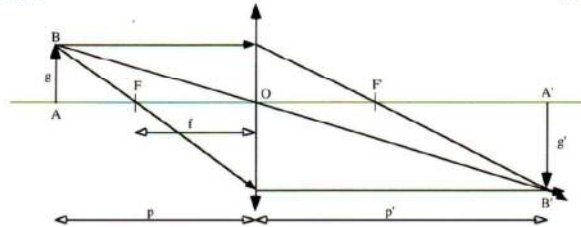
OA en [m]	OA' en [m]
0,50	0,33
0,90	0,26
0,34	0,49

c) La valeur de la distance OA' se rapproche de 0,2 m, c'est-à-dire de la distance focale de la lentille.

d) Si l'objet AB se rapproche jusqu'à 0,2 m de la lentille, la distance OA' augmente; elle devient très grande quand OA est très légèrement supérieure à 0,2 m. (Si OA = 0,2 m on obtient deux images à l'infini; voir exercice 13 de cette série).

e) La distance OA devient négative si l'objet AB est à moins de 0,2 m de la lentille. L'image est virtuelle; elle peut être observée à travers la lentille mais ne peut pas être recueillie sur un écran.

Les lentilles **Exercice 26**

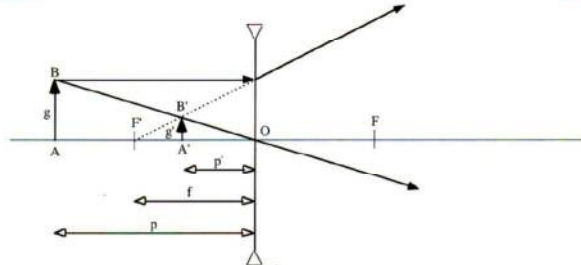


$g' = 48 \text{ mm}$ $p = 1200 \text{ mm}$ $p' = 360 \text{ mm}$

$\frac{g'}{g} = \frac{p'}{p} \Rightarrow g = \frac{g' \cdot p}{p'} = \frac{48 \text{ mm} \cdot 1200 \text{ mm}}{360 \text{ mm}} = 160 \text{ mm}$

L'objet mesure 160 mm de haut.

Les lentilles **Exercice 27**



$g = 6 \text{ mm}$ $p = 50 \text{ mm}$ $f = -75 \text{ mm}$

a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-75} = \frac{1}{50} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{-75} - \frac{1}{50} = \frac{-50 - 75}{75 \cdot (-50)} = \frac{-125}{-3750} = \frac{1}{30} \Rightarrow p' = 30 \text{ mm}$

L'image A'B' est à 30 mm de la lentille.

b) L'image est virtuelle; la valeur de p' est négative.

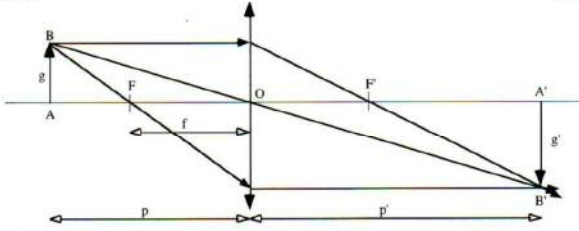
c) $\frac{g'}{g} = \frac{p'}{p} \Rightarrow g' = \frac{g \cdot p'}{p} = \frac{6 \text{ mm} \cdot (-30 \text{ mm})}{50 \text{ mm}} = -3,6 \text{ mm}$

L'image A'B' mesure 3,6 mm de haut.

d) L'image est droite car $\frac{g'}{g}$ est négatif; $\frac{g'}{g} = \frac{-3,6 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = -0,6$.

Les lentilles

Exercice 28

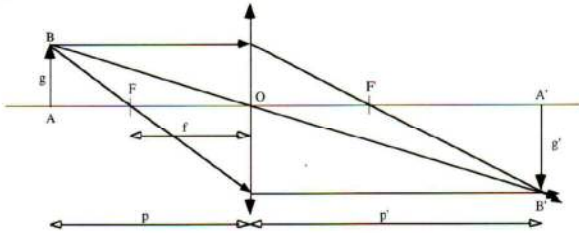


$g = 12 \text{ cm}$ $p = 32 \text{ cm}$ $f = 20 \text{ cm}$

- a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{32} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{32 - 20}{32 \cdot 20} = \frac{12}{640} \Rightarrow p' = 53,3 \text{ cm}$
 L'écran doit être placé à 53,3 cm de la lentille.
- b) $\frac{g'}{g} = \frac{p'}{p} \Rightarrow g' = \frac{g \cdot p'}{p} = \frac{12 \text{ cm} \cdot 53,3 \text{ cm}}{32 \text{ cm}} = 20 \text{ cm}$
 L'image mesure 20 cm de haut.
- c) Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Les lentilles

Exercice 29



$g = 30 \text{ mm}$ $p = 400 \text{ mm}$ $g' = 45 \text{ mm}$

- a) $\frac{g'}{g} = \frac{p'}{p} \Rightarrow p' = \frac{g' \cdot p}{g} = \frac{45 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} = 600 \text{ mm}$
 L'écran doit être placé à 60 cm de la lentille.
- b) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{p + p'}{p \cdot p'} \Rightarrow f = \frac{p \cdot p'}{p + p'} = \frac{40 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm}}{40 \text{ cm} + 60 \text{ cm}} = 24 \text{ cm}$
 La distance focale de la lentille vaut 24 cm.

Les lentilles

Exercice 34

- a) L'intensité lumineuse ne serait pas suffisante avec une lentille diaphragmée.
- b) Le mot phare vient de «Pharos», île voisine d'Alexandrie, où fut édifié, au IIIe s. av. J.-C., un phare classé parmi les sept merveilles du monde.
- c) Une lentille d'un seul tenant serait beaucoup plus lourde et plus difficile à construire qu'une lentille de Fresnel.
- d) Rétroprojecteur.

Les lentilles

Exercice 35

- a) La luminosité de l'image diminue quand l'écran est de plus en plus éloigné.
- b) La diapositive doit être placée à l'envers car une lentille convergente donne une image réelle renversée.

Les lentilles

Exercice 36

- a) La distance minimale de vision nette peut varier de moins de 10 cm pour un enfant jusqu'à plus de 1 m pour une personne d'environ 60 ans; le tableau donne des valeurs moyennes :

âge (ans)	10	15	20	30	40	50	60
distance minimale de vision nette (cm)	7	8	10	15	25	40	100

- b) Les verres de presbyte ne sont pas nécessaires pour la vision lointaine.
 Pour les verres à double foyer, une partie de la surface des verres est prévue pour améliorer la vision lointaine et l'autre partie pour améliorer la vision proche. Ces verres sont utiles aux personnes qui ont perdu le pouvoir d'accommodation du cristallin.
- c) Un myope n'a en principe pas besoin de lunettes pour voir de près.
- d) L'œil réglé pour la vision à l'infini peut être assimilé à une lentille convergente de 0,015 m de distance focale. Sa vergence vaut environ 67 dioptries.

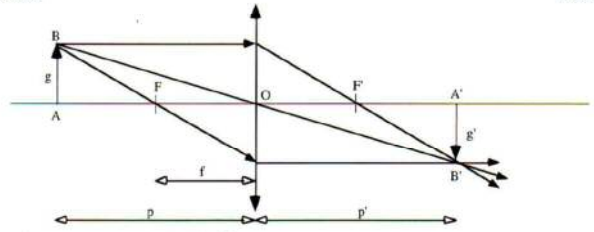
Les lentilles

Exercice 37

- a) Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.
- b) Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.
- c) L'intérêt d'un zoom est de pouvoir modifier la distance focale de l'objectif, ce qui augmente les possibilités d'utilisation.

Les lentilles

Exercice 30



$g = g'$ $p + p' = 80 \text{ cm}$

- a) Il faut utiliser une lentille convergente.
- b) Comme $g = g'$, il s'ensuit que $p = p' = 40 \text{ cm}$. La lentille doit être placée à 40 cm de l'objet.
- c) La distance focale de la lentille vaut dans ce cas la moitié de p ; $f = 20 \text{ cm}$.

Les lentilles

Exercice 31

$p = 120 \text{ m}$ $p' = 0,3 \text{ m}$ $g' = 0,035 \text{ m}$

- a) $\frac{g'}{g} = \frac{p'}{p} \Rightarrow g = \frac{g' \cdot p}{p'} = \frac{0,035 \text{ m} \cdot 120 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 14 \text{ m}$
 La hauteur réelle de l'arbre est 14 m.
- b) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow f = \frac{p \cdot p'}{p + p'} = \frac{120 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{120 \text{ m} + 0,3 \text{ m}} = 0,3 \text{ m}$
 La distance focale de la lentille est 300 mm (téléobjectif). L'objet est très éloigné, l'écran est dans le plan focal.

Les lentilles

Exercice 32

$f = 0,15 \text{ m}$

Par définition de la vergence : $C = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,15 \text{ m}} = 6,67 \text{ dioptries}$

La vergence vaut 6,67 dioptries.

Les lentilles

Exercice 33

$C = 40 \text{ dioptries}$

Par définition de la vergence : $C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{C} = \frac{1}{40 \text{ dioptries}} = 0,025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$

La distance focale vaut 25 mm.