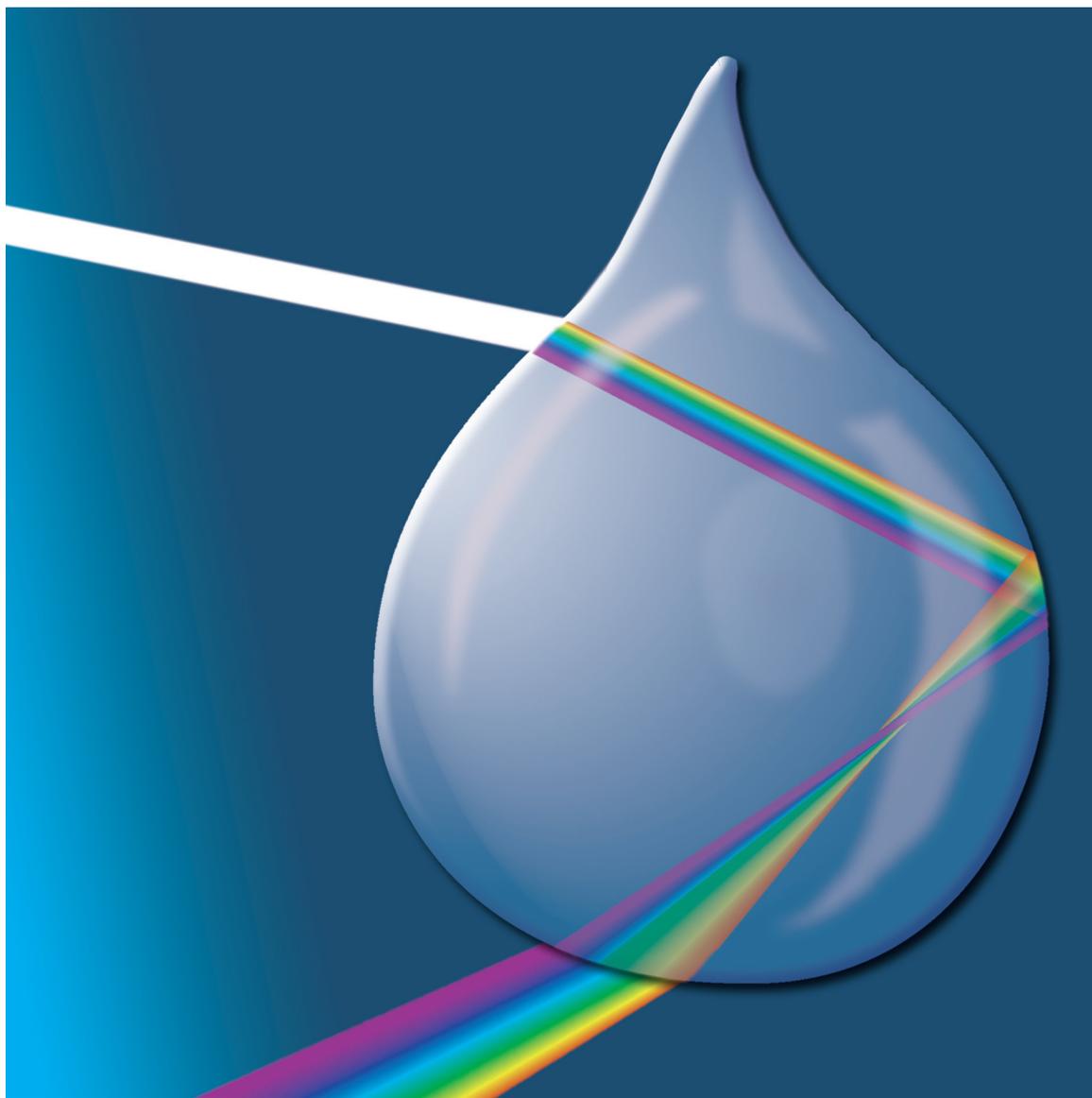


Optique

PHY-5041-2
Guide d'apprentissage



sofad

NOTE

Vous trouverez les éléments suivants à la fin du guide.

- Une page présentant les couleurs primaires
- Une fiche de commentaires

OPTIQUE

PHY-5041-2
GUIDE D'APPRENTISSAGE

Optique est le premier des trois guides d'apprentissage correspondant aux trois cours du programme d'études *Physique 5^e secondaire* qui comprend :

Optique
Cinématique et quantité de mouvement
Force et énergie

Le guide *Optique* est accompagné du cahier *Activités expérimentales d'optique* qui couvre le volet « démarche expérimentale » du programme.

OPTIQUE

Ce guide a été réalisé par la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec.

Chargé de projets	Jean-Simon Labrecque (SOFAD)
Chargée de projets (édition initiale)	Mireille Moisan (SOFAD)
Coordination	Céline Tremblay (FormaScience)
Rédaction	Jacques Allorent (Enseignant) Bernard Tousignant (Autoévaluation) Suzie Asselin (Annexes)
Soutien à la rédaction	Céline Tremblay (FormaScience)
Illustrations	Gail Weil Brenner (GWB)
Révision de contenu	Bernard Tousignant (Consultant en enseignement des sciences) Céline Tremblay (FormaScience)
Révision linguistique	Dominique Chauveau
Mise en pages et infographie	I. D. Graphique inc. (Daniel Rémy)
Lecture d'épreuves	Dominique Chauveau
Première édition	Avril 2001



La forme masculine utilisée dans le présent document désigne aussi bien les femmes que les hommes et a pour but d'alléger le texte.

© Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec

Tous droits de traduction et d'adaptation, en totalité ou en partie, réservés pour tous pays. Toute reproduction, par procédé mécanique ou électronique, y compris la microreproduction, est interdite sans l'autorisation écrite d'un représentant dûment autorisé de la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec.

Dépôt légal - 2001
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-89493-227-8

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

PRÉSENTATION	0.12
CONSIGNES D'UTILISATION	0.12
Les activités d'apprentissage	0.13
Les exercices	0.13
L'épreuve d'autoévaluation	0.13
Les annexes	0.14
Le matériel	0.14
ÉVALUATION	0.14
AUX ÉLÈVES INSCRITS EN FORMATION À DISTANCE	0.15
Le rythme de travail	0.15
Votre tuteur	0.15
Les devoirs	0.15
OPTIQUE	0.17

CHAPITRE 1 – LA PROPAGATION DE LA LUMIÈRE	1.1
1.1 – D'OÙ VIENT LA LUMIÈRE	1.3
Plusieurs sources	1.3
Une forme d'énergie	1.7
L'avènement de la lumière artificielle.....	1.8
1.2– VOIR LES OBJETS	1.10
La vision	1.10
Le champ de vision	1.12
Des interprétations diverses, d'hier à aujourd'hui	1.16
1.3 – TOUJOURS TOUT DROIT	1.19
La propagation rectiligne	1.19
Activité expérimentale 1 - Lumière, ombre et pénombre	1.19
Un peu de vocabulaire	1.20
Les sources ponctuelles	1.21
La grandeur des ombres	1.21
Le sténopé	1.28
Les sources étendues	1.31
L'éclairage de deux sources ponctuelles	1.31
Généralisation aux sources étendues	1.34
Les éclipses	1.40

Table des matières

1.4 – L'ÉCLAIREMENT	1.43
Mots clés du chapitre	1.49
Résumé	1.49
Exercices de synthèse	1.52
CHAPITRE 2 – LES MIROIRS PLANS	2.1
2.1 – LE PHÉNOMÈNE DE LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE	2.3
Les phases de la Lune	2.4
La réflexion diffuse et la réflexion spéculaire	2.6
Les lois de la réflexion	2.7
2.2 – LE MIROIR PLAN	2.10
Image formée par un miroir plan	2.10
La vision	2.15
Le champ de vision d'un observateur placé en avant d'un miroir plan	2.22
Activité expérimentale 2 - Champ de vision d'un observateur placé en avant d'un miroir plan	2.23
2.3 – LES MIROIRS PLANS DANS LA SOCIÉTÉ	2.29
Fabrication de miroirs	2.29
Utilisation des miroirs	2.30
Les miroirs plans dans la technologie	2.35
Mots clés du chapitre	2.41
Résumé	2.41
Exercices de synthèse	2.42
CHAPITRE 3 – LES MIROIRS COURBES	3.1
3.1 – RAYONS RÉFLÉCHIS : RENDEZ-VOUS AU FOYER	3.4
3.2 – APPLICATIONS DES MIROIRS SPHÉRIQUES	3.9
Application des miroirs concaves	3.9
Application des miroirs convexes	3.14
Activité expérimentale 3 - Images formées par un miroir courbe	3.16
3.3 – LES IMAGES FORMÉES PAR DES MIROIRS SPHÉRIQUES	3.17
Les rayons principaux pour un miroir concave	3.20
La construction des images formées par un miroir concave	3.22
Objet placé entre $-\infty$ et le centre de courbure	3.23
Objet placé au centre de courbure	3.25
Objet placé entre le centre de courbure et le foyer principal	3.26
Objet placé au foyer principal	3.28
Objet placé entre le foyer principal et le sommet	3.29

Les images formées par un miroir convexe	3.34
Les rayons principaux pour un miroir convexe	3.34
La construction des images formées par un miroir convexe	3.36
3.4 – ÉQUATIONS DES MIROIRS SPHÉRIQUES	3.39
3.5 – LES MIROIRS COURBES DANS LA TECHNOLOGIE	3.53
Le four solaire	3.53
Les antennes paraboliques	3.54
Le télescope	3.55
Mots clés du chapitre	3.58
Résumé	3.58
Exercices de synthèse	3.61
CHAPITRE 4 – LA RÉFRACTION	4.1
4.1 – RÉALITÉ OU ILLUSION D’OPTIQUE	4.4
4.2 – LES LOIS DE LA RÉFRACTION	4.8
Lois de Snell-Descartes	4.8
Indice absolu de réfraction	4.11
Vitesse de la lumière	4.16
Activité expérimentale 4 - Loi de la réfraction	4.19
Généralisation de la loi de Snell-Descartes	4.20
Indice relatif de réfraction	4.22
4.3 – LA RÉFLEXION TOTALE INTERNE	4.24
Calcul de l’angle critique	4.28
4.4 – APPLICATIONS DE LA RÉFLEXION TOTALE INTERNE	4.30
Lame à faces parallèles	4.30
Prisme	4.31
Prisme à réflexion totale interne	4.32
Mirage	4.33
Fontaine lumineuse	4.35
Fibre optique	4.35
Mots clés du chapitre	4.38
Résumé	4.38
Exercices de synthèse	4.40
CHAPITRE 5 – LES LENTILLES	5.1
5.1 – COMMENT SE PROPAGE LA LUMIÈRE À TRAVERS UNE LENTILLE ?	5.3
Qu’est ce qu’une lentille ?	5.3
Parcours d’un rayon lumineux à travers une lentille	5.6

Table des matières

5.2 – IMAGE FORMÉE PAR UNE LENTILLE CONVEXE OU CONVERGENTE	5.10
Rayons principaux	5.10
Construction d'images formées par une lentille convergente	5.11
La loupe	5.20
Le projecteur	5.20
Le projecteur de films ou de diapositives	5.22
L'appareil photographique	5.23
5.3 – IMAGE FORMÉE PAR UNE LENTILLE CONCAVE OU DIVERGENTE	5.24
Rayons principaux	5.24
Construction d'images formées par une lentille divergente	5.26
5.4 – ÉQUATIONS DES LENTILLES	5.29
5.5 – POUR UNE VISION AMÉLIORÉE	5.36
L'œil et ses anomalies	5.36
La myopie	5.37
L'hypermétropie	5.38
La presbytie	5.38
L'astigmatisme	5.39
La vergence	5.41
Vergence d'une lentille	5.41
Vergence d'un système de lentilles	5.43
Activité expérimentale 5 - Images formées par une lentille et vergence	5.45
Évolution de l'utilisation des lentilles	5.46
Fabrication des lentilles	5.47
5.6 – INSTRUMENTS D'OBSERVATION	5.52
La lunette astronomique	5.52
La lunette terrestre	5.53
Le microscope	5.54
Implication de la découverte des lentilles	5.57
Mots clés du chapitre	5.59
Résumé	5.59
Exercices de synthèse	5.63
CHAPITRE 6 – LUMIÈRE : ONDE OU PARTICULE?	6.1
6.1 – DISPERSION DE LA LUMIÈRE	6.3
Observation de la dispersion de la lumière par un prisme	6.3
Aberration chromatique	6.12
Arc-en-ciel	6.13

6.2 – COULEUR ET VISION	6.15
Perception des couleurs	6.15
Couleurs de la lumière	6.16
Activité expérimentale 6 - Passage de la lumière dans des filtres de couleur ...	6.19
Couleur des objets	6.21
Téléviseur	6.24
6.3 – MODÈLE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE	6.25
Fréquence et longueur d'onde	6.26
Ondes électromagnétiques	6.30
6.4 – DUALITÉ ONDE-PARTICULE DE LA LUMIÈRE	6.33
Théorie des quanta ou théorie quantique	6.34
Principe du rayonnement laser	6.35
Fonctionnement d'un laser	6.35
Applications du laser	6.37
6.5 – ONDES ET SOCIÉTÉ	6.39
Mots clés du chapitre	6.42
Résumé	6.42
Exercices de synthèse	6.45

CONCLUSION

ÉPREUVE D'AUTOÉVALUATION	C.5
CORRIGÉ DES EXERCICES	C.20
CHAPITRE 1 – La propagation de la lumière	C.21
CHAPITRE 2 – Les miroirs plans	C.36
CHAPITRE 3 – Les miroirs courbes	C.55
CHAPITRE 4 – La réfraction	C.76
CHAPITRE 5 – Les lentilles	C.94
CHAPITRE 6 – Lumière : onde ou particule?	C.116
Épreuve d'autoévaluation	C.127
ANNEXE A – LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI)	C.137
Quantités physiques et unités de mesure	C.137
Multiples et sous-multiples des unités du SI	C.137
ANNEXE B – NOTIONS DE MATHÉMATIQUES	C.138
Les rapports et proportions	C.138
Les formules	C.140
L'addition et la soustraction de fractions	C.140
La notation scientifique	C.142
La loi des exposants	C.143

Table des matières

ANNEXE C – NOTIONS DE GÉOMÉTRIE	C.144
La mesure et la construction d'un angle	C.144
Mesure d'un angle à l'aide du rapporteur	C.144
La construction d'une perpendiculaire	C.145
Diverses caractéristiques des angles	C.146
La somme des angles d'un triangle	C.147
ANNEXE D – SIMILITUDE DE FIGURES GÉOMÉTRIQUES	C.149
Le rapport de similitude et les figures semblables	C.149
Les propriétés de similitude des triangles	C.152
ANNEXE E – LES RAPPORTS TRIGONOMÉTRIQUES	C.154
Définition des rapports trigonométriques	C.154
Évaluation des rapports trigonométriques à l'aide de la calculatrice	C.154
Calcul de l'angle à partir de la valeur d'un rapport trigonométrique	C.155
Exemples de calculs à l'aide des rapports trigonométriques	C.156
ANNEXE F – FORMULAIRE	C.159
ANNEXE G – LISTE DES FIGURES	C.160
BIBLIOGRAPHIE	C.164
VOCABULAIRE	C.165
INDEX	C.174

INTRODUCTION GÉNÉRALE

PRÉSENTATION

La Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec (SOFAD) vous souhaite la bienvenue au cours *Optique*. Ce cours fait partie du programme *Physique 5^e secondaire* qui comprend les trois cours suivants :

PHY-5041-2 *Optique*

PHY-5042-2 *Cinématique et quantité de mouvement*

PHY-5043-2 *Force et énergie*

Le programme d'études de physique comporte trois volets : le contenu notionnel, la démarche expérimentale et la perspective histoire-technologie-société. On aborde le volet de la démarche expérimentale dans deux cahiers portant spécifiquement sur les activités expérimentales. Le contenu notionnel et la perspective histoire-technologie-société sont examinés dans trois guides d'apprentissage correspondant aux trois cours du programme qui doivent être suivis obligatoirement dans l'ordre.

Le guide d'apprentissage *Optique* est le premier d'une série de trois. Il se divise en six chapitres correspondant aux six objectifs terminaux du programme¹. On doit utiliser ce guide avec le cahier *Activités expérimentales d'optique*. Les références à ce cahier sont données dans le guide au moment opportun.

Le cours *Optique* a pour objectif général d'améliorer la compréhension de l'optique, ainsi que des aspects techniques et des changements sociaux associés à son développement.

CONSIGNES D'UTILISATION

Le présent guide d'apprentissage constitue votre principal instrument de travail pour le cours *Optique*. Il a été conçu de manière à tenir compte le plus possible des conditions et des particularités des élèves adultes travaillant en apprentissage individualisé ou en formation à distance.

Chacun des chapitres présente des situations d'apprentissage diverses (textes, tableaux, illustrations, exercices, etc.) permettant de maîtriser les différents objectifs. De plus, à la fin de chacun des chapitres, on trouve une liste des mots clés du chapitre, un résumé ainsi que des exercices de synthèse.

La conclusion du guide vous propose une synthèse de l'ensemble des cours du programme suivi d'une épreuve d'autoévaluation. Elle regroupe aussi le corrigé de cette épreuve, celui des exercices de chacun des chapitres ainsi que celui des exercices de synthèse. Elle présente également des annexes, une bibliographie que

1. Vous trouverez, au début de chacun des chapitres, l'énoncé de l'objectif terminal ainsi que des objectifs intermédiaires qui y correspondent.

vous pourrez consulter afin d'approfondir vos apprentissages, un vocabulaire comprenant la définition des mots clés et un index.

LES ACTIVITÉS D'APPRENTISSAGE

Le présent guide comprend une partie théorique ainsi que des activités pratiques sous forme d'exercices accompagnés d'un corrigé.

Pour mener à bien l'étude de chacun des chapitres, commencez par faire un survol rapide de l'ensemble des sections afin d'en examiner le contenu et les principales parties. Puis, lisez attentivement la théorie :

- surlignez les points importants ;
- prenez des notes dans les marges ;
- cherchez les mots nouveaux dans un dictionnaire ;
- résumez les passages importants dans votre cahier de notes ;
- faites attention aux figures ;
- notez vos questions, si vous ne comprenez pas une idée.

LES EXERCICES

Les exercices sont accompagnés d'un corrigé qu'on trouve à la fin du guide, sur des feuilles de couleur.

- Faites tous les exercices proposés.
- Lisez attentivement les directives et les questions avant d'inscrire votre réponse.
- Faites tous les exercices de votre mieux, sans consulter le corrigé. Relisez les questions et vos réponses et modifiez ces dernières, s'il y a lieu. Ensuite, reprenez vos réponses en les comparant avec celles du corrigé et essayez de comprendre vos erreurs, le cas échéant.
- Afin de mieux vous préparer à l'évaluation finale, complétez l'étude de votre chapitre avant d'entreprendre les exercices de synthèse, puis faites ces exercices sans consulter votre texte de cours.

L'ÉPREUVE D'AUTOÉVALUATION

L'épreuve d'autoévaluation est une étape de préparation à l'évaluation finale. Avant de vous y attaquer, vous devrez compléter votre étude : relisez votre cahier de notes et les définitions des mots clés des chapitres, mettez-les en relation avec les objectifs du cours cités au début de chacun des chapitres. Assurez-vous de bien comprendre

le sens de ces objectifs. Faites ensuite l'épreuve d'autoévaluation sans consulter le texte du guide ni le corrigé. Puis, comparez vos réponses avec celles du corrigé et complétez votre étude au besoin.

LES ANNEXES

Les annexes regroupent des renseignements utiles à votre cheminement ainsi que quelques rappels de notions préalables. Vous trouverez la liste complète à la table des matières.

LE MATÉRIEL

Ayez sous la main tout le matériel dont vous aurez besoin.

- Matériel didactique : votre guide accompagné d'un cahier de notes où vous consignerez en résumé les notions importantes à retenir en relation avec la liste des objectifs donnée au début de chacun des chapitres. Dans certaines situations, vous devrez aussi utiliser le cahier *Activités expérimentales d'optique*.
- Matériel de référence : un dictionnaire.
- Matériel divers : une calculatrice, un crayon à la mine pour inscrire vos réponses et vos notes dans votre guide, un stylo-bille de couleur pour corriger vos réponses, un surligneur (ou un crayon-feutre de couleur pâle) pour souligner les idées importantes, une règle, une gomme à effacer, etc.

ÉVALUATION

Si vous désirez obtenir des unités rattachées à un diplôme d'études secondaires, vous devez obtenir une note d'au moins 60 % à une évaluation finale qui a lieu dans un centre d'éducation des adultes.

L'évaluation pour le cours *Optique* se divise en deux parties.

La première partie est une épreuve écrite d'une durée maximale de 120 minutes. On y trouve des items à réponse choisie, à réponse courte ou à développement. Elle compte pour 85 % de la note finale et porte sur l'étude des objectifs de ce guide. L'utilisation de la calculatrice est permise. Un formulaire est fourni.

La seconde partie est réservée spécifiquement à l'évaluation de la démarche expérimentale. Il s'agit d'une épreuve à la fois pratique et écrite, qui nécessite l'accès au laboratoire. Elle est d'une durée maximale de 90 minutes. Cette épreuve compte pour 15 % de la note finale et porte sur les objectifs étudiés dans le cahier *Activités expérimentales d'optique*.

AUX ÉLÈVES INSCRITS EN FORMATION À DISTANCE

LE RYTHME DE TRAVAIL

Voici quelques suggestions qui vous aideront à organiser votre temps d'étude.

- Établissez un horaire d'étude en tenant compte de vos dispositions et de vos besoins, ainsi que de vos obligations familiales, professionnelles et autres.
- Essayez de consacrer quelques heures par semaine à l'étude, de préférence en blocs de une ou deux heures à la fois.
- Respectez autant que possible l'horaire que vous avez choisi.

VOTRE TUTEUR

Votre tuteur est la personne qui vous soutient dans votre démarche : il demeure à votre disposition pour répondre à vos questions, corriger et annoter vos devoirs.

En fait, c'est la personne-ressource à qui vous faites appel en cas de besoin. Si ses heures de disponibilité et ses coordonnées ne vous ont pas été transmises avec ce guide, elles le seront bientôt. N'hésitez pas à la consulter si vous éprouvez des difficultés avec la théorie ou les exercices, ou si vous avez besoin d'encouragement pour poursuivre votre étude. Notez vos questions par écrit et communiquez avec elle pendant ses heures de disponibilité et, au besoin, écrivez-lui.

Votre tuteur vous guide tout au long de votre apprentissage et vous fournit les conseils, les critiques et les commentaires susceptibles d'assurer le succès de votre projet de formation.

LES DEVOIRS

Le présent cours comporte trois devoirs. Le premier devoir se trouve à la fin du chapitre 2, le deuxième, à la fin du chapitre 4 et le dernier, à la fin du chapitre 6. Chacun des devoirs contient aussi des questions relatives à la démarche expérimentale étudiée dans le cahier *Activités expérimentales d'optique*.

Les devoirs indiquent à votre tuteur que vous comprenez bien la matière et que vous êtes en mesure de poursuivre votre apprentissage. Si tel n'est pas le cas, il le précisera sur votre devoir en consignand des commentaires et des suggestions pour vous aider à vous remettre sur la bonne voie. Il importe donc que vous preniez connaissance des corrections et des annotations apportées à vos devoirs.

Introduction générale

Les devoirs ressemblent à l'épreuve finale qui se déroule sous la surveillance d'un responsable et sans notes de cours. C'est donc à votre avantage de faire les devoirs sans consulter votre guide d'apprentissage et de profiter des corrections de votre tuteur pour ajuster votre tir. C'est une excellente façon de se préparer à l'épreuve d'évaluation finale.

Attendez toujours d'avoir reçu la correction d'un devoir avant d'envoyer le devoir suivant.

OPTIQUE

Une main sur un interrupteur, et toute une pièce s'en trouve éclairée. Une loupe et un rayon de soleil permettent d'allumer un feu de brindilles ou de faire brûler une feuille de papier. À quand remonte la dernière fois où vous vous êtes regardé dans un miroir ? Sûrement pas à plusieurs jours... Portez-vous des lunettes ou des verres de contact ? Avez-vous observé dernièrement un arc-en-ciel ou les couleurs d'une bulle de savon ? Dans un autre domaine, avez-vous déjà utilisé un pied-de-biche pour arracher un clou ? Pourquoi un ballon flotte-t-il sur l'eau de la piscine alors qu'une pièce de monnaie s'y enfonce ? Pourquoi la pomme tombe-t-elle de l'arbre ? Voilà une série de circonstances qui se rapportent toutes à la physique.

La physique est la science qui étudie les propriétés générales de la matière et établit des lois qui expriment et qui expliquent des phénomènes naturels. Il existe une très grande diversité de domaines reliés à la physique, ce qui a amené à scinder, à délimiter des champs d'études. En voici quelques-uns.

Dans les cours de sciences physiques de 4^e secondaire, la physique dite « électrique » vous a permis d'expliquer et d'interpréter les comportements électriques de la matière. La tension, le courant, la pile et la conductibilité sont à présent des mots qui vous sont familiers. Vous commencez maintenant la série des trois cours du programme d'études *Physique, 5^e secondaire* qui vous permettra de connaître trois autres domaines de la physique à l'aide de trois guides distincts et de deux cahiers pour vous aider à faire des expériences en laboratoire.

Dans ce premier guide, vous aborderez la physique optique : c'est l'étude du comportement et des propriétés de la lumière vous amenant à la compréhension des phénomènes qui ont permis la réalisation d'une foule d'appareils permettant l'observation de notre univers, du plus petit, à l'aide du microscope, au plus grand, en utilisant le télescope.

Par la suite, vous aborderez la physique dite « mécanique ». La physique mécanique sera étudiée sous deux aspects. Le premier porte sur la compréhension du mouvement des corps, abstraction faite des « forces » responsables de ces mouvements. C'est la cinématique (qui provient du mot grec *kinêmaticos*, mobilité), l'étude du « comment » des choses. Elle fait l'objet du guide *Cinématique et quantité de mouvement*. Quant au second aspect, la dynamique (*dunamikos*, puissance), il porte sur les relations entre les forces exercées sur un mobile et les changements de mouvement qui peuvent l'affecter. C'est le « pourquoi » des mouvements et de leurs variations qui sera étudié dans le guide *Force et énergie*. Mais d'abord, place au premier guide de cette série, l'*Optique*.

Dans le premier chapitre du présent guide, nous nous demanderons d'abord d'où vient la lumière et comment on peut situer les objets qu'on voit. Par la suite, nous observerons que la lumière se propage en ligne droite avec ses conséquences : l'ombre, la pénombre et les éclipses.

Les chapitres 2 et 3 nous permettront d'explorer le comportement de la lumière quand elle touche les objets qu'elle rencontre, et de quelle façon les images sont formées par les miroirs plans et les miroirs sphériques. Nous verrons aussi comment sont utilisés ces miroirs dans les appareils comme l'appareil photographique, le sextant, le périscope, le four solaire, l'antenne parabolique, le télescope, etc.

Si la lumière est réfléchiée par un miroir, on dit qu'elle est réfractée lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre; c'est le sujet du chapitre 4 qui nous permettra d'examiner de façon plus précise différents instruments d'optique (les lunettes d'approche, les fibres optiques, etc.) et de décrire le phénomène des mirages et des fontaines lumineuses.

Le parcours des rayons lumineux quand ils traversent une lentille et les images qui en résultent font l'objet de l'étude du chapitre 5. Cette étude nous conduira à la compréhension de maintes applications technologiques dont celle de la correction des troubles de la vue à l'aide de lunettes.

Enfin, dans le dernier chapitre sur le comportement de la lumière, nous étudierons comment se forme un arc-en-ciel, comment la lumière blanche du Soleil peut se décomposer en diverses couleurs. Nous en profiterons pour définir ce qu'est la couleur et comment notre œil la perçoit. Nous étudierons, ensuite, les modèles proposés par les scientifiques pour expliquer le comportement de la lumière : la lumière est-elle faite de petites particules ou est-elle une onde ? La réponse à cette question nous amènera à expliquer le fonctionnement du laser et à en décrire quelques applications.

Au début de chaque chapitre, une table des matières schématique est présentée pour mieux situer chaque partie du chapitre par rapport à son ensemble. Le contenu du chapitre qui s'amorce est mis en évidence par des caractères gras, tandis que le contenu des chapitres déjà complétés est en italique. À titre d'exemple, le schéma de la première page du chapitre 2 est reproduit à la page suivante. La case du chapitre 2 est en caractères gras et le contenu du chapitre 1 est en italique. Consultez régulièrement cette table des matières pour savoir où vous en êtes. Vous découvrirez qu'elle est un outil très efficace. Bon travail!

Table des matières schématique apparaissant au début du chapitre 2



1. La propagation de la lumière
D'où vient la lumière?
Vision et champ de vision
Propagation rectiligne
Éclairement

2. Les miroirs plans
Réflexion diffuse
Réflexion spéculaire
Lois de la réflexion
Formation des images
Champ de vision
Applications

3. Les miroirs courbes
 Rayons réfléchis par les miroirs sphériques
 Applications des miroirs sphériques
 Formation des images
 Équations des miroirs sphériques
 Miroirs courbes et technologie

4. La réfraction
 Illusions d'optique
 Lois de la réfraction
 Réflexion totale interne
 Applications

5. Les lentilles
 Propagation de la lumière
 Formation des images
 Équations des lentilles
 La vision et ses anomalies
 Lentilles et technologie

6. Lumière, onde ou particule?
 Dispersion de la lumière
 Couleur et vision
 Modèle ondulatoire
 Dualité onde-particule
 Ondes et société

CHAPITRE 1

LA PROPAGATION DE LA LUMIÈRE

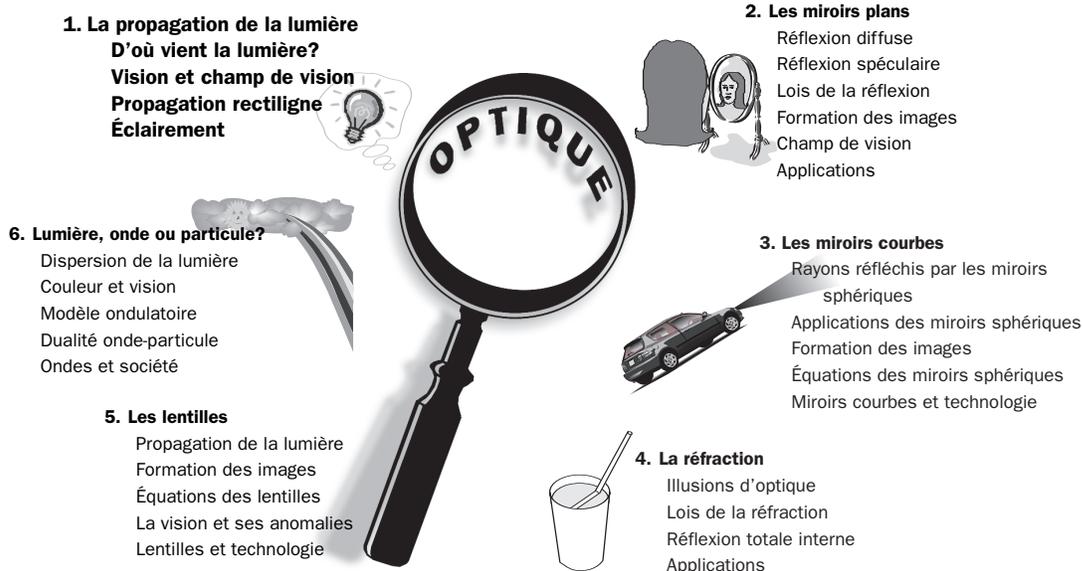


Objectif terminal 1

Analyser le mode de propagation de la lumière.

Objectifs intermédiaires

- 1.1 Décrire des sources de lumière naturelle et artificielle.
- 1.2 Associer la production de lumière à la conversion d'autres formes d'énergie.
- 1.3 Illustrer, à l'aide d'exemples, des changements sociaux résultant de l'utilisation de la lumière artificielle.
- 1.4 Expliquer, à l'aide du parcours des rayons lumineux, comment l'œil perçoit un objet.
- 1.5 Illustrer, à l'aide d'exemples, l'évolution à travers les âges de l'interprétation du phénomène de la vision.
- 1.6 Observer les phénomènes d'ombre et de pénombre en relation avec l'étendue de la source de lumière et les distances entre la source, l'obstacle et l'écran.
- 1.7 Illustrer, à l'aide de schémas, les phénomènes d'ombre et de pénombre.
- 1.8 Expliquer le phénomène des éclipses solaire et lunaire.
- 1.9 Établir, à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière, la relation qui existe entre l'intensité de la lumière, la distance de la source et l'aire éclairée.
- 1.10 Résoudre des problèmes portant sur la propagation de la lumière.



Ce matin, à la radio, on a annoncé qu'une éclipse de Soleil aura lieu à 11 h 31 min. Elle sera totale en Égypte et plusieurs scientifiques sont déjà sur les lieux pour enrichir leurs connaissances. Que se passe-t-il lors d'une éclipse solaire ? Pourquoi y a-t-il des régions où on voit le Soleil disparaître complètement, d'autres où seulement une partie du Soleil est cachée et, enfin, des régions où on voit le Soleil éclairer la Terre de tout son éclat ? Pour répondre à ces questions, nous allons devoir explorer les origines de la lumière et quelques-unes de ses caractéristiques.

Dans ce chapitre, nous examinerons d'abord d'où vient la lumière et discuterons brièvement des changements que l'avènement de la lumière artificielle a entraînés dans la société. Nous expliquerons ensuite comment on peut voir les objets. Puis, nous démontrerons, à partir d'observations, que la lumière se propage en ligne droite. Nous verrons les conséquences de ce mode de propagation : l'ombre, la pénombre, les éclipses. Nous terminerons en étudiant comment varie la quantité de lumière sur une surface selon la distance qui la sépare de la source qui l'éclaire.

1.1 – D'OÙ VIENT LA LUMIÈRE

La lumière est produite par des corps ou des objets qu'on appelle **sources lumineuses**¹. Le Soleil est la plus importante source lumineuse pour la Terre. Le jour, la lumière que nous recevons du Soleil est si intense qu'on ne voit pas les autres sources lumineuses. Mais, dès qu'il fait nuit, le ciel se pare d'une multitude de points lumineux, les étoiles, et les rues, les maisons, les magasins s'éclairent. Il existe donc une grande variété de sources lumineuses.



Exercice 1.1

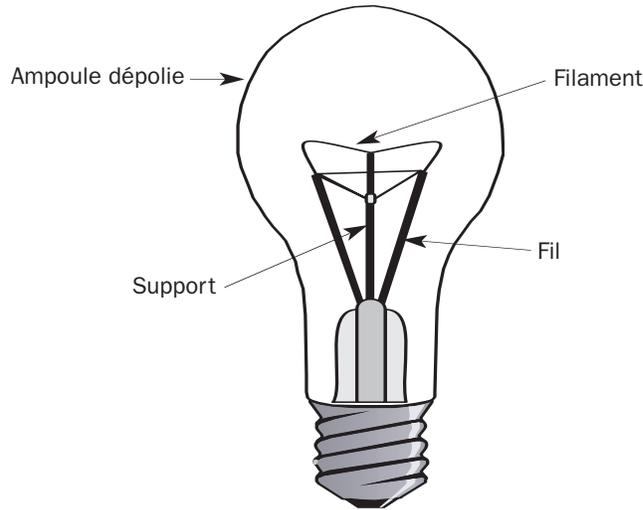
Nommez toutes les sources de lumière auxquelles vous pouvez penser.

PLUSIEURS SOURCES

Étoiles, tube fluorescent ou feu de foyer, les sources de lumière sont très variées. Certaines sont naturelles, comme le Soleil ; d'autres sont artificielles, c'est-à-dire qu'elles sont un produit de la technologie, comme les ampoules électriques. Notre principale source de lumière est le Soleil. On peut se demander comment il produit cette lumière. Le Soleil est en réalité un réacteur nucléaire géant qui dégage une immense quantité de chaleur, accompagnée d'une émission de lumière éclatante. On appelle **source incandescente** une source qui émet à la fois de la lumière et de la chaleur. Le Soleil, un feu de foyer, une chandelle et une ampoule électrique sont des sources incandescentes (figure 1.1).

1. Les mots en caractères gras dans le texte sont définis dans le vocabulaire à la fin du guide.

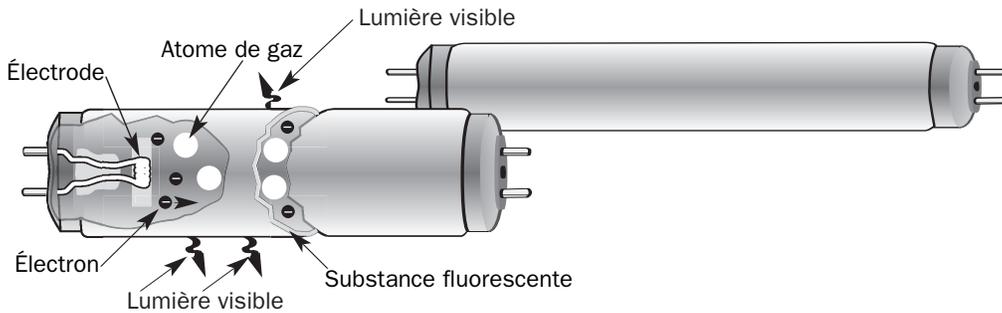
Figure 1.1 - Ampoule à incandescence



À l'intérieur de l'ampoule, le filament s'échauffe lorsqu'il est traversé par un courant électrique. Sous l'effet de la chaleur, il devient lumineux. L'ampoule est une source incandescente, car elle émet à la fois de la lumière et de la chaleur.

On risque de se brûler en touchant une ampoule électrique allumée depuis quelque temps, car, comme toute source incandescente, l'ampoule dégage une forte chaleur. Mais en est-il de même pour un tube fluorescent ? En touchant un tube fluorescent allumé, on constate qu'il dégage peu de chaleur. Si vous en avez l'occasion, faites-en l'expérience. Vous verrez que le tube demeure tiède, même après être resté allumé plusieurs heures.

Figure 1.2 - Tube fluorescent



Le tube fluorescent est un tube en verre scellé dont l'intérieur est recouvert d'une couche de substance fluorescente. Le tube contient un gaz à faible pression et il porte une électrode à chacune de ses extrémités. Lorsque le tube est alimenté, il se produit une décharge électrique entre les électrodes ; les atomes de gaz absorbent l'énergie de la décharge et la restituent sous forme d'un rayonnement invisible qui frappe la couche fluorescente. Celle-ci absorbe le rayonnement et réémet aussitôt l'énergie sous forme de lumière visible.

Une **source fluorescente** est une source qui émet de la lumière lorsqu'elle est frappée par un rayonnement. Dans un tube fluorescent, le gaz excité par la décharge électrique émet un rayonnement qui frappe la couche fluorescente ; sous l'effet des rayons, la substance fluorescente produit de la lumière (figure 1.2). Ainsi, un tube fluorescent éclaire lorsqu'il est alimenté par un courant électrique. Lorsqu'on coupe l'alimentation, la décharge électrique cesse instantanément et le tube n'éclaire plus.

Par ailleurs, il existe des sources lumineuses qui éclairent sans être alimentées. Par exemple, on trouve encore sur le marché des réveils qui fonctionnent sans pile et qu'il faut remonter régulièrement. La nuit, leur cadran est lumineux. Comment est-ce possible ? Le jour, lorsqu'il est éclairé, le cadran absorbe et emmagasine de la lumière qu'il restitue en émettant un rayonnement de couleur verdâtre. On dit que le cadran est une **source phosphorescente**. Les sources phosphorescentes ne dégagent pas de chaleur et n'ont pas besoin d'être alimentées par un courant électrique.

On regroupe les sources fluorescentes et les sources phosphorescentes sous le terme de **sources lumineuses** parce qu'elles émettent toutes deux de la lumière sous l'effet d'un rayonnement. Dans le cas du tube fluorescent, un rayonnement invisible provoque instantanément la lumière alors qu'une source phosphorescente absorbe la lumière du jour et émet une lumière verdâtre visible à la noirceur.



Exercice 1.2

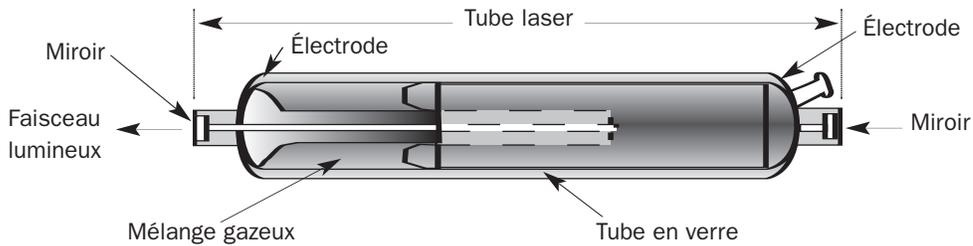
a) Qu'est-ce qui distingue une source incandescente d'une source lumineuse ?

b) Qu'est-ce qui distingue une source fluorescente d'une source phosphorescente ?

Le **laser** est un autre type de source de lumière artificielle. Contrairement au tube fluorescent qui émet une lumière désordonnée dans toutes les directions, le laser produit une lumière concentrée, ordonnée et orientée dans une direction précise. Par

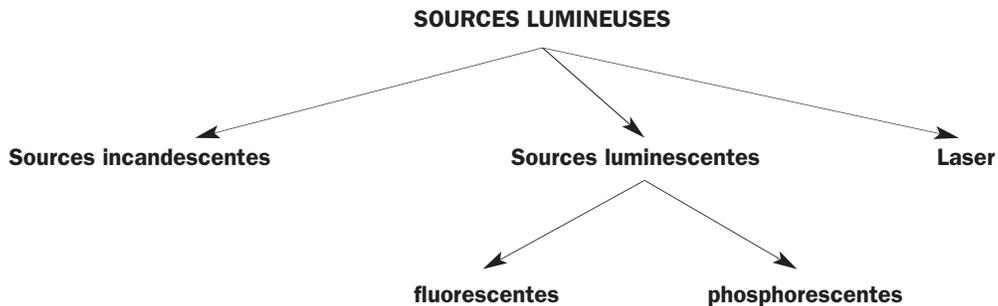
conséquent, toute l'énergie d'un rayon laser se concentre dans une zone très étroite. On exploite cette propriété dans l'industrie aussi bien que dans le monde médical. En chirurgie, par exemple, on utilise parfois le laser pour remplacer le bistouri. En métallurgie, le **faisceau** énergétique très étroit d'un laser peut percer des pièces de métal ou les découper avec précision, sans qu'on ait jamais besoin d'aiguiser l'outil !

Figure 1.3 - Laser



Le laser produit un faisceau de grande intensité concentrant ainsi l'énergie dans une zone très précise. Le mot « laser » est l'abréviation anglaise de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations.

En résumé, on classe les sources lumineuses en trois grandes catégories : les sources incandescentes qui émettent à la fois de la lumière et de la chaleur, les sources luminescentes qui émettent de la lumière sous l'action d'un rayonnement et les lasers qui forment une classe à part, leur lumière étant monochromatique, très ordonnée et concentrée dans une zone très étroite. Nous avons :



Il existe d'autres corps qui nous éclairent et qui ne sont ni incandescents, ni luminescents, ni des lasers. Peut-être avez-vous nommé la Lune à l'exercice 1.1. Elle ne se situe dans aucune des catégories que l'on a définies, car elle ne produit pas de lumière. C'est un astre froid et la lumière qu'elle nous envoie provient du Soleil. Elle se comporte un peu comme un miroir, renvoyant vers la Terre une partie de la lumière qu'elle reçoit du Soleil.

? Exercice 1.3

Pourquoi la Lune ne peut-elle être considérée comme une source incandescente ou luminescente ?

? Exercice 1.4

Indiquez à quel type de sources (incandescente, fluorescente ou phosphorescente) appartiennent :

Type de source

- a) le Soleil _____
- b) le néon _____
- c) le collant phosphorescent _____
- d) la braise _____
- e) le lampadaire dans la rue _____
- f) la Lune _____

UNE FORME D'ÉNERGIE

Toutes les sources de lumière que nous avons analysées ont un point commun : elles utilisent de l'énergie pour produire de la lumière. Lorsqu'une ampoule électrique nous éclaire, c'est que le filament à l'intérieur, traversé par un courant électrique, est chauffé à blanc : l'énergie électrique est transformée en chaleur et en lumière. De même, le Soleil transforme de l'énergie nucléaire en lumière.

Ces exemples illustrent bien que la lumière est une forme d'énergie tout comme la chaleur, l'électricité ou l'énergie nucléaire. Les sources de lumière sont par conséquent des convertisseurs d'énergie dont le rôle consiste à transformer en énergie lumineuse une autre forme d'énergie. La plupart des sources de lumière artificielle produisent leur lumière à partir d'électricité.

Les cours de sciences physiques de 4^e secondaire ont fait ressortir l'importance, pour notre société, de transformer l'énergie. Compte tenu de la part de plus en plus grande que prend l'énergie électrique dans notre quotidien, on transforme l'énergie tirée des ressources naturelles (énergie potentielle d'une chute d'eau, énergie nucléaire de

l'uranium, etc.) en électricité. Cette dernière, étant facile à distribuer dans tout le pays, est transformée sur son lieu d'utilisation en chaleur pour le chauffage, en énergie lumineuse pour l'éclairage, en énergie mécanique pour les moteurs et en d'autres formes d'énergie, selon les besoins.

Ainsi, les sources de lumière sont des convertisseurs d'énergie au même titre que les centrales électriques, les moteurs et la plupart des appareils électriques. Une ampoule électrique transforme de l'énergie électrique en énergie lumineuse et en chaleur. En comparaison, un tube fluorescent convertit presque toute l'électricité qu'il consomme en lumière. Par ailleurs, l'énergie lumineuse peut aussi être transformée. Les lasers, par exemple, sont utilisés pour souder des matériaux dissemblables à des températures de 18 000 °C. L'énergie lumineuse du rayon laser est transformée en chaleur au contact des matériaux. Ces derniers fondent, puis se solidifient ensemble en refroidissant.



Exercice 1.5

Pour quelle raison utilise-t-on généralement des tubes fluorescents plutôt que des ampoules à incandescence pour éclairer les magasins ?

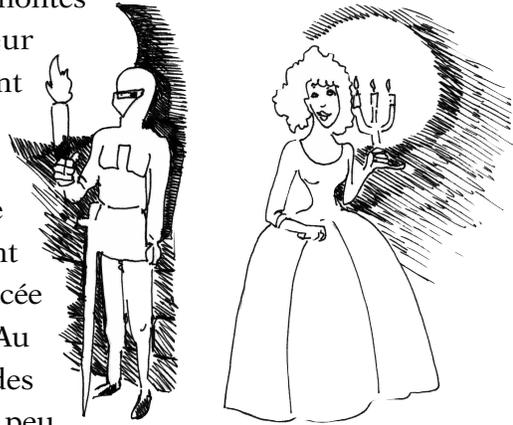
L'AVÈNEMENT DE LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE

Nous sommes tellement habitués à la lumière artificielle que nous oublions parfois son importance et ce qu'elle nous a permis d'obtenir. Une brève remontée dans le temps permettra de mieux nous en rendre compte.

Dans la préhistoire, la domestication du feu a permis à nos ancêtres de s'éclairer et de se réchauffer la nuit tout en tenant éloignées les bêtes sauvages. À la lumière du feu, ils ont décoré l'intérieur des grottes en dessinant, sur les parois, des animaux et des scènes de leur vie quotidienne.



Dans la Haute Antiquité, des brasiers étaient montés sur des trépieds pour fournir un meilleur éclairage. Les premières lampes à huile ont ensuite fait leur apparition chez les Phéniciens, puis chez les Romains. Au IV^e siècle, on utilisait des chandelles faites de graisses animales. Au fil du temps, elles se sont perfectionnées : la graisse animale a été remplacée par l'huile végétale, puis par l'huile minérale. Au Moyen Âge, on s'éclairait avec des torches, des flambeaux et des chandelles. La situation a peu évolué entre le XV^e siècle et le début du XIX^e siècle.



En 1810, le gaz d'éclairage, tiré de la distillation de la houille, éclaire les rues de Londres, en Angleterre. Vers 1870, à Montréal, le gazomètre de la rue Ottawa produit le gaz manufacturé par combustion du charbon et la *Montreal Gas Light Company* assure l'éclairage des rues de la ville. Puis c'est l'avènement de l'électricité, utilisée initialement presque uniquement pour l'éclairage. En 1813, Davy invente la lampe à arc et, en 1879, Edison fabrique la première lampe à incandescence. Les ampoules incandescentes, puis les tubes fluorescents, sont devenus aujourd'hui les sources de lumière artificielle les plus couramment utilisées. En 1879, la rue De Bleury à Montréal est la première rue canadienne à être éclairée à l'électricité. La première centrale hydroélectrique au Canada entre en opération en 1885; elle est édifée sur la rivière Montmorency, près de Québec.

L'éclairage artificiel a amélioré de bien des façons les conditions de vie et a transformé la société. Par exemple, l'éclairage des rues a fait diminuer le taux de criminalité dans les villes. Avec l'avènement de l'électricité, l'éclairage a permis de prolonger les heures de travail. La vie active ne s'arrête plus comme auparavant à la tombée du jour. Les usines peuvent fonctionner jour et nuit sans arrêt; la productivité a augmenté et des employés travaillent de nuit. L'accès facile à l'éclairage a aussi entraîné le développement des espaces souterrains. On trouve aujourd'hui de grands centres commerciaux sous terre. De plus, les devantures des magasins sont de véritables fêtes de lumières de toutes les couleurs. Et puis, surtout, pourriez-vous étudier tard dans la soirée ou tôt le matin, sans lumière artificielle ?



Exercice 1.6

Nommez deux transformations sociales qui découlent de l'utilisation de la lumière artificielle.

1.2 – VOIR LES OBJETS

La lumière, qu'elle soit naturelle ou artificielle, nous permet de voir. En effet, dans la noirceur complète, nos yeux ne sont pas très utiles. Mais de quelle façon la vision d'un objet, c'est-à-dire le fait de le voir, dépend-elle de la lumière ?

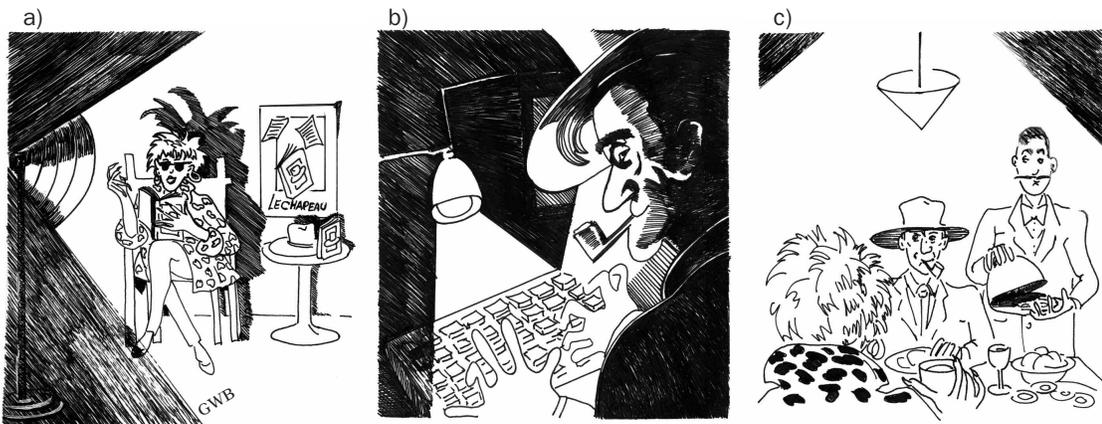
LA VISION

Quand on regarde une source de lumière, par exemple la flamme d'une bougie, une partie des rayons émis par la source parvient jusqu'à nos yeux et y pénètre. Dans ces conditions, nos yeux voient la flamme. Autrement dit, pour que l'œil puisse voir, il est essentiel qu'il reçoive de la lumière, c'est-à-dire que des rayons lumineux l'atteignent. Sur la figure 1.4a, le personnage voit la lampe parce qu'une partie des rayons émis se dirige vers ses yeux.

Cependant, on ne voit pas que les sources de lumière : une table, une chaise ou un livre sont visibles même s'ils n'émettent pas de lumière. On les voit dans un endroit éclairé, mais ils sont invisibles dans le noir total. Pourquoi ? En quelque sorte, les objets se comportent comme des sources indirectes de lumière. Ils reçoivent de la lumière provenant d'une source et la renvoient généralement dans plusieurs directions. Lorsqu'une partie des rayons réfléchis par un objet parvient à notre œil, nous voyons l'objet (figure 1.4b).

Le cas de la Lune illustre bien notre propos. Comme le clavier de l'ordinateur de la figure, elle renvoie vers nos yeux une partie de la lumière qu'elle reçoit. Exposée directement aux rayons émis par le Soleil, elle est soumise à un **éclairage direct**. Sur Terre, la lumière que nous recevons de la Lune est un **éclairage indirect**. Les rayons lumineux n'ont pas été produits par la Lune. Les rayons de soleil ont été réfléchis par la Lune, c'est-à-dire qu'ils ont rebondi sur sa surface avant de parvenir jusqu'à nous.

Figure 1.4 - Vision d'un objet



a) Une partie de la lumière émise par la lampe atteint directement les yeux de la personne interrogée.

b) La personne voit le clavier de l'ordinateur parce que le clavier est éclairé. Une partie de la lumière émise par la lampe rebondit sur le clavier et se dirige ensuite vers les yeux. Le clavier agit donc comme une source indirecte de lumière.

c) La pièce est éclairée par la lumière réfléchi sur le plafond. Celui-ci, de même que les murs et l'ensemble des objets éclairés deviennent des sources indirectes de lumière. On peut donc les voir lorsqu'ils renvoient une partie des rayons reçus en direction de nos yeux.

On utilise l'éclairage indirect pour obtenir une lumière plus tamisée. À l'aide d'une source de lumière, on éclaire un mur ou le plafond d'une pièce. La lumière rebondit dans toutes les directions, éclairant ainsi toute la pièce, mais avec une lumière plus douce qu'un éclairage direct. La lumière parvient à l'œil après une ou plusieurs réflexions successives (figure 1.4c).

Ainsi, on peut voir directement les sources lumineuses alors qu'on voit de manière indirecte les objets éclairés. Sans éclairage, pas de vision ! Mais une fois la lumière allumée, est-ce à dire qu'on peut voir tous les objets éclairés ? Par exemple, pouvez-vous voir vos pieds sous la table (sans vous baisser, bien sûr !) ? Non, parce que la table cache vos pieds. Il semble donc qu'il y ait deux conditions nécessaires à remplir pour qu'on puisse voir un objet : d'une part, il faut que l'objet soit éclairé et, d'autre part, il ne faut pas qu'il y ait de corps opaque (non transparent) entre l'objet et l'œil.

Ainsi, si on voit un livre, c'est qu'il reçoit de la lumière émise par une source (lampe, Soleil, etc.) [1^{re} condition] et qu'il en renvoie une partie en direction de l'œil. Des rayons parviendront à l'œil à condition qu'il n'y ait pas d'obstacle opaque entre l'œil et le livre [2^e condition]. Remarquez qu'on pourrait voir un objet même si un obstacle transparent, une vitre par exemple, se trouvait entre l'objet et l'œil. Par définition, la lumière peut traverser un corps transparent. La présence d'une vitre entre un objet et l'œil n'empêche donc pas les rayons d'atteindre l'œil.



Exercice 1.7

Répondez par vrai ou faux en justifiant votre réponse.

a) Un objet éclairé est une source indirecte de lumière.

b) La Lune produit de la lumière.

c) Quand on regarde un film sur l'écran d'une salle de cinéma, cet écran est une source directe de lumière.

d) L'écran d'un téléviseur allumé est une source directe de lumière.

LE CHAMP DE VISION

On voit un objet éclairé s'il envoie des rayons qui pénètrent dans nos yeux. Cependant, nos yeux et l'ensemble de notre corps limitent la vision à une région de l'espace. En regardant droit devant et sans bouger la tête, nous pouvons voir en avant de nous et un peu sur les côtés, mais nous ne voyons pas en arrière de nous. L'œil voit seulement une partie de l'espace environnant. On appelle **champ de vision** la portion de l'espace vue par l'œil. Un individu peut voir les objets qui sont dans son champ de vision, mais il ne voit pas ceux qui sont en dehors de celui-ci.

Le champ de vision d'un observateur peut aussi être limité par ce qui l'entoure; une montagne, un mur, une table ou le brouillard peuvent réduire le champ de vision, selon le lieu où se trouve l'observateur et la direction dans laquelle il regarde. Dans l'activité qui suit, nous examinerons comment la présence d'un obstacle peut limiter le champ de vision d'un observateur.



Activité 1.1 - Le champ de vision

Sur la figure 1.5, Pierre et Marie regardent un arbre. Ils sont tous les deux à peu près à la même distance de l'arbre, mais Pierre le voit de l'intérieur de son appartement alors que Marie est à l'extérieur. Marie voit l'arbre en entier, dans toute sa hauteur. Nous allons comparer le champ de vision de ces deux observateurs et déterminer si Pierre voit aussi l'arbre en entier.

Figure 1.5 - Deux points de vue

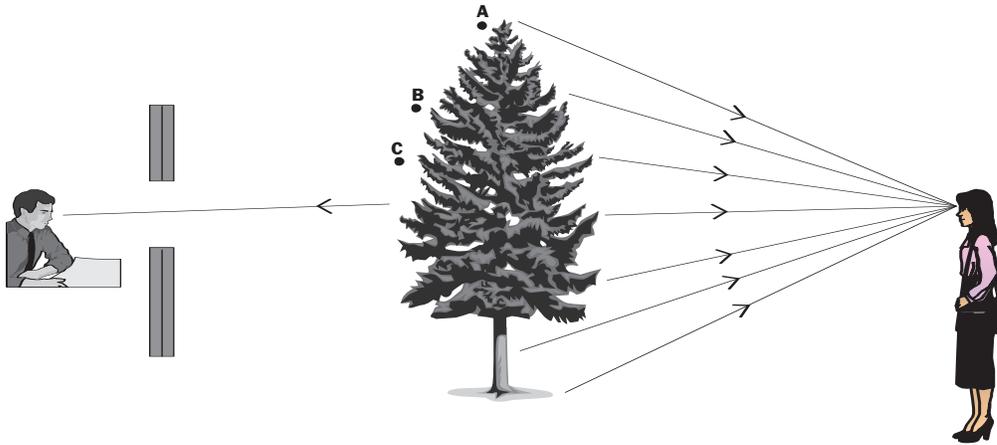


Marie admire l'arbre. Elle s'est placée pour le voir en entier, de la base du tronc jusqu'à la cime.

Pierre regarde le même arbre de l'intérieur de son appartement.

Marie s'est placée de façon à admirer l'arbre entier, c'est-à-dire pour que l'arbre se trouve entièrement dans son champ de vision. L'arbre est éclairé et il n'y a pas d'obstacle entre l'arbre et Marie. Ainsi, des rayons de lumière renvoyés par l'arbre, de la base à la cime, parviennent aux yeux de Marie. Sur la figure 1.6, nous avons tracé quelques-uns de ces rayons. Chacun est représenté par un **segment de droite** qui joint une partie de l'arbre aux yeux de Marie. Remarquez que les rayons sont tous compris entre celui qui part de la cime de l'arbre et celui qui part de la base du tronc.

Figure 1.6 - Champ de vision des deux observateurs



L'arbre entier est dans le champ de vision de Marie. De la base à la cime, l'arbre renvoie des rayons lumineux qui atteignent les yeux de Marie. Pierre peut-il aussi voir l'arbre en entier ?

- a) Donnez deux conditions nécessaires pour que Marie puisse voir l'arbre en entier.

Examinons maintenant le cas de Pierre. Afin de déterminer s'il peut voir l'arbre en entier, nous allons tracer les rayons qui vont de l'arbre vers ses yeux. Pierre pourra voir l'arbre dans toute sa hauteur si tous les rayons tracés, partant de la base à la cime de l'arbre, peuvent atteindre ses yeux sans être bloqués par le mur de l'appartement. Sur la figure 1.6, nous avons tracé un rayon qui va du centre de l'arbre vers les yeux de Pierre.

- b) Sur la figure 1.6, en partant des points A, B et C, tracez trois rayons qui partent de l'arbre et se dirigent vers les yeux de Pierre. Tracez ensuite trois autres rayons qui partent de la partie inférieure de l'arbre.
- c) Est-ce que tous les rayons tracés en b) atteignent les yeux de Pierre ? Justifiez votre réponse.

- d) L'arbre se trouve-t-il entièrement dans le champ de vision de Pierre ?

Le mur de l'appartement limite le champ de vision de Pierre. La grandeur de la fenêtre détermine la portion de l'arbre qu'il peut apercevoir de la position qu'il occupe. En traçant les rayons qui touchent le bord de la fenêtre, on peut savoir quelle portion de l'arbre se trouve dans son champ de vision. Sur la figure 1.6, le rayon qui part du point B sur l'arbre correspond au point le plus haut que Pierre peut voir. Ce rayon s'appuie sur le bord de la fenêtre.

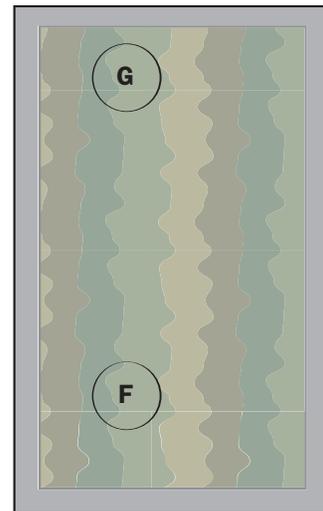
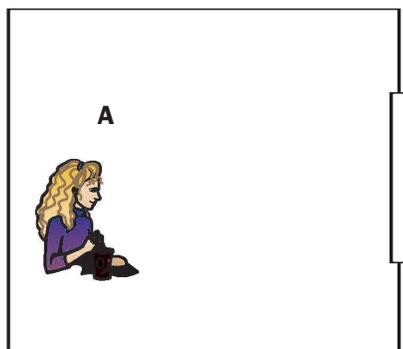
- e) Construisez (tracez) le rayon extrême qui détermine le point le plus bas de l'arbre que Pierre peut voir. Cela va de l'arbre à l'œil de Pierre en s'appuyant sur le bord inférieur de la fenêtre.
- f) Indiquez sur le dessin la portion de l'arbre que Pierre peut voir à travers la fenêtre.

La partie visible de l'arbre est celle qui est dans le champ de vision de Pierre. La portion du champ de vision d'un observateur délimitée par une ouverture est l'espace compris entre les rayons qui parviennent à l'œil de l'observateur en s'appuyant sur les bords de l'ouverture.



Exercice 1.8

Carla est assise dans sa salle à manger et surveille, par la porte-fenêtre, ses enfants qui se baignent dans la piscine.



A représente Carla; G, son garçon et F, sa fille.

- a) Construisez les rayons qui délimitent le champ de vision de Carla à travers la porte-fenêtre.

b) Est-ce que toute la piscine est dans le champ de vision de Carla ?

c) Indiquez à quel endroit peut se placer Carla pour que la piscine soit en entier dans son champ de vision. Justifiez votre réponse par une construction de rayons.

DES INTERPRÉTATIONS DIVERSES, D'HIER À AUJOURD'HUI

L'explication de la vision paraît simple et évidente; l'œil voit lorsque les rayons lumineux émis par une source parviennent jusqu'à lui directement, ou après avoir rebondi sur un ou plusieurs objets. Cependant, lorsqu'on ne connaissait pas la nature de la lumière et avant qu'on apprenne à confronter les théories avec l'expérience, il n'était pas si simple d'arriver à cette conclusion. Différentes explications ont été proposées; il a fallu plusieurs siècles et quelques théories avant de comprendre correctement le phénomène de la vision.

C'est dans la Grèce antique que sont apparues les premières théories connues. Selon le mathématicien Pythagore, au VI^e siècle av. J.-C., l'œil émet des rayons lumineux qui permettent de voir les objets (figure 1.7a).

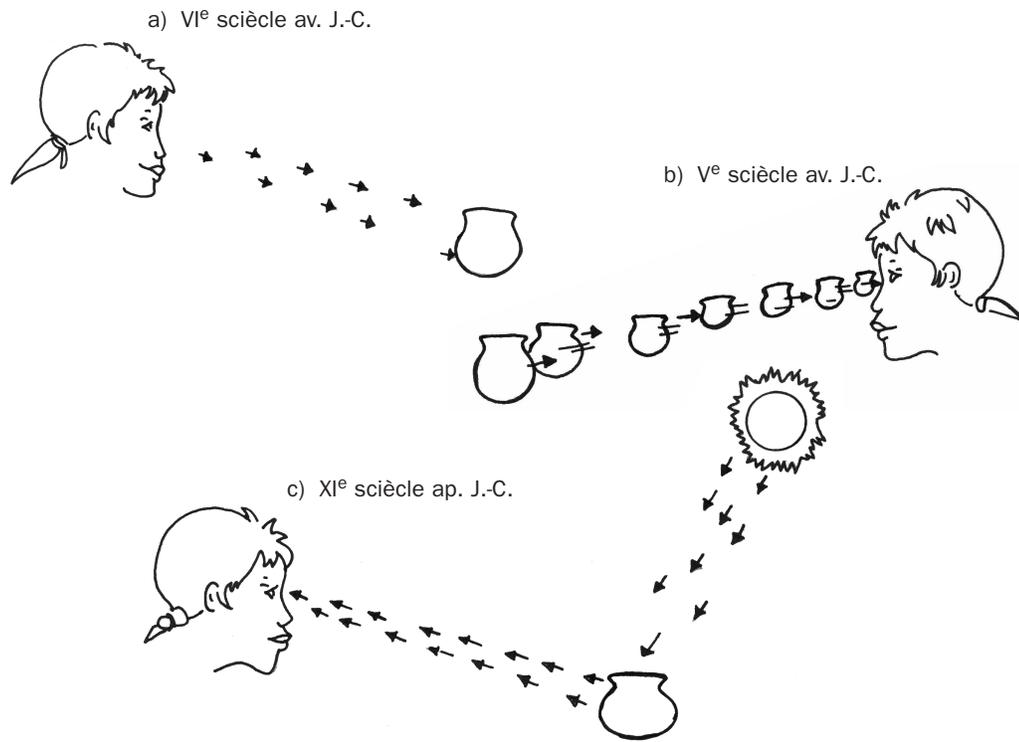
Au V^e siècle av. J.-C., Démocrite et les atomistes expliquaient la vision par une formation continue d'images représentant l'objet que l'on voyait. D'après leur théorie, ces images se déplaçaient très rapidement vers l'œil, y pénétraient et s'y imprimaient avec leur forme et leur couleur (figure 1.7b).

Au IV^e siècle av. J.-C., Aristote étudie le fonctionnement des sens. Contrairement au toucher qui se fait par contact direct entre un objet et la peau, la vue et l'ouïe sont transmises à distance entre un objet et, selon le cas, les yeux ou les oreilles. On sait à cette époque, par observation, que la lumière se déplace en ligne droite. On interprète le son comme une vibration². Pour Aristote, la voix humaine met en mouvement l'air ambiant, qui met à son tour en mouvement l'oreille ou l'une de ses parties. Il interprète la lumière de façon semblable : selon lui, l'objet lumineux vibre et met en mouvement un milieu non défini qui transmet le mouvement aux liquides de l'œil. Ce mouvement serait responsable de la vision.

Au III^e siècle av. J.-C., Euclide reprend l'explication de Pythagore et affirme que la lumière est émise par l'œil et se dirige vers les objets qu'il voit. C'est un recul par rapport à la théorie d'Aristote.

2. Cette interprétation du son est probablement due aux pythagoriciens. Notez que le mot « vibration » à cette époque n'a pas un sens aussi précis que celui que nous lui donnons aujourd'hui. Il est alors ni question d'ondes sonores ni question d'ondes lumineuses.

Figure 1.7 - La vision à travers les âges



- a) *D'après Pythagore, l'œil émet un rayon visuel par lequel on voit un objet. La vision serait alors engendrée par l'œil.*
- b) *Selon les atomistes grecs, dont Démocrite, des images de l'objet se déplacent en direction de l'œil.*
- c) *Selon Alhazen, la lumière se propage en ligne droite, de l'objet vers l'œil, théorie encore acceptée aujourd'hui.*

Par la suite, durant plusieurs siècles, la science occidentale fait peu de progrès et c'est seulement au XI^e siècle qu'un physicien arabe, Ibn al-Haytham, connu en occident sous le nom de Alhazen, énonce une nouvelle théorie pour expliquer le phénomène de la vision. Après avoir prouvé, par expériences et raisonnements, que les théories de l'Antiquité étaient fausses, il donne sa propre explication de la vision. Il rejette définitivement la théorie du rayon visuel de Pythagore. Il affirme que la lumière voyage en ligne droite, de l'objet jusqu'à l'œil. D'après lui, tout corps éclairé renvoie la lumière reçue dans toutes les directions et, quand l'œil est placé en avant de ce corps, une partie de cette lumière arrive à sa surface externe. C'est, en d'autres termes, ce qu'on pense aujourd'hui : les corps renvoient la lumière reçue, et l'œil voit lorsqu'il reçoit une partie de ces rayons (figure 1.7c).

La contribution de Alhazen en optique est remarquable tant par l'apport de ses découvertes que par sa méthode de travail. Chacune des théories qu'il élabore s'appuie sur un grand nombre d'expériences et sur des raisonnements tels qu'on oublie qu'ils ont été tenus il y a près de mille ans.



Ibn al-Haytham³

Ibn al-Haytham ou Alhazen est connu en tant que mathématicien, physicien et astronome. Il est né à Bassora, en Iraq, en 965, et décédé au Caire, en Égypte, en 1039. Sa contribution en optique est très importante. Il a énoncé les lois de la propagation rectiligne, étudié la réflexion dans les **miroirs plans** et sphériques, et précisé les tables de réfraction. Il a aussi montré que la Voie lactée est très éloignée de la Terre et ne fait pas partie de l'atmosphère.

Ibn al-Haytham est l'auteur de nombreux ouvrages de mathématiques, d'astronomie, de médecine et de physique. Mentionnons, entre autres, son *Traité d'optique* qui a connu une grande diffusion en Europe occidentale. Son œuvre a inspiré les savants de la Renaissance (XV^e et XVI^e siècles).



Exercice 1.9

Pythagore, au VI^e siècle av. J.-C., affirmait que, pour voir un objet, l'œil devait émettre des rayons lumineux.

a) D'après votre expérience, pourquoi cette théorie ne peut-elle être valable ?

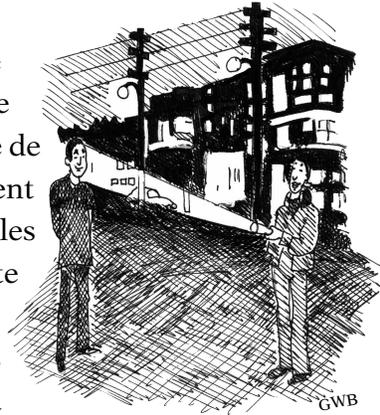
b) Quelle est l'hypothèse retenue aujourd'hui ?

c) À quelle époque remonte la première interprétation juste de la vision ? À qui la doit-on ?

3. Tous les textes présentés de cette façon ne font pas directement partie de l'apprentissage et aucune question de l'épreuve d'évaluation finale ne porte sur leur contenu.

1.3 – TOUJOURS TOUT DROIT

Dès le début du chapitre, nous avons considéré, comme Alhazen, que la lumière se propageait en ligne droite, de l'objet vers l'œil. Autrement dit, la lumière suit un mode de **propagation rectiligne**, et on la voit lorsqu'elle parvient à l'œil. Ainsi, sur les figures, nous avons représenté les rayons lumineux par des segments de droite. Cette supposition repose sur nos observations quotidiennes. Par exemple, les phares d'automobile ou les projecteurs au sommet de certains immeubles découpent, dans la nuit, des cônes de lumière bien délimités.

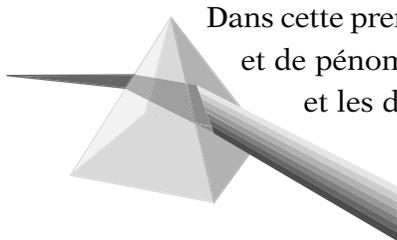


LA PROPAGATION RECTILIGNE

Les jeux d'**ombre** viennent confirmer la propagation rectiligne, c'est-à-dire en ligne droite, de la lumière. Par exemple, si on place la main entre une source de lumière et un mur, l'ombre de la main a la même forme que la main. On observe également que les dimensions de cette ombre varient quand on déplace la main entre la source de lumière et le mur. La forme de l'ombre, sa taille et ses contours définis permettent de prouver que la lumière se propage bien en ligne droite.

Dans l'activité expérimentale 1, vous étudierez le comportement de la lumière quand elle rencontre un obstacle et, à partir de vos observations, vous démontrerez que la lumière se propage bien en ligne droite.

Activité expérimentale 1 - Lumière, ombre et pénombre



Dans cette première activité, vous observerez les phénomènes d'ombre et de pénombre en relation avec l'étendue de la source de lumière et les distances entre la source, l'obstacle et l'écran.

C'est votre premier contact avec la démarche expérimentale en physique. Vous aurez l'occasion d'observer et d'explorer diverses situations. Vous devrez aussi vous familiariser avec la présentation des données et leur interprétation. Prévoyez environ 60 minutes pour les manipulations. Elles sont simples, mais soyez méticuleux pour obtenir des résultats significatifs.

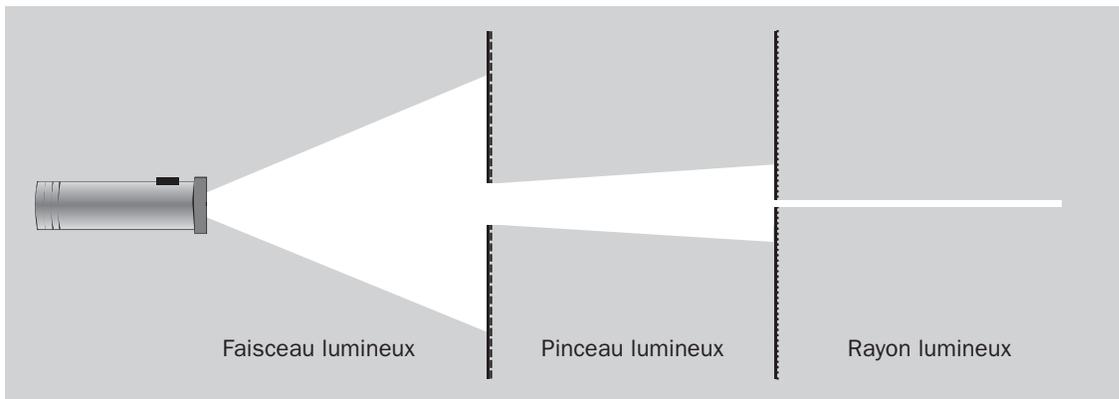
Tous les détails nécessaires pour réaliser cette activité sont donnés dans le cahier *Activités expérimentales d'optique*. Bon travail !

UN PEU DE VOCABULAIRE

Dans la partie A de l'activité expérimentale, vous avez d'abord travaillé avec une ampoule miniature qui a servi de **source ponctuelle** de lumière, c'est-à-dire une source très petite assimilable à un point lumineux. Dans la partie B, l'ampoule de 7,5 W, de plus grandes dimensions, représentait une **source étendue**. Le fait de considérer une source comme étant ponctuelle ou étendue dépend non seulement de ses dimensions mais aussi de la distance qui nous en sépare. Par exemple, de notre point de vue, les étoiles sont des sources ponctuelles de lumière ; elles sont très grandes, mais elles sont si loin de nous qu'elles apparaissent comme des points lumineux.

Qu'elle soit ponctuelle ou étendue, une source de lumière éclaire tout l'espace qui l'entoure. Une flamme, une ampoule électrique et le Soleil éclairent dans toutes les directions. On peut limiter cet espace et orienter la lumière pour qu'elle forme un cône ou un cylindre lumineux plus ou moins étroit selon l'usage qu'on veut en faire. Par exemple, une lampe de poche ou un projecteur de scène éclaire un espace bien délimité. Selon l'étendue éclairée, on parlera de faisceau, de **pinceau** ou de **rayon lumineux**. Un faisceau est un ensemble large de lumière. Un faisceau étroit est appelé pinceau lumineux. Un rayon lumineux est un pinceau très mince qu'on représente par une **droite**. Les pinceaux et les faisceaux sont formés d'un ensemble de rayons lumineux.

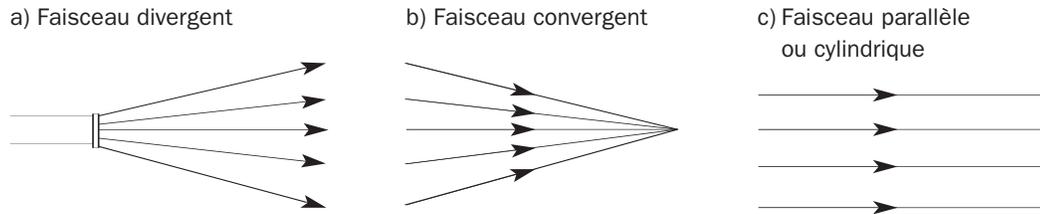
Figure 1.8 - Faisceau, pinceau, rayon lumineux



Un faisceau lumineux éclaire un grand espace. On a ici un faisceau divergent, c'est-à-dire dont les rayons s'éloignent. Un pinceau lumineux couvre un espace plus étroit qu'un faisceau. Un rayon lumineux est si étroit qu'on le représente par une droite.

Un faisceau ou un pinceau lumineux peuvent être convergent, divergent ou parallèle (cylindrique) suivant que les rayons lumineux se rapprochent, s'écartent ou restent parallèles entre eux (figure 1.9). Remarquez qu'on met une flèche sur les droites représentant les rayons lumineux pour indiquer le sens du déplacement de la lumière.

Figure 1.9 - Faisceaux divergent, convergent, parallèle



a) Faisceau divergent : les rayons s'écartent les uns des autres en s'éloignant de la source.

b) Faisceau convergent : les rayons se rapprochent les uns des autres.

c) Faisceau parallèle ou cylindrique : les rayons restent parallèles entre eux.

LES SOURCES PONCTUELLES

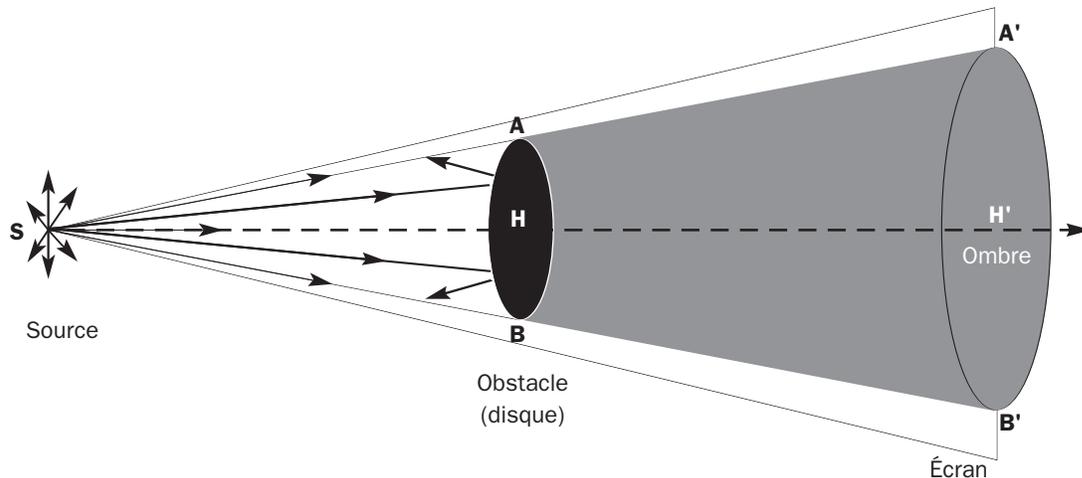
Dans l'activité expérimentale, vous avez vérifié que la lumière se propageait en ligne droite en considérant le tracé des rayons lumineux autour d'un objet éclairé par une source. La forme et les dimensions de l'ombre ont confirmé la propagation rectiligne. Maintenant, il n'est plus nécessaire de refaire une expérience chaque fois qu'on veut connaître les dimensions d'une ombre dans des conditions données. Il suffit de tracer quelques rayons sur un schéma en s'appuyant sur le fait que la lumière se propage en ligne droite.

La grandeur des ombres

Voyons comment on peut prévoir les dimensions d'une ombre à partir du tracé des rayons. Considérons un obstacle, disons un disque opaque, placé entre une source ponctuelle de lumière (S) et un écran (figure 1.10a). Les rayons lumineux qui frappent le disque ne peuvent le traverser. Ils rebondissent comme des billes sur un mur. Ainsi, sur la figure, aucun rayon lumineux émis dans le cône délimité par SA et SB n'arrive à l'écran : ils sont arrêtés par l'obstacle (le disque) de telle sorte qu'une partie de l'écran ne reçoit pas de lumière. Cette région correspond à la zone d'ombre. Les rayons SAA' et SBB' qui s'appuient sur les bords du disque, sont les rayons extrêmes qui délimitent la frontière entre la zone d'ombre et la surface éclairée de l'écran.

Figure 1.10 - Ombre produite par une source ponctuelle

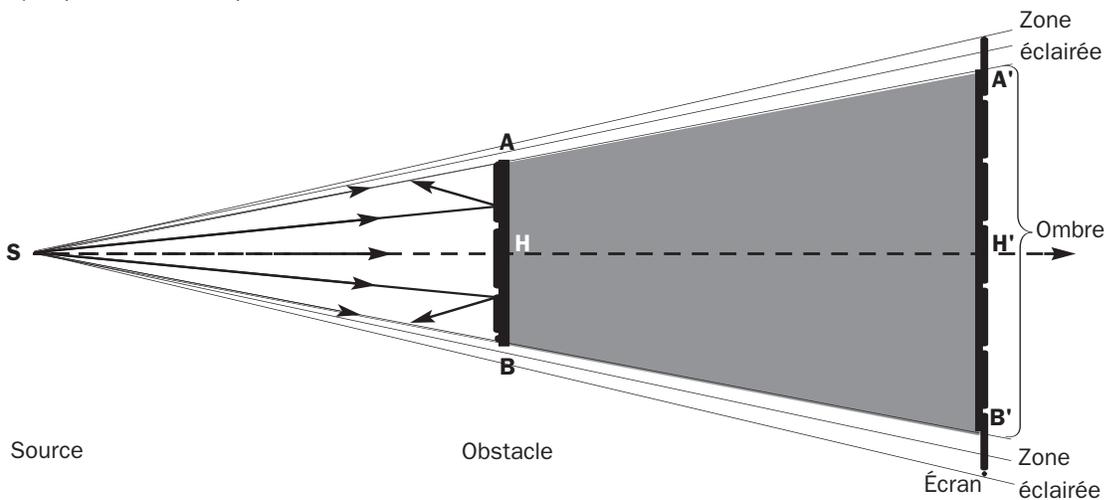
a) Représentation dans l'espace



Une source S éclaire un disque et produit une ombre plus grande que le disque, mais de même forme que lui. Les points A et B correspondent aux bords du disque, et le point H, à son centre.

La source émet de la lumière dans toutes les directions. Les rayons qui frappent le disque rebondissent ; ceux qui passent à côté du disque éclairent l'écran.

b) Représentation de profil

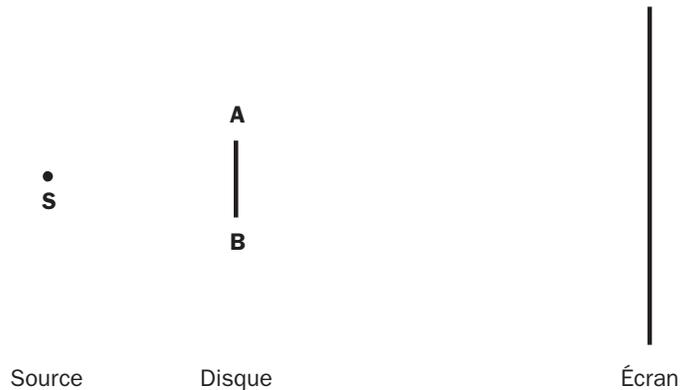


Le disque, représenté par le segment de droite AB, fait obstacle à la lumière et produit, sur l'écran, une ombre bien définie. De profil, l'ombre correspond aussi à un segment de droite (A'B').

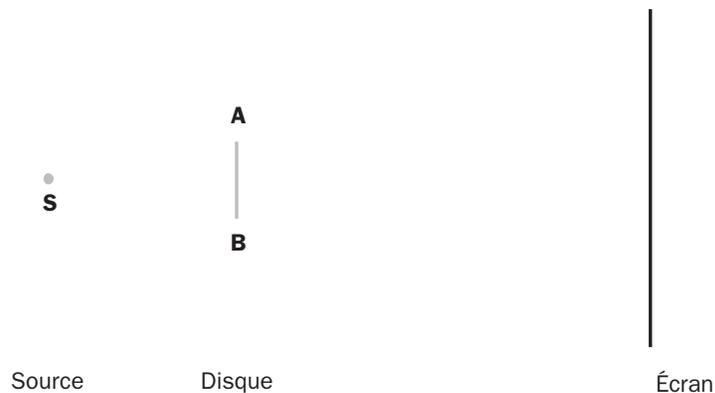
Si le dessin est à l'échelle, on peut déterminer les dimensions de l'ombre en comparant son diamètre (la longueur du segment A'B') à celui du disque (AB).

? Exercice 1.10

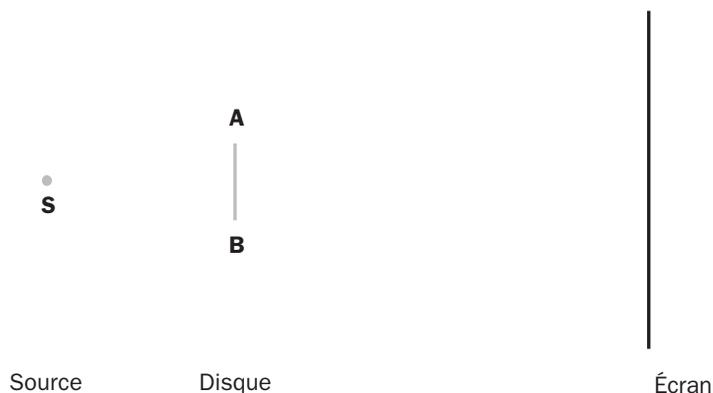
Un disque est placé entre une source ponctuelle et un écran. La source ponctuelle de lumière peut être un trou percé dans un carton, à travers lequel passe la lumière provenant d'une lampe. La situation est représentée ci-dessous.



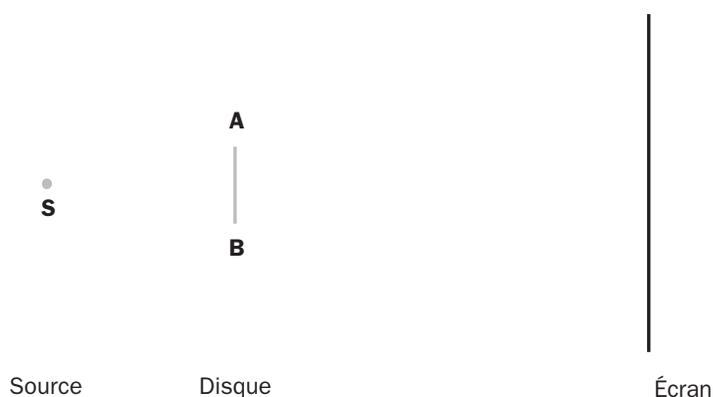
- Déterminez la zone d'ombre sur l'écran en traçant les rayons extrêmes sur la figure ci-dessus. Identifiez clairement la zone d'ombre sur le dessin.
 - Si le diamètre du disque est de 50 cm, quel est le diamètre de l'ombre dans les conditions illustrées ? Le schéma est à l'échelle.
-
- Trouvez deux façons d'agrandir l'ombre sans bouger l'écran. Faites un croquis illustrant chacune des façons et déterminez la zone d'ombre en traçant les rayons.



- d) Trouvez deux façons de diminuer la grandeur de l'ombre sans bouger la source ponctuelle de lumière. Faites les tracés des rayons correspondants et identifiez clairement la zone d'ombre.



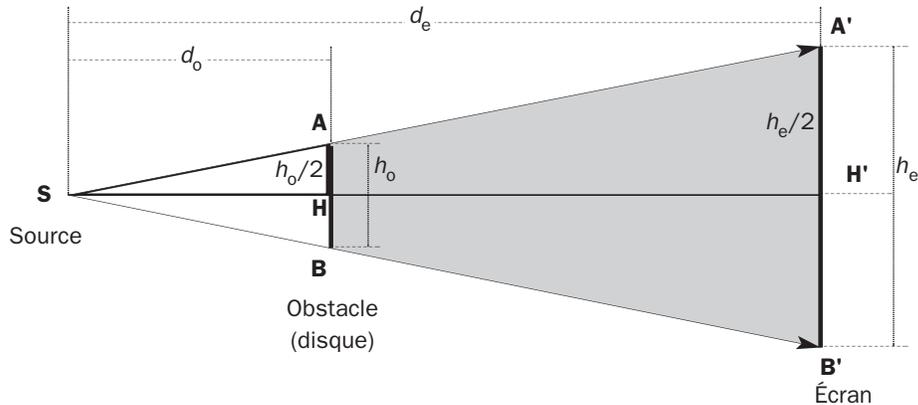
- e) Trouvez deux façons d'agrandir l'ombre sans bouger le disque. Faites les tracés de rayons correspondants et identifiez clairement la zone d'ombre.



L'activité expérimentale et l'exercice qui précède ont permis de déterminer que la grandeur de l'ombre dépend des distances de la source au disque et du disque à l'écran. Lors de l'expérience, vous avez mesuré la grandeur de l'ombre tandis que, dans l'exercice précédent, vous avez déterminé la grandeur en traçant des rayons.

On peut aussi trouver la grandeur d'une ombre en utilisant une relation mathématique. On établit cette relation à l'aide d'un schéma (figure 1.11), en considérant la hauteur de l'ombre sur l'écran (h_e), celle de l'obstacle (h_o), la distance de la source à l'écran (d_e) et celle de la source à l'obstacle (d_o).

Figure 1.11 - Considérations géométriques



Les triangles SAH et SA'H' sont semblables. Sur le schéma, $h_o/2$ représente le rayon de l'objet (le disque) ; $h_e/2$, le rayon de l'ombre sur l'écran ; d_o , la distance entre la source et l'objet ; d_e , la distance entre la source et l'écran.

Sur la figure, les triangles SAH et SA'H' sont des **triangles semblables**⁴. Or, les rapports entre les côtés correspondants de triangles semblables sont égaux. Donc,

$$\frac{m\overline{A'H'}}{m\overline{AH}} = \frac{m\overline{SH'}}{m\overline{SH}} \quad \text{qu'on peut aussi écrire} \quad \frac{h_e/2}{h_o/2} = \frac{d_e}{d_o}$$

L'équation signifie que le rapport entre la mi-hauteur de l'ombre ($h_e/2$) et le rayon du disque, c'est-à-dire la mi-hauteur de l'obstacle ($h_o/2$), est égal au rapport entre la distance de la source à l'écran (d_e) et celle de la source à l'obstacle (d_o). Après simplification, l'équation s'écrit :

$$\frac{h_e}{h_o} = \frac{d_e}{d_o}$$

où h_e représente la hauteur de l'ombre sur l'écran ;
 h_o , la hauteur de l'obstacle (l'objet éclairé) ;
 d_e , la distance entre la source et l'écran ;
 d_o , la distance entre la source et l'obstacle.

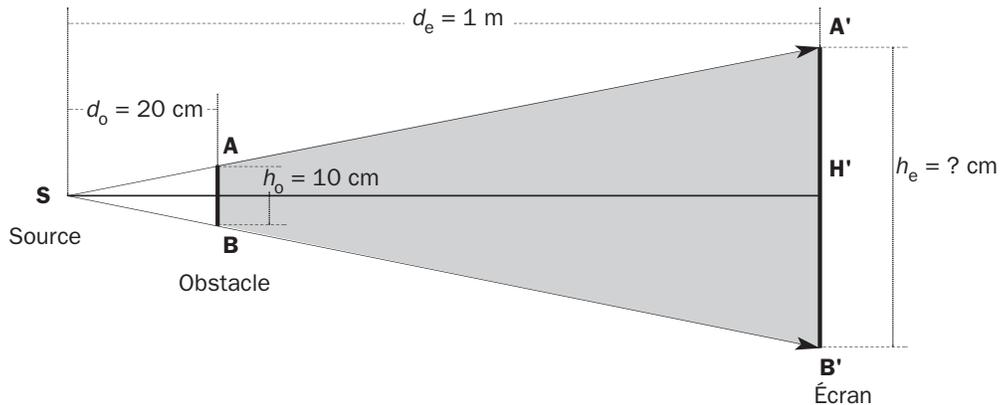
4. Dans deux triangles semblables, les angles homologues (correspondants) sont congrus (égaux) et les côtés homologues (correspondants) sont proportionnels. Pour l'ensemble de ces relations, vous pouvez consulter : Asselin, Suzie et Jacques Gravel, Géométrie III, MAT-4066-1, guide d'apprentissage produit par la SOFAD ou l'annexe D de ce guide.

Cette équation peut être utilisée pour calculer la grandeur de l'ombre produite par un objet éclairé par une source ponctuelle. Il suffit de connaître les distances qui séparent la source, l'objet et l'écran, ainsi que la hauteur de l'objet.

Exemple

Une source ponctuelle de lumière est à 20 cm d'un disque opaque de 10 cm de diamètre. Quelle est la hauteur de l'ombre de ce disque obtenue sur un écran placé à 1 m de la source ?

Afin de mieux comprendre les données, il est utile d'en faire un schéma.



On a : $h_o = 10 \text{ cm}$; $d_e = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$; $d_o = 20 \text{ cm}$; $h_e = ? \text{ cm}$.

Puisque le rapport entre les diamètres est égal au rapport entre les distances à la source, on a :

$$\frac{h_e}{h_o} = \frac{d_e}{d_o}$$

$$h_e = \frac{d_e h_o}{d_o} = \frac{100 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 50 \text{ cm}$$

Le diamètre de l'ombre est de 50 cm, soit cinq fois plus grand que le diamètre du disque.

Dans l'exercice qui suit, vous appliquerez les notions précédentes en travaillant d'abord à partir d'une construction à l'échelle, puis vous vérifierez votre résultat par un calcul mathématique approprié.



Exercice 1.11

Un disque de 20 cm de diamètre est placé entre une source ponctuelle et un écran. La source est à 1,5 m de l'écran et l'ombre obtenue sur l'écran a un diamètre de 60 cm.

a) Faites un schéma de la situation à l'échelle $1 \cong 10$ (1 cm sur le schéma représente 10 cm).

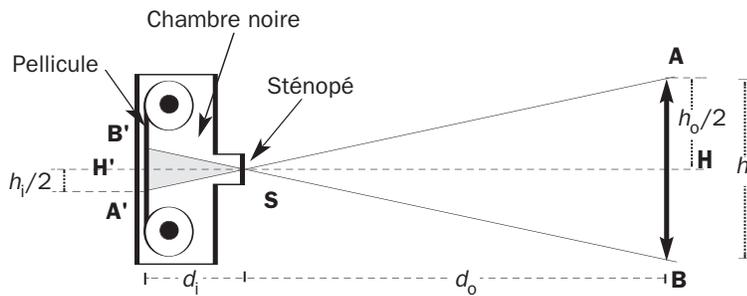
b) Déterminez, à l'aide du tracé de rayons, la distance entre la source et le disque.

c) Calculez cette distance en appliquant l'équation établie précédemment. Les résultats obtenus avec les deux méthodes sont-ils en accord ?

Le sténopé

On peut obtenir une source ponctuelle de lumière en perçant une très petite ouverture dans un carton. On appelle **sténopé** un trou d'épingle ainsi pratiqué dans la paroi d'une chambre noire pour laisser passer la lumière. L'ancêtre de l'appareil photographique fonctionnait sans lentille. Il était constitué d'une chambre noire percée d'un sténopé. Une pellicule (film) sensible à la lumière recouvrait la paroi opposée, au fond de l'appareil (figure 1.12).

Figure 1.12 - L'ancêtre de l'appareil photographique



Avant de prendre la photo, l'obturateur recouvre le sténopé pour empêcher la lumière d'entrer dans la chambre noire. Lorsqu'on ouvre l'obturateur, la lumière pénètre dans la chambre par le sténopé (S) et vient frapper la pellicule. L'objet AB agit comme une source indirecte de lumière. Éclairé par la lumière ambiante, il renvoie une partie de la lumière reçue en direction du sténopé. Une image renversée de l'objet, A'B', est formée sur la pellicule exposée.

L'image se forme comme suit. Lorsque l'obturateur est ouvert, une partie de la lumière extérieure qui éclaire l'objet AB rebondit en direction du sténopé et pénètre dans l'appareil. Une image A'B' est obtenue sur la pellicule. Remarquez que l'image est renversée par rapport à l'objet. C'est que le rayon qui part du point le plus haut de l'objet se retrouve au point le plus bas de l'image. À l'inverse, le point le plus bas de l'objet (B) aboutit en haut de l'image (B').

Les rayons extrêmes AA' et BB' permettent aussi de déterminer la grandeur de l'image obtenue si le schéma est à l'échelle. Ou, mieux encore, comme nous l'avons fait précédemment pour les ombres, on établit une relation mathématique en considérant les triangles semblables AHS et A'H'S sur la figure. On a :

$$\frac{m\overline{A'H'}}{m\overline{AH}} = \frac{m\overline{SH'}}{m\overline{SH}} \quad \text{qu'on peut aussi écrire} \quad \frac{h_i/2}{h_o/2} = \frac{d_i}{d_o}$$

Après simplification, on trouve :

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

Le rapport entre la hauteur de l'image (h_i) et celle de l'objet (h_o) est égal au rapport entre la distance de l'image au sténopé (d_i) et celle qui sépare l'objet du sténopé (d_o). Ce rapport s'appelle le **grandissement (Gr)**.

$$Gr = \frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

où Gr représente le grandissement ;
 h_i , la hauteur de l'image ;
 h_o , la hauteur de l'objet ;
 d_i , la distance de l'image à l'ouverture (sténopé) ;
 d_o , la distance de l'objet à l'ouverture.

L'appareil photographique rudimentaire muni d'un sténopé fonctionne bien à condition que la lumière soit suffisamment intense, car pour former une image précise, le sténopé doit se comporter comme une source ponctuelle de lumière. Il laisse ainsi passer seulement une très petite portion de la lumière environnante. Si on agrandissait l'ouverture, l'image obtenue serait floue. Dans les appareils photographiques modernes, on pallie ce défaut en mettant dans l'ouverture une lentille, appelée objectif, qui permet de concentrer la lumière.

? Exercice 1.12

Un appareil photographique à sténopé a une profondeur de 20 cm. On veut photographier un élève de 1,80 m de hauteur et obtenir une image de 10 cm de haut.

a) Faites un dessin pour illustrer la situation et reportez-y les mesures données. Il n'est pas obligatoire que le dessin soit à l'échelle.

b) Calculez à quelle distance de l'appareil doit se tenir l'élève pour qu'on puisse le voir de la tête aux pieds sur l'image.

c) Quel est le grandissement de l'image ?

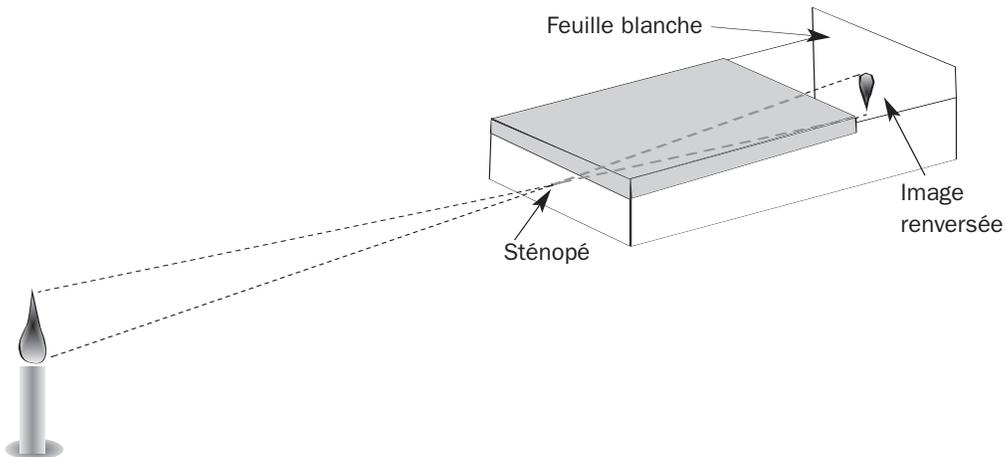
Remarquez que le grandissement est sans unités puisqu'il s'agit du rapport entre deux longueurs. La valeur du grandissement est inférieure à 1 lorsque l'image est plus petite que l'objet ($h_i < h_o$), comme dans le cas de l'exercice 1.12. À l'inverse, le grandissement est supérieur à 1 lorsque l'image est plus grande que l'objet ($h_i > h_o$).



Fabriquez votre propre sténopé!

Il vous faut une boîte à chaussures, une épingle droite, une feuille blanche, une bougie et des allumettes. Percez l'une des extrémités de la boîte avec l'épingle droite (voir figure). Attention! Plus le trou est petit, meilleurs sont les résultats.

Placez la feuille blanche à l'intérieur de la boîte, sur le côté opposé au sténopé. Découpez le couvercle de la boîte de façon à laisser une ouverture d'environ 10 cm.



Placez la boîte et son couvercle (découpé) sur le bord d'une table. Allumez la bougie. Fermez les rideaux et éteignez toutes les sources de lumière ambiante; la pièce doit être très sombre.

Placez la bougie en avant du sténopé, à une distance à peu près identique à la longueur de la boîte. Alignez bien la flamme et le sténopé. Vous devriez voir une image renversée de la flamme à l'intérieur de la boîte, sur le côté opposé au sténopé. Lorsque vous avez une image claire, éloignez lentement la flamme, puis rapprochez-la en observant comment se modifie l'image. Comme sur une photographie, l'image rapetisse à mesure que la flamme s'éloigne de l'ouverture de l'appareil.

En résumé, un sténopé agit comme une source ponctuelle. Dans un appareil photographique à sténopé, la lumière qui pénètre dans le sténopé est réfléchiée par les objets placés en avant de l'appareil et, pour cette raison, elle transmet une image de ces objets au fond de la chambre noire.

LES SOURCES ÉTENDUES

Dans l'activité expérimentale, vous avez constaté qu'une source ponctuelle, assimilable à un point lumineux, produit une ombre bien définie des objets qu'elle éclaire. Vous avez également vu que le résultat est différent avec une source étendue; le contraste entre la zone d'ombre et la zone éclairée n'est pas aussi clairement défini.

L'éclairage de deux sources ponctuelles

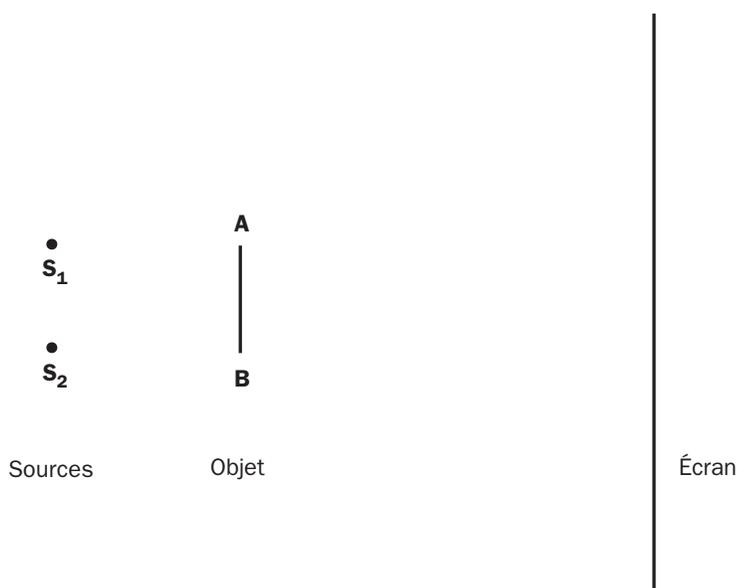
Afin de mieux saisir ce qui se passe avec une source étendue, considérons d'abord le cas d'un objet éclairé par deux sources ponctuelles. Nous généraliserons ensuite les résultats pour une source étendue.



Activité 1.2 - Éclairage déterminé par deux sources ponctuelles

Dans cette activité, nous déterminerons l'ombre produite par un objet éclairé par deux sources ponctuelles, tel qu'illustré dans la figure ci-dessous.

Figure 1.13 - Objet éclairé par deux sources ponctuelles



*Soit S_1 et S_2 , deux sources ponctuelles,
un obstacle en forme de disque circulaire de diamètre AB et un écran.*

- Sur la figure 1.13, tracez les rayons extrêmes issus de la source S_1 et hachurez verticalement toute la région en arrière de l'obstacle qui est dans l'ombre de S_1 . Remarquez que la situation est un peu différente de celle vue précédemment avec une source ponctuelle, parce que la source S_1 n'est pas alignée avec le centre de l'obstacle.
- Sur la même figure, tracez maintenant les rayons extrêmes issus de la source S_2 et hachurez horizontalement toute la région en arrière de l'obstacle qui est dans l'ombre de S_2 .

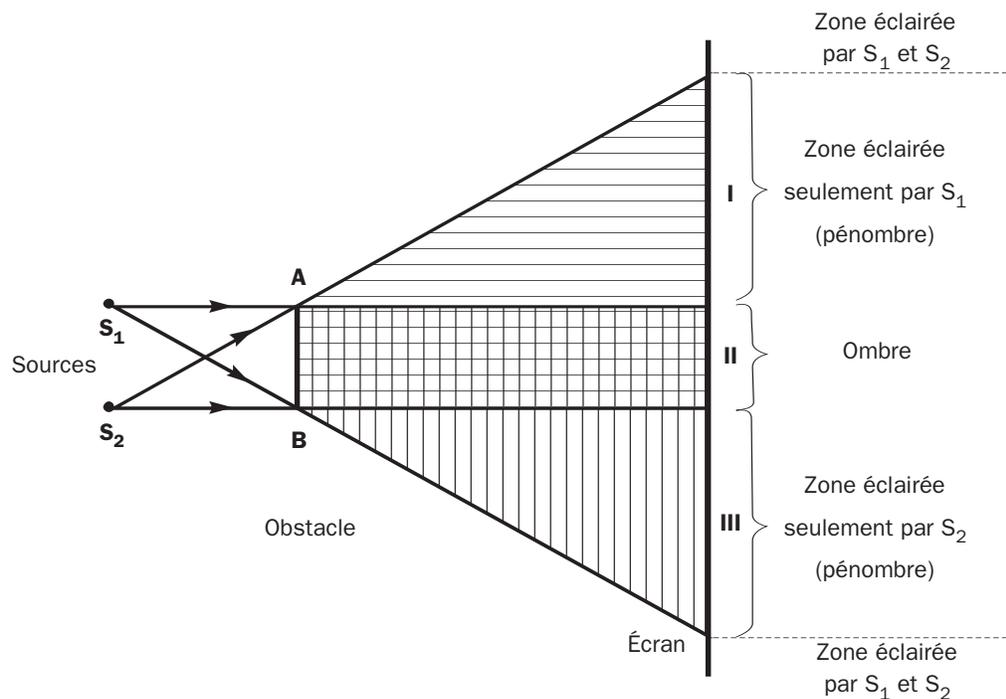
Identifions maintenant les trois régions distinctes obtenues à partir des tracés de rayons que vous avez faits. Les tracés devraient correspondre à ceux de la figure 1.14 qui résume la situation.

La région I est hachurée horizontalement seulement. Elle est dans l'ombre de la source S_2 , mais elle reçoit de la lumière de S_1 . Cette région est donc partiellement éclairée : on dit qu'elle est dans la **pénombre**.

La région II est hachurée horizontalement et verticalement. Elle est à la fois dans l'ombre de S_1 et dans l'ombre de S_2 . Cette région ne reçoit aucune lumière : elle est dans l'ombre.

La région III est hachurée verticalement seulement. Elle est dans l'ombre de S_1 , mais elle reçoit de la lumière de S_2 : cette région est partiellement éclairée, elle est dans la pénombre.

Figure 1.14 - Éclairage déterminé par deux sources ponctuelles



Les deux sources ponctuelles S_1 et S_2 déterminent une zone d'ombre au centre (II) entourée de pénombre (I et III).

Généralisation aux sources étendues

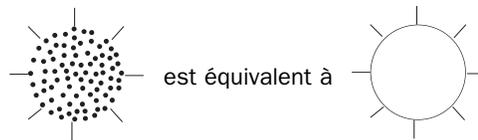
Supposons maintenant qu'on ajoute, entre les sources S_1 et S_2 , un grand nombre de sources ponctuelles très proches les unes des autres. L'ensemble de ces points formerait une source étendue de lumière (figure 1.15a). En considérant que la source étendue éclaire un obstacle, nous avons tracé les rayons extrêmes à partir des points S_1 et S_2 qu'on peut considérer comme des sources ponctuelles (figure 1.15b). Ces rayons s'appuient sur les bords de l'obstacle. Les rayons extrêmes provenant d'un point intermédiaire S , situé entre S_1 et S_2 , sont tracés en pointillés sur la figure 1.15c. On note qu'ils tombent dans la pénombre définie par S_1 et S_2 . En examinant bien, la zone d'ombre déterminée par S_1 et S_2 ne reçoit pas de lumière du point S . De plus, les zones éclairées à la fois par S_1 et S_2 sont aussi éclairées par S . On en déduit que seule la pénombre est affectée par les points lumineux situés entre S_1 et S_2 .

Autrement dit, si on traçait les rayons avec S' ou avec tout autre point de la source étendue, la situation serait semblable. Les rayons extrêmes aboutiraient à divers endroits, mais toujours dans la zone de pénombre définie par S_1 et S_2 . Les zones éclairées et la zone d'ombre ne seraient pas affectées. Tracez d'autres rayons si vous n'êtes pas convaincu.

Tous les points lumineux formant la source étant compris entre S_1 et S_2 , il suffit de considérer les rayons lumineux issus de S_1 et S_2 pour délimiter les différentes zones sur l'écran. La zone de pénombre n'est pas uniforme; elle est dégradée, plus sombre près de la zone d'ombre et plus claire à mesure qu'on se rapproche de la zone éclairée.

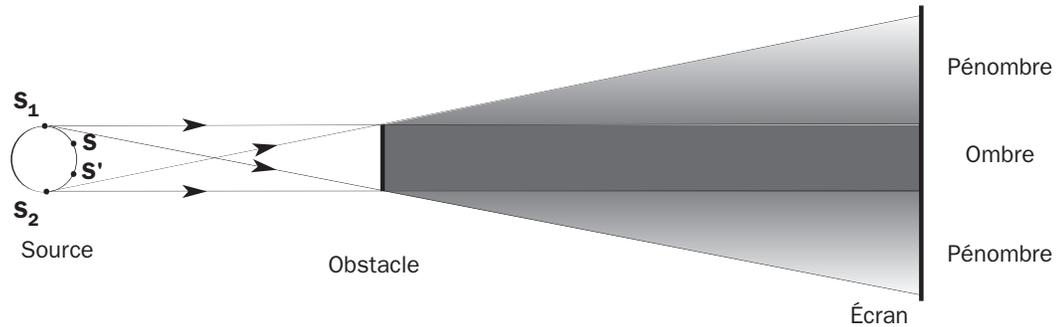
Figure 1.15 - Ombre et pénombre obtenues à partir d'une source étendue

a) Sources ponctuelles et source étendue



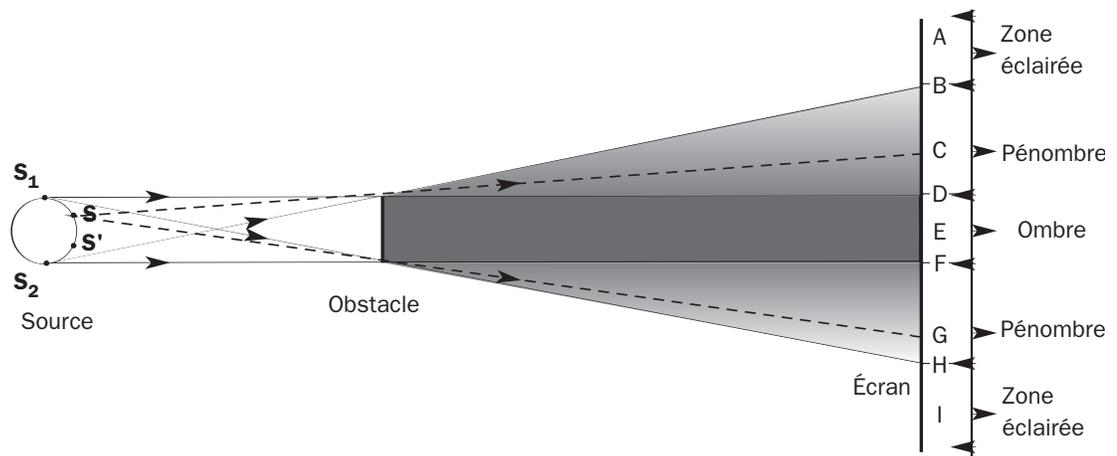
*Un ensemble de sources ponctuelles très rapprochées est équivalent à une source étendue.
Autrement dit, on peut considérer chaque point de la source étendue
comme une source ponctuelle.*

b) Représentation de profil



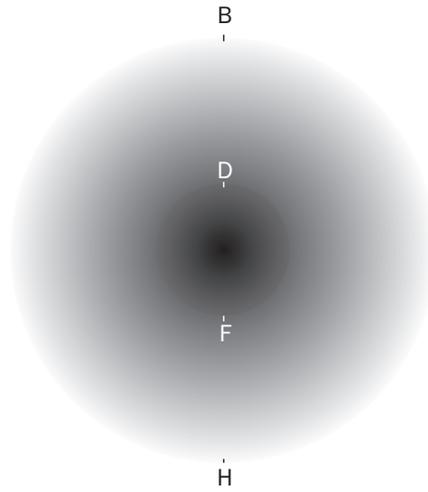
Les rayons extrêmes partant des points S_1 et S_2 de la source étendue sont tracés. Le résultat est semblable à celui que nous avons obtenu dans l'activité avec deux sources ponctuelles.

c) Représentation de profil



Les rayons extrêmes tracés à partir du point S tombent aux points C et G dans les zones de pénombre définies par les points S_1 et S_2 . Le point S ne produit donc aucune lumière dans la zone d'ombre définie par ces points (entre D et F) et il éclaire les zones éclairées (entre A et B et entre H et I). Seule la zone de pénombre est affectée ; elle sera un peu moins sombre près de la zone éclairée.

d) Représentation de face



Si l'obstacle est un disque, on obtient un cercle noir au centre de l'écran et, autour de ce cercle, une zone grise qui s'éclaircit à mesure qu'on s'en éloigne jusqu'à ce qu'on atteigne une zone blanche, pleinement éclairée.

Imaginons maintenant qu'un observateur se place là où se trouve l'écran et qu'il regarde en direction de la source. Les points mentionnés dans la description qui suit réfèrent aux positions indiquées à la figure 1.15c.

Si l'œil de l'observateur se trouve au-dessus de B sur l'écran, au point A par exemple, il est dans la zone éclairée et voit la source de lumière en entier. Les rayons provenant de S_1 et de S_2 , de même que les rayons provenant des points intermédiaires, parviennent à son œil sans rencontrer l'obstacle. Toute la lumière arrive à son œil.

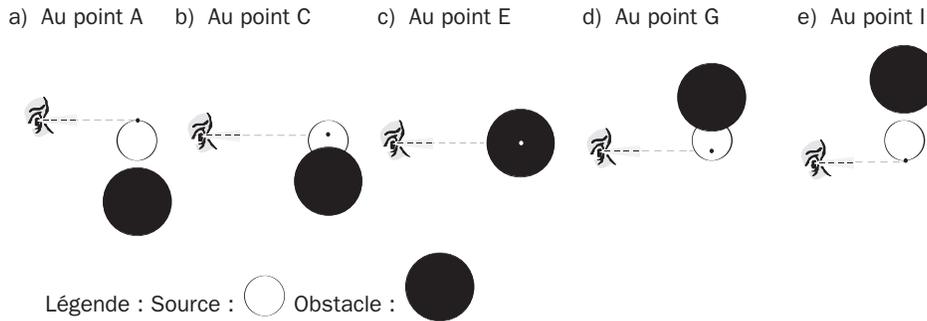
Si l'observateur se déplace jusqu'au point C situé entre B et D, dans la pénombre, il ne voit plus qu'une partie de la source. Les rayons provenant de S_2 et de la partie inférieure de la source sont bloqués par l'obstacle. À mesure que l'observateur descend vers D, une partie de plus en plus grande de la source disparaît à son regard : il est dans la pénombre.

Entre D et F, l'observateur ne peut rien voir de la source. Il est dans la zone d'ombre et aucune lumière ne parvient à son œil.

Lorsqu'il arrive au point F, l'observateur recommence à voir le bas de la source puis, en descendant vers H, la source se dévoile à ses yeux. Cette zone est partiellement éclairée : c'est de nouveau la pénombre.

En dessous de H, l'observateur voit de nouveau toute la source. Il se retrouve dans la zone totalement éclairée.

Figure 1.16 - Points de vue d'un observateur



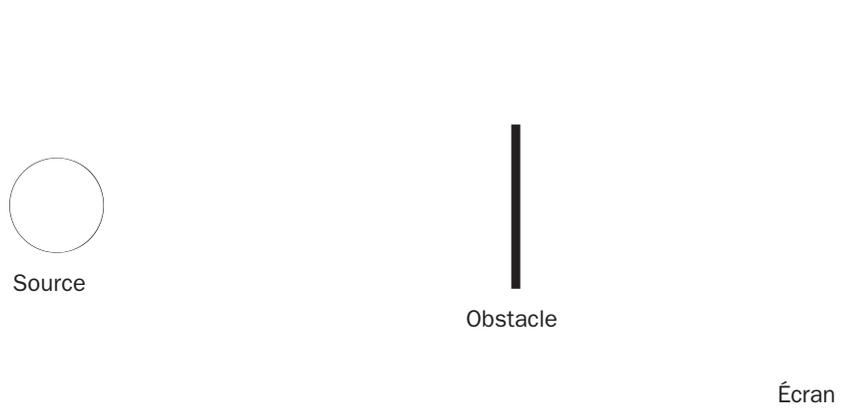
- a) L'œil de l'observateur est au point A, dans la zone éclairée, au-dessus de l'obstacle. La source est entièrement dans son champ de vision, au-dessus de l'obstacle.
- b) L'œil de l'observateur est au point C, dans la pénombre. La source est partiellement dans son champ de vision, au-dessus de l'obstacle.
- c) L'œil de l'observateur est au point E, dans l'ombre. La source est en arrière de l'obstacle.
- d) L'œil de l'observateur est au point G, de nouveau dans la pénombre. La source est partiellement dans son champ de vision, en dessous de l'obstacle.
- e) L'œil de l'observateur est au point I, dans la zone éclairée, sous l'obstacle. La source est entièrement dans son champ de vision, en dessous de l'obstacle.

Dans le cas illustré ci-dessus, le disque (obstacle) est plus grand que la source. Voyons ce qui se passe si la taille de l'obstacle est moins grande.

? Exercice 1.13

La figure ci-dessous illustre trois cas d'un disque éclairé par une source étendue. Selon le cas, la source est plus petite que le disque, de même grandeur ou plus grande que lui.

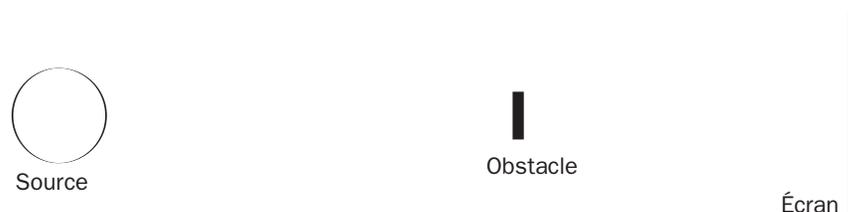
1^{er} cas : source plus petite que l'obstacle



2^e cas : source de même grandeur que l'obstacle



3^e cas : source plus grande que l'obstacle



Pour chacun des cas illustrés :

- tracez les quatre rayons qui déterminent les zones d'ombre et de pénombre sur l'écran ;
- identifiez les zones d'ombre et de pénombre sur l'écran ;
- comparez la grandeur de l'ombre et celle de l'obstacle en inscrivant, dans la 2^e colonne du tableau qui suit, si l'ombre est plus grande, de même grandeur ou plus petite que l'obstacle ;
- indiquez, dans les deux dernières colonnes du tableau, si les zones d'ombre et de pénombre diminuent, ne changent pas ou augmentent quand on recule l'écran.

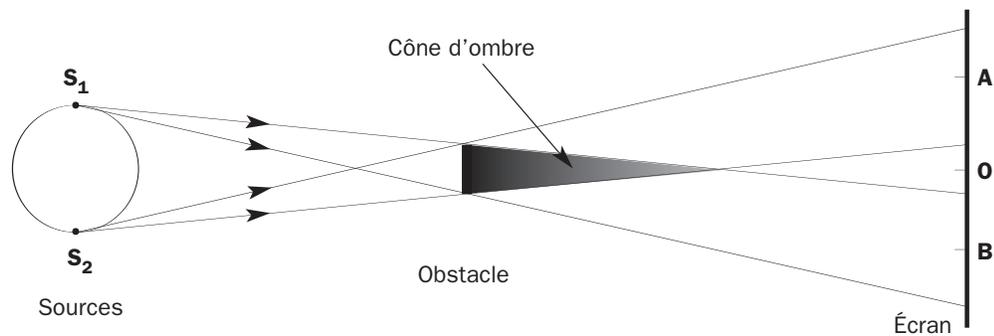
Cas considéré	Ombre	En reculant l'écran	
		Ombre	Pénombre
1. Source plus petite que l'obstacle			
2. Source de même grandeur que l'obstacle			
3. Source plus grande que l'obstacle			

Ainsi, lorsque la source est plus grande que l'obstacle, l'ombre est plus petite que l'obstacle. En reculant l'écran, la zone d'ombre diminue. Est-il possible qu'elle disparaisse complètement ? La figure 1.17a illustre le cas où l'écran est placé très loin en arrière de l'obstacle. Les rayons extrêmes ont été tracés à partir des points S_1 et S_2 de la source. Que se passe-t-il au point O ?

Pour savoir si le point O reçoit de la lumière, on trace des rayons à l'envers, en partant du point O, et qui s'appuient sur le bord de l'obstacle (figure 1.17b). Ces rayons atteignent les points S et S' de la source. Cela signifie que la lumière produite par les points S et S' parvient au point O. Il en va de même pour tous les points du pourtour de la source, tel qu'illustré sur la figure. Le point O n'est donc pas dans l'ombre. En réalité, seule la région en noir est dans l'ombre : on l'appelle **cône d'ombre**.

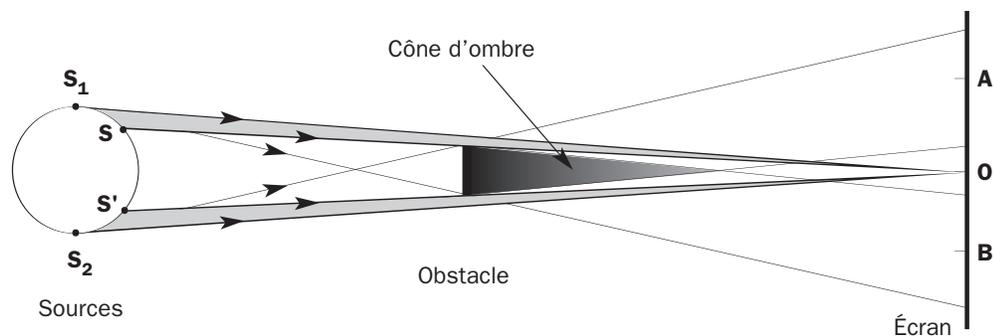
Figure 1.17 - Source plus grande que l'obstacle : cône d'ombre

a) Représentation de profil



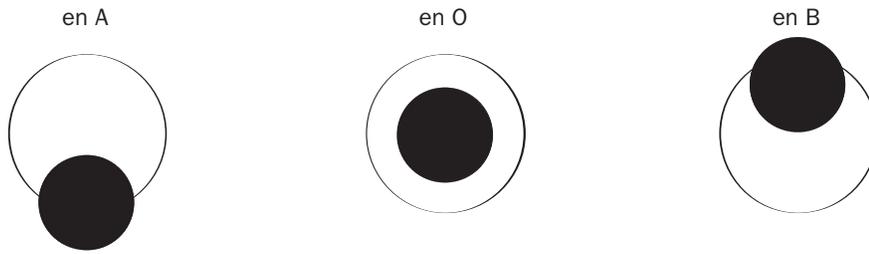
L'écran est placé loin en arrière de l'obstacle. Les rayons extrêmes produits par S_1 et S_2 délimitent un cône d'ombre.

b) Représentation de profil



Sur l'écran, le point O est éclairé par le pourtour de la source.

c) Représentation de face



Un observateur qui regarde vers la source a un point de vue différent selon qu'il se place en A, en O ou en B.

Les éclipses

Une éclipse est un exemple naturel et particulièrement spectaculaire du phénomène d'ombre et de pénombre. Le Soleil est la source de lumière, alors que la Terre et la Lune jouent tantôt le rôle d'obstacle, tantôt celui d'écran, selon qu'il s'agit d'une éclipse solaire ou d'une éclipse lunaire.

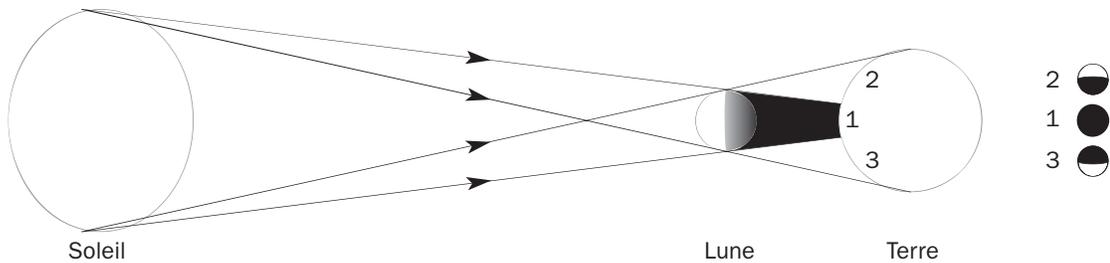
La Lune tourne autour de la Terre et la Terre tourne autour du Soleil. Dans leur parcours, il arrive que la Lune passe entre la Terre et le Soleil. Elle fait alors obstacle à la lumière, empêchant les rayons solaires d'atteindre la Terre. Le Soleil disparaît en arrière de la Lune et on assiste à une éclipse solaire.

Le Soleil est une source étendue de lumière dont le diamètre est beaucoup plus grand que celui de la Lune. On retrouve donc le cas où la source est plus grande que l'obstacle (figure 1.17). Ainsi, une éclipse solaire peut être totale ou partielle suivant l'endroit où on se trouve sur la Terre. Elle est totale et le Soleil disparaît complètement si on est dans la zone d'ombre. Par contre, l'éclipse est partielle si on se trouve dans la pénombre. L'éclipse n'est pas visible pour ceux qui sont dans la zone éclairée (figure 1.18a).

La situation est différente lors d'une éclipse lunaire. La Terre se trouve alors entre le Soleil et la Lune qui disparaît presque complètement de notre vue. La Lune passe dans le cône d'ombre formé en arrière de la Terre (figure 1.18c).

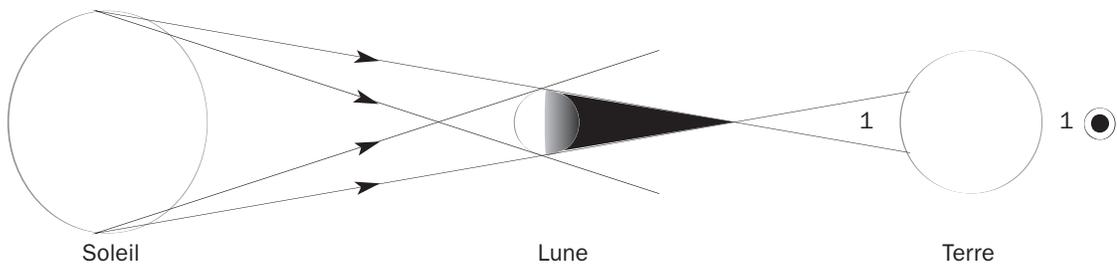
Figure 1.18 - Les éclipses solaire et lunaire

a) Éclipse solaire



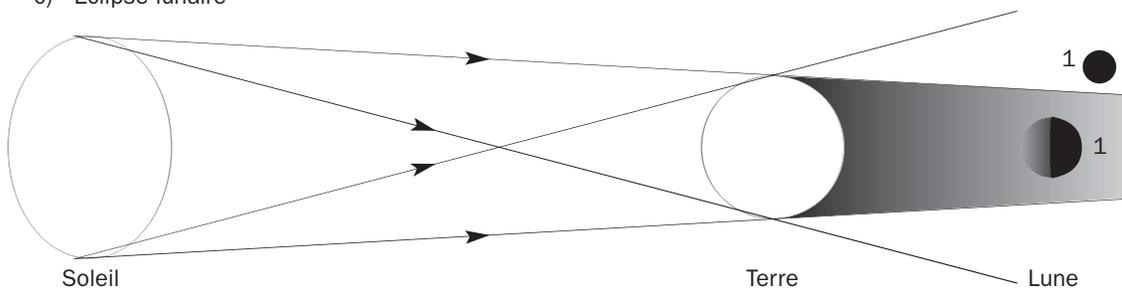
La Lune passe entre la Terre et le Soleil, créant une zone d'ombre (1) où l'éclipse est totale ; le Soleil disparaît complètement en arrière de la Lune pour les habitants de la zone d'ombre. L'éclipse est partielle dans les zones de pénombre (2 et 3). À droite du schéma sont illustrés les points de vue des observateurs placés dans les zones 1, 2 et 3.

b) Éclipse solaire



Les distances qui séparent la Terre, la Lune et le Soleil ne sont pas toujours les mêmes. Dans certaines conditions, la Terre peut donc se retrouver en arrière du cône d'ombre de la Lune. On reçoit alors la lumière du pourtour du Soleil et on observe une éclipse annulaire dans la zone 1.

c) Éclipse lunaire



La Lune se retrouve en arrière de la Terre qui fait obstacle aux rayons solaires. Entièrement dans le cône d'ombre, elle ne reçoit que la lumière déviée par l'atmosphère terrestre. À nos yeux, elle devient peu lumineuse et prend une teinte rouge cuivrée (voir aparté).

Les dessins ne sont pas à l'échelle.



Le phénomène des éclipses

Une éclipse totale est toujours un spectacle saisissant, à condition, bien sûr, que dame nature veuille bien nous offrir un ciel sans nuages. Les médias informent généralement le public sur les éclipses à venir. Voici un exemple où on annonçait une éclipse de Soleil partielle qui devait se produire au Québec, le 11 août 1999.

Lever de croissant de soleil le 11 août

L'éclipse de Soleil du 11 août sera totale en Europe, partielle au Québec. Et comme elle débutera ici peu avant l'aube, les Québécois auront droit à un spectacle rarissime : un lever de croissant de soleil.

Québec

05/08/1999 – Les Européens font grand cas de l'éclipse totale de Soleil qui doit avoir lieu au-dessus du continent le 11 août prochain. Ici, rien à ce sujet dans les médias. Il y aura pourtant une éclipse au Québec mercredi prochain. Elle ne sera pas totale, mais selon la région, de 50 à 80 % du disque solaire sera masqué. Et, fait inusité, comme l'éclipse commencera peu avant l'aube, nous aurons droit à un lever de croissant de soleil.

C'est un phénomène rarissime, selon André Grandchamps, astronome au Planétarium de Montréal. « Ce sera le second lever de croissant de soleil depuis 100 ans. C'est quelque chose qui ne se produit que deux ou trois fois par siècle. Le dernier a eu lieu le 2 octobre 1959. » Les éclipses, totales ou partielles, sont un phénomène rare, souligne-t-il. Il ne s'en produit que trois ou quatre par année. Et il est encore plus rare qu'elles se produisent à l'aube.

Il faudra être matinal pour voir l'éclipse. À Montréal, le Soleil se lèvera à 5 h 51 min. Au maximum de l'éclipse, à peu près 50 % de la surface du Soleil sera masquée. Le spectacle sera meilleur dans l'est du Québec. À Montmagny, par exemple, l'éclipse atteindra son maximum trois minutes seulement après le lever du jour. Près de 80 % du Soleil sera alors caché par la Lune. L'éclipse durera 40 minutes dans l'ouest du Québec, mais près de 90 minutes dans l'est.

[...]

Notons que la dernière éclipse totale de Soleil au Québec a eu lieu en juillet 1972. Son épicycle était en Gaspésie. La prochaine aura lieu le 8 avril 2024. Par contre, il y aura une éclipse partielle le 25 décembre 2000, ce qui nous changera de la dinde du réveillon. Les éclipses totales sont plus rares que les éclipses partielles : en moyenne, une ville donnée se trouve à l'épicentre d'une éclipse une fois tous les 325 ans.

Philippe Gauthier

pgauthier@cybersciences.com

Source : Philippe Gauthier, Cybersciences 1999.

Les éclipses constituent un phénomène qui a toujours fasciné l'humanité. Au Québec, la dernière éclipse totale de Soleil remonte au 10 juillet 1972, alors que l'éclipse du 10 mai 1994, bien que partielle, est reconnue comme la plus spectaculaire des dernières années. Les prochaines éclipses partielles de Soleil, visibles au Québec, auront lieu les 1^{er} août 2008 et 1^{er} juin 2011, alors que la prochaine éclipse totale de Soleil, visible au Québec, aura seulement lieu le 8 avril 2024.

Dans les prochaines années, des éclipses totales de Soleil auront lieu à différents endroits, soit le 21 juin 2001 à Madagascar, en Afrique, le 4 décembre 2002 en Afrique, dans l'Océan Indien et en Australie, le 23 novembre 2003 en Antartique, le 8 avril 2005 dans le Pacifique Sud et en Amérique Centrale, le 26 mars 2006 en Afrique et en Asie.



Exercice 1.14

Lors d'une éclipse, le Soleil, la Terre et la Lune agissent comme source, obstacle ou écran.

a) Lors d'une éclipse lunaire, quel rôle jouent le Soleil, la Terre et la Lune ?

b) Lors d'une éclipse solaire, quel rôle jouent le Soleil, la Terre et la Lune ?

c) Lors d'une éclipse solaire, dans quelles conditions observe-t-on une éclipse annulaire ?

1.4 – L'ÉCLAIREMENT

Après avoir parlé de l'ombre et de la pénombre, attardons-nous maintenant à la zone éclairée. Plus précisément, à la quantité de lumière qui frappe une surface et à la façon dont elle varie selon la distance qui sépare la source de la zone éclairée.

Vous êtes en train de travailler et vous vous rendez compte que l'éclairage n'est pas suffisant. Que faites-vous ? Vous remplacez l'ampoule par une autre plus puissante, vous approchez la source de lumière ou vous allumez une seconde lampe. On appelle **éclairement (E)** la quantité de lumière reçue par unité d'aire, c'est-à-dire par centimètre carré (cm²) ou encore par mètre carré (m²). L'éclairement donné par une source de lumière dépend de l'intensité de la source lumineuse et de la distance qui la sépare de l'objet éclairé. Ainsi, on peut augmenter l'éclairement sur notre table de travail en augmentant la quantité de lumière émise (ampoule plus puissante ou seconde lampe) ou en diminuant la distance entre la source de lumière et la surface de la table (approcher la lampe).

Voyons maintenant, à l'aide d'une analogie, comment varie l'éclairement fourni par une source lumineuse en fonction de la distance qui la sépare de la surface éclairée. Considérons la lumière comme étant constituée de petits grains de lumière émis par une source et qui se déplacent en ligne droite. Les grains de lumière frappent l'écran et éclairent une certaine surface. Si on éloigne l'écran de la source, la même quantité de lumière éclaire une plus grande surface. Chaque centimètre carré de surface reçoit moins de grains de lumière qu'au départ ; l'éclairement est donc plus faible lorsque l'écran est éloigné (figure 1.19).

Les grains de lumière se comportent un peu comme les gouttelettes lancées par un pistolet à peinture. Si on couvre une surface plus grande avec la même quantité de peinture, la couche de peinture appliquée est moins épaisse.

Supposons, par exemple, qu'on envoie un faisceau de 1 000 petites particules de peinture et, qu'à une certaine distance du pistolet à peinture, ce faisceau couvre une surface de 1 m². Cela fait 1 000 particules/m². Mais si on recule la surface à peindre de telle sorte que le faisceau couvre une surface 4 fois plus grande, on aura alors 1 000 particules pour 4 m², ce qui fait 250 particules/m², soit 4 fois moins de particules par mètre carré. On dit alors que le nombre de particules reçues par unité d'aire est inversement proportionnel à l'aire de la surface couverte.

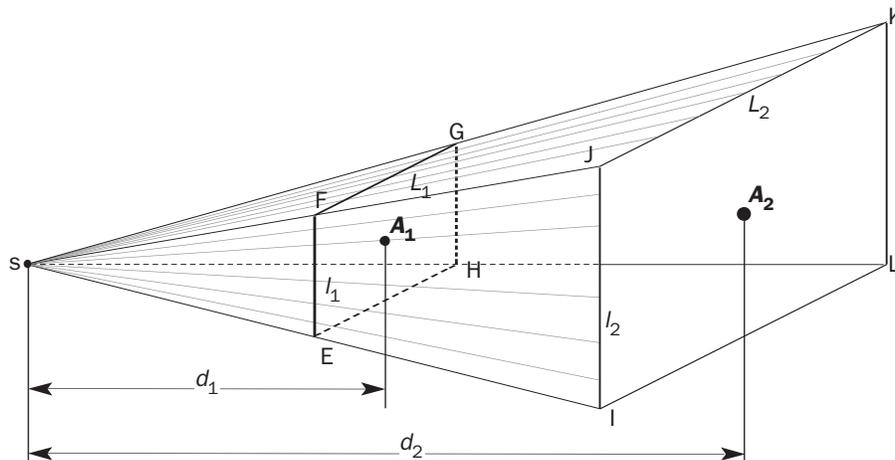
Il en va de même pour la lumière. Si on éloigne l'écran de sorte que le même faisceau éclaire quatre fois plus de surface, le nombre de grains de lumière au mètre carré est quatre fois moins grand. On dit que l'éclairement est quatre fois plus faible. Autrement dit, l'éclairement est inversement proportionnel à l'aire de la surface éclairée (A) par le faisceau ($E \propto 1/A$). Voyons maintenant à quelle distance on doit reculer l'écran pour que le faisceau éclaire une surface 4 fois plus grande.

Sur la figure 1.19, considérons les surfaces A_1 et A_2 situées respectivement à des distances d_1 et d_2 de la source. Ces surfaces sont semblables et le rapport de similitude est égal au rapport des distances. En mathématiques, un théorème⁵ énonce que les aires des polygones semblables sont entre elles comme le carré du rapport de similitude, c'est-à-dire comme le carré du rapport des mesures de deux segments homologues⁶. Donc, pour pouvoir couvrir une surface 4 fois plus grande, il faut que cette surface soit 2 fois plus loin.

5. Énoncé qui peut être démontré à l'aide d'un raisonnement.

6. Pour l'ensemble de ces relations, vous pouvez consulter : Asselin, Suzie et Serge Dugas, *Géométrie V*, MAT-5082-2, guide d'apprentissage produit par la SOFAD, ou l'annexe D de ce guide.

Figure 1.19 - Éclairement



Le faisceau émis par la source S éclaire l'aire A_1 à une distance d_1 . Si on recule l'écran à une distance d_2 , l'aire éclairée correspond à A_2 . En considérant les triangles semblables SEF et SIJ , on déduit que, si la distance d_2 est 2 fois plus grande que d_1 , le côté l_2 est 2 fois plus grand que l_1 . En faisant un raisonnement semblable, on déduit que L_2 est également 2 fois plus grand que L_1 . Or, l'aire $A_1 = L_1 \times l_1$ et l'aire $A_2 = L_2 \times l_2$; en faisant le calcul, on trouve que A_2 est 4 fois plus grande que A_1 . Ainsi, en doublant la distance entre la source et l'écran, la surface éclairée par le faisceau est 4 fois plus grande.

En résumé, à une distance 2 fois plus grande de la source, l'aire couverte par les grains de lumière est 4 fois plus grande, mais le nombre de particules reçues par unité d'aire est 4 fois plus petit. L'éclairement est donc 4 fois plus faible. On peut donc dire que l'éclairement (E), reçu à une distance (d) d'une source lumineuse, est inversement proportionnel au carré de cette distance.

$$E \propto \frac{1}{d^2}$$



Exercice 1.15

Un écran est placé à une certaine distance d'une ampoule électrique. On déplace l'écran à une distance trois fois plus grande de l'ampoule.

a) L'éclairement augmente-t-il ou diminue-t-il ?

b) L'éclairement sera combien de fois plus grand ou plus petit ?

On peut représenter graphiquement l'éclairement fourni par une source en fonction de la distance à cette source. Au laboratoire, on peut mesurer l'éclairement à l'aide d'un appareil appelé « luxmètre ». L'éclairement est mesuré en **lux (lx)**.

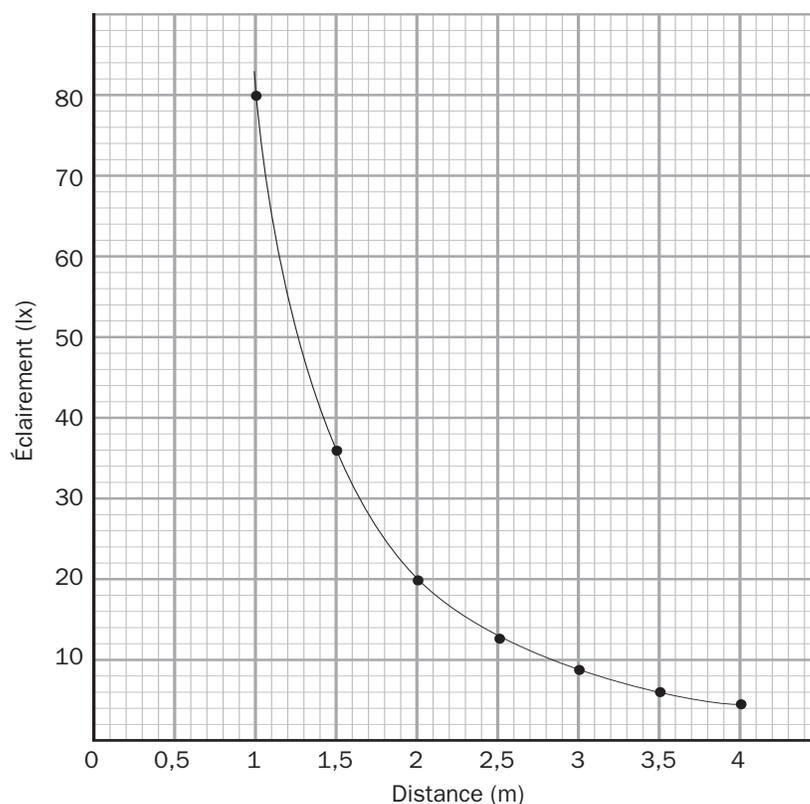
Nous avons mesuré pour vous l'éclairement fourni par une source de lumière à différentes distances de cette source. La figure 1.20 présente le tableau des résultats que nous avons trouvés et les courbes représentant l'éclairement en fonction de la distance.

Figure 1.20 - Éclairement en fonction de la distance

a) **Tableau de l'éclairement fourni et des distances correspondantes**

Distance (m)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Éclairement (lx)	-	-	80	36	20	13	9	6,5	5

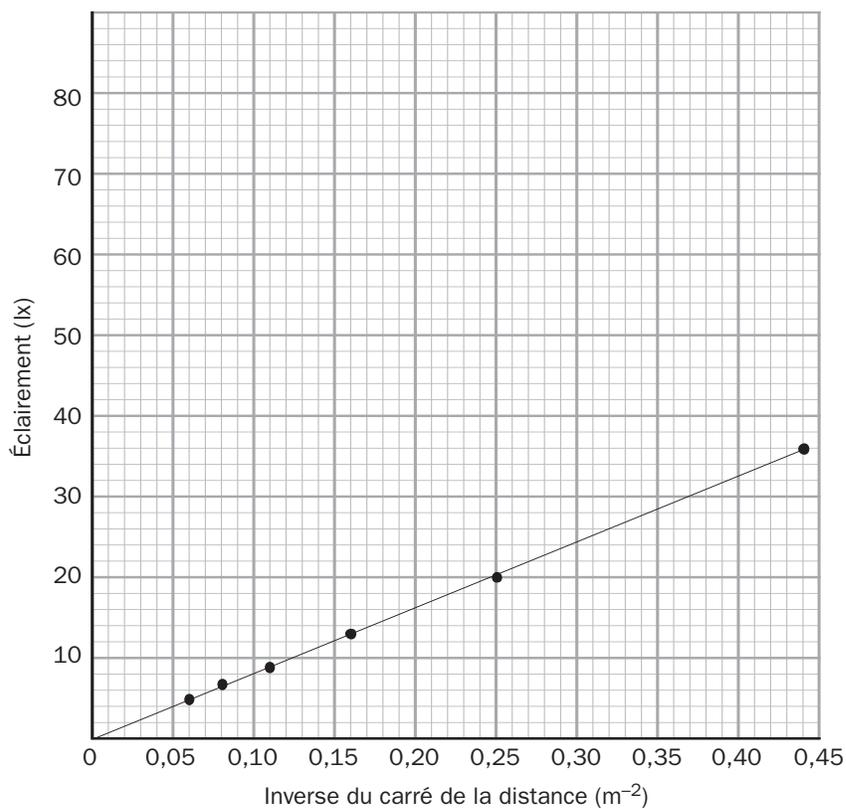
b) **Courbe de l'éclairement en fonction de la distance**



c) Tableau de l'éclairement fourni et de l'inverse du carré des distances ($1/d^2$) correspondantes

Inverse du carré de la distance (m^{-2})		4	1	0,44	0,25	0,16	0,11	0,08	0,06
Éclairement (lx)	-	-	80	36	20	13	9	6,5	5

d) Courbe de l'éclairement en fonction de l'inverse du carré de la distance ($1/d^2$)



En traçant la courbe de l'éclairement en fonction de l'inverse du carré de la distance ($1/d^2$), on obtient une droite ; cela confirme que $E \propto 1/d^2$.



Exercice 1.16

À l'aide de la courbe de l'éclairement en fonction de la distance (figure 1.20b), répondez aux questions suivantes :

a) Que devient l'éclairement quand on s'éloigne de la source ?

b) En comparant les éclairements reçus à 1 m et à 2 m, que peut-on dire sur l'éclairement lorsque la distance double ?

c) En comparant les éclairements reçus à 1 m et à 4 m, que peut-on dire sur l'éclairement lorsque la distance quadruple ?



Dans ce premier chapitre nous nous sommes demandés « D'où vient la lumière et où va-t-elle ? ». Cela nous a permis de classer les différentes sortes de sources lumineuses, d'expliquer le lien qui existe entre la lumière et la vision d'un objet, et d'observer comment se comporte la lumière dans la nature en abordant, entre autres, le phénomène des éclipses. Nous verrons, dans le chapitre suivant, comment se comporte la lumière quand elle rebondit sur les corps qu'elle rencontre et de quelle façon se forment les images dans un miroir plan.



MOTS CLÉS DU CHAPITRE

Champ de vision	Cône d'ombre
Éclairement (E)	
Faisceau	
Grandissement (Gr)	
Ombre	
Pénombre	Pinceau
Propagation rectiligne	
Rayon lumineux	
Source étendue	Source fluorescente
Source incandescente	Source lumineuse
Source ponctuelle	Sténopé



RÉSUMÉ

Les **sources lumineuses** sont des corps qui émettent de la lumière. On distingue les **sources incandescentes** dont l'émission de lumière s'accompagne d'un dégagement de chaleur, et les sources lumineuses (**fluorescente** ou phosphorescente) dont la lumière résulte de l'action d'un rayonnement. Les lasers produisent une lumière concentrée, ordonnée et orientée dans une direction précise. La lumière est une forme d'énergie. Les sources produisent de la lumière en convertissant une autre forme d'énergie, l'électricité par exemple.

L'œil peut voir un objet à condition qu'il soit éclairé et qu'aucun obstacle opaque ne le sépare de l'objet. Des rayons lumineux qui frappent l'objet rebondissent alors vers l'œil et y pénètrent. Le **champ de vision** d'un observateur correspond à la portion de l'espace qu'il peut voir. À travers une ouverture, le champ de vision est délimité par l'espace compris entre les rayons qui atteignent l'œil en s'appuyant sur les bords de l'ouverture.

La lumière se propage en ligne droite. Elle peut se présenter sous forme de **faisceau**, de **pinceau** ou de **rayon lumineux**. Le faisceau et le pinceau peuvent être convergents, divergents ou parallèles.

Une **source ponctuelle** est une source qu'on peut considérer comme un point lumineux. Lorsqu'on met un obstacle entre une source ponctuelle et un écran, on obtient l'**ombre** de l'obstacle sur l'écran placé en arrière de lui. La grandeur de l'ombre dépend des positions de la source, de l'obstacle et de l'écran, ainsi que de la grandeur de l'obstacle. On a :

$$\frac{h_e}{h_o} = \frac{d_e}{d_o}$$

où h_e représente la hauteur de l'ombre sur l'écran ;
 h_o , la hauteur de l'obstacle ;
 d_e , la distance entre la source et l'écran ;
 d_o , la distance entre la source et l'obstacle.

Un **sténopé** est un trou d'épingle pratiqué dans la paroi d'une chambre noire pour laisser passer la lumière. Un appareil photographique à sténopé donne une image renversée des objets placés en avant de l'appareil. Le **grandissement** obtenu correspond au rapport entre la hauteur de l'image et celle de l'objet. On a :

$$Gr = \frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

où Gr représente le grandissement ;
 h_i , la hauteur de l'image ;
 h_o , la hauteur de l'objet ;
 d_i , la distance de l'image à l'ouverture (sténopé) ;
 d_o , la distance de l'objet à l'ouverture.

Une **source** de lumière trop grande pour être assimilée à un point lumineux est dite **étendue**. Lorsqu'on met un obstacle entre une source étendue et un écran, la zone d'ombre est séparée de la zone éclairée par une zone de **pénombre** qui reçoit de la lumière d'une portion de la source seulement. Lorsque la source est plus grande que l'obstacle, il se forme en arrière de l'obstacle une zone non éclairée appelée **cône d'ombre**.

Une éclipse se produit lorsque la Terre, le Soleil et la Lune sont alignés. Si la Lune est entre la Terre et le Soleil, on a une éclipse solaire; si la Terre est entre la Lune et le Soleil, une éclipse lunaire.

L'éclairement (E) sur une surface correspond à la quantité de lumière reçue par unité de surface. L'éclairement est mesuré en lux (lx). Sa valeur dépend de l'intensité de la source de lumière et de la distance qui la sépare de l'écran. L'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance entre la source et l'écran. On note :

$$E \propto \frac{1}{d^2}$$

où E représente l'éclairement et d , la distance entre la source et l'écran.



EXERCICES DE SYNTHÈSE



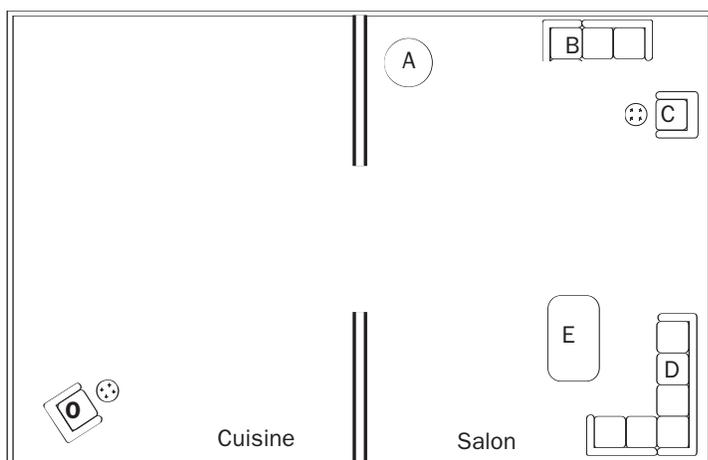
Exercice 1.17

Comment se fait-il que le Soleil, qui est une petite étoile, n'est pas une source ponctuelle comme les autres étoiles ?



Exercice 1.18

Un observateur est placé en O et regarde à travers la porte séparant la cuisine du salon, comme dans la figure suivante.



- Construisez les rayons qui délimitent le champ de vision de l'observateur à travers l'ouverture.
- Indiquez par des lettres quels meubles l'observateur ne peut pas voir.



Exercice 1.19

- À quelle époque les rues de Montréal ont-elles commencé à être éclairées à l'électricité ?

b) Donnez deux avantages de l'éclairage public des rues.

? Exercice 1.20

Une source lumineuse convertit en lumière une autre forme d'énergie. Quelle forme d'énergie est utilisée par les sources suivantes pour produire de la lumière ?

- a) Le Soleil _____
- b) L'ampoule incandescente _____
- c) Le tube fluorescent _____
- d) La plupart des sources de lumière artificielles _____
- e) La bougie _____

? Exercice 1.21

Un disque opaque est placé entre une source ponctuelle et un écran. Si on maintient la source fixe, quelles sont les deux façons d'augmenter la grandeur de l'ombre ?

? Exercice 1.22

Un obstacle est placé entre une source de lumière et un écran. Lorsqu'on recule l'écran, la surface de la zone d'ombre diminue et celle de la zone de pénombre augmente.

- a) La source est-elle ponctuelle ou étendue ? Justifiez votre réponse.

- b) Comparez la grandeur de la source à celle de l'obstacle.



Exercice 1.23

Un disque opaque de 20 cm de diamètre est placé à 50 cm d'une source ponctuelle et à 1,5 m d'un écran, entre la source et l'écran.

a) Faites le schéma illustrant la situation.

b) Calculez le diamètre de l'ombre obtenue.

? **Exercice 1.24**

Un appareil photographique à sténopé a une profondeur de 30 cm. Devant l'appareil, à quelle distance du sténopé doit-on placer un objet pour obtenir, sur la pellicule, une image 10 fois plus petite que l'objet ? Faites d'abord un schéma illustrant la situation.

? **Exercice 1.25**

On veut obtenir, sur un écran, une zone circulaire éclairée ayant 1 m de diamètre. Pour cela, on a une source ponctuelle de lumière et un carton percé d'un trou de 5 cm de diamètre.

- a) Faites un schéma représentant le montage qu'il faut effectuer. Représentez, sur le schéma, les rayons lumineux qui déterminent la zone éclairée sur l'écran.

- b) Calculez à quelle distance de la source on doit placer le carton si l'écran est à 3 m de la source.

On rapproche l'écran à 1,5 m de la source, sans déplacer le carton.

- c) La quantité de lumière qui atteint l'écran est-elle la même ?

- d) Déterminez le diamètre du cercle de lumière sur l'écran.

- e) L'éclairement est-il le même que lorsque l'écran était à 3 m de la source ? Si oui, expliquez. Si non, a-t-il augmenté ou diminué ? Par quel facteur ?
