



Université des sciences et de la technologie USTO-MB Oran

Département de Génie Physique

Faculté de Physique

**Polycopié de Cours, exercices résolus et 200 QCM**

**OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE**

**Destiné aux étudiants en:**

1ère année (LMD) en Sciences de la Nature et de la Vie (SNV)

1ère année Biomédical

2ème année (LMD) en Sciences de la Matière (SM)



Elaboré par:

**Dr: BELKHARROUBI - FADILA**

Année universitaire 2022 -2023

## Avant-propos

C'est avec un immense enthousiasme que je vous présente ce polycopié intitulé "**Optique Géométrique**". Conçu spécialement pour les étudiants de première année en tronc commun biomédical, de première année (LMD) en Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) et de deuxième année (LMD) en Sciences de la Matière (SM), cet ouvrage a pour vocation de vous offrir une approche complète et accessible des principes fondamentaux de l'optique géométrique.

Composé de six chapitres distincts, ce polycopié aborde l'ensemble des concepts et des applications qui forment la base de l'étude des phénomènes optiques. Le premier chapitre a pour ambition d'établir les notions fondamentales de la lumière. Vous y découvrirez les propriétés ondulatoires et corpusculaires de la lumière, ainsi que les mécanismes de propagation qui en découlent. Le deuxième chapitre, quant à lui, est dédié aux dioptries plan et aux miroirs plans. Vous y étudierez les lois de réflexion et de réfraction, ainsi que les propriétés de l'image formée par ces éléments optiques essentiels. Des exemples concrets et des exercices corrigés viendront illustrer ces concepts. Le troisième chapitre nous plonge dans l'univers des miroirs sphériques. Vous apprendrez à maîtriser les calculs de distances focales et à comprendre le phénomène de la réflexion à ces surfaces courbées. Le quatrième chapitre est consacré aux dioptries sphériques, où vous explorerez les subtilités de la réfraction à travers des surfaces incurvées. Des exemples pratiques et des applications concrètes vous aideront à consolider vos connaissances. Le cinquième chapitre s'attarde sur les lentilles minces, vous permettant d'appréhender les règles de construction des images et de déterminer les grandeurs caractéristiques des lentilles. Vous découvrirez également les divers types de lentilles et leurs applications. Enfin, le sixième chapitre traite de l'œil en optique. Vous plongerez dans la complexité de l'organe de la vision, en étudiant les mécanismes de focalisation et les troubles de la vision.

Cet ouvrage a été conçu avec soin pour répondre à vos besoins d'apprentissage. En plus des explications détaillées, vous trouverez une multitude d'exercices corrigés pour mettre en pratique vos connaissances. De plus, plus de 200 questions à choix multiples (QCM) corrigées sont mises à votre disposition pour vous permettre de vous évaluer et de progresser.

Je vous souhaite une lecture enrichissante et un succès éclatant dans vos études en optique géométrique.

**Dr: BELKHARROUBI - FADILA**

# Sommaire

## Chapitre I : Notions fondamentales sur la lumière

|  |    |
|--|----|
| I.1. Les Phénomènes lumineux   | 2  |
| I.2. Source lumineuse  | 3  |
| I.2.1.- Source primaire  | 3  |
| I.2.2.- Source secondaire  | 4  |
| I.3. Les type de milieux   | 4  |
| I.3.1. Milieux transparent   | 5  |
| I.3.2. Milieu opaque   | 5  |
| I.3.3. Milieux translucide   | 5  |
| I.4. La lumière et ses propriétés  | 5  |
| I.4.1. Définition  | 5  |
| I.4.2. Aspects de la lumière.  | 5  |
| I.4.2.1. Aspect ondulatoire de la lumière.                                     | 5  |
| I.4.2.2. Aspect particulaire de la lumière                                     | 7  |
| I.4.3. Propriétés de la lumière  | 8  |
| I. 5. Propagation de la lumière et rayon lumineux                              | 10 |
| I.5.1. Propagation de la lumière   | 10 |
| I.5.2. Rayon lumineux, faisceau lumineux et pinceau lumineux                   | 11 |
| I.6. Objectives de l'optique géométrique                                       | 13 |
| I.7. Limite de l'optique géométrique   | 13 |
| I.8. Les Phénomènes lumineux: Diffusion, réflexion et réfraction de la lumière | 14 |
| I.8.1. La diffusion de la lumière  | 14 |
| I.8.2. La réflexion de la lumière:   | 14 |
| I.8.3. La Réfraction de la lumière:  | 14 |
| I.9. Loi de Snell-Descartes  | 15 |
| I.10. Système optique  | 16 |
| I.11. Réel ou virtuel?   | 16 |
| I.11.1. Image réelle et virtuelle  | 17 |
| I.11.2. Objets réel et virtuel   | 17 |
| I.11.3. Espaces objet et image   | 18 |
| I.12. Le stigmatisme   | 18 |
| I.12.1. Le stigmatisme rigoureux: image optique                                | 18 |
| I.12.2. Stigmatisme approché - Approximation de Gauss                          | 19 |

|   |    |
|---|----|
| I.13. Aplanétisme   | 20 |
| <b>QCM</b>  | 20 |
| <br>  |    |
| <b>Chapitre II : Miroir plan &amp; dioptre plan</b>                 |    |
| <b>La réflexion et les miroirs plans</b>                            |    |
| II. 1. Les miroirs plans  | 30 |
| II. 1. 1. Principe de la réflexion de la lumière                    | 30 |
| II.1.1.1. Réflexion Spéculaire                                      | 30 |
| II.1.1.2. Réflexion Diffuse   | 30 |
| II.1.2. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion                    | 31 |
| II.1.3. Loi du retour inverse de la lumière                         | 32 |
| II.1.4. Définition du champ de vision d'un miroir                   | 33 |
| II.1.5. Objet réel. Objet virtuel. Image réelle. Image virtuelle    | 33 |
| II.1.6. Formule de conjugaison du miroir plan                       | 34 |
| II.1.7. Applications de la réflexion                                | 36 |
| <b>QCM</b>  | 36 |
| <b>Exercices corrigés</b>   | 40 |
| <b>La réfraction et les dioptries plans</b>                         |    |
| II. 2. Les dioptries plans  | 47 |
| II.2.1. Indice de réfraction absolu et indice de réfraction relatif | 47 |
| II.2.1.1. Indice de réfraction absolu                               | 47 |
| II.2.1.2. Indice de réfraction relatif                              | 48 |
| II.2.2. Principe de la réfraction de la lumière                     | 48 |
| II.2.2.1. Angle limite, réflexion totale                            | 50 |
| II.2.2.1.1. Angle de réfraction limite                              | 50 |
| II.2.2.1.2. Réflexion totale  | 51 |
| II.2.3. Formule de conjugaison du dioptre plan                      | 52 |
| II.2.4. Applications de la réfraction de la lumière                 | 53 |
| <b>QCM</b>  | 53 |
| <b>Exercices corrigés</b>   | 58 |
| <b>Le prisme</b>  |    |
| II.3. Prisme (optique) – Définition                                 | 65 |
| II.3.1. Formules d'un prisme et marche des rayons                   | 66 |
| II.3.2. Conditions d'émergence d'un rayon du prisme                 | 68 |
| II.3.3. La dispersion de la lumière                                 | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| II.3.4. Le stigmatisme   | 70  |
| <b>QCM</b>   | 71  |
| <b>Exercices corrigés</b>  | 74  |
| <br>   |     |
| <b>Chapitre III : Miroir sphérique</b>   |     |
| III.. Miroir sphérique   | 79  |
| III. 1. Un miroir sphérique : Définition   | 79  |
| III. 2. Stigmatisme approché. Conditions de Gauss                                    | 80  |
| III. 3. Relations de conjugaison- Grandissement                                      | 81  |
| III. 3.1. Relations de conjugaison   | 81  |
| III. 3.2. Grandissement.   | 82  |
| III. 4. Les points particuliers d'un miroir sphérique                                | 82  |
| III. 5. Construction des rayons dans les conditions de Gauss                         | 85  |
| III..6. Espace objet/image réel/virtuel  | 86  |
| III. 7. Construction géométrique de l'image d'un objet à travers un miroir sphérique | 87  |
| <b>QCM</b>   | 89  |
| <b>Exercices corrigés</b>  | 94  |
| <br>   |     |
| <b>Chapitre IV : Dioptré sphérique</b>   |     |
| IV. Dioptré sphérique  | 102 |
| IV.1. Dioptré sphérique: Définition:   | 102 |
| IV.2. Stigmatisme approché   | 103 |
| IV.3. Image d'un point situé sur l'axe optique dans les conditions de Gauss          | 103 |
| IV.4. Equation de conjugaison  | 105 |
| IV.4.1. Formule de conjugaison avec origine au centre                                | 105 |
| IV.4.2. Formule de conjugaison avec origine au sommet                                | 103 |
| IV.4.3. Formule de conjugaison avec origines aux foyers                              | 103 |
| IV.5. Foyers du dioptré sphérique  | 108 |
| IV.5.1. Foyer objet F  | 108 |
| IV.5.2. Foyer image F'   | 108 |
| IV.6. Dioptré convergent, dioptré divergent  | 109 |
| IV.6.1. Dioptré convergent   | 110 |
| IV.6.2. Dioptré divergent  | 110 |
| IV.7. Grandissement $\gamma$ avec origine au sommet                                  | 110 |
| IV.8. Construction géométrique de l'image  | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>QCM</b>   | 112 |
| <b>Exercices corrigés</b>  | 115 |
| <br>   |     |
| <b>Chapitre V : Les lentilles minces</b>                         |     |
| V. Les lentilles minces  | 124 |
| V.1. Les lentilles minces: Définition                            | 124 |
| V.2.Types de lentilles   | 124 |
| V.3.Points particuliers et grandeurs caractéristiques            | 125 |
| V.3.1. Centre optique  | 125 |
| V.3.2. Foyers  | 126 |
| V.4. .Distance focale, vergence                                  | 127 |
| V.4.1. Distance focale image                                     | 127 |
| V.4.2. Distance focale objet                                     | 128 |
| V.4.3. Vergence  | 128 |
| V.5. Propriétés des rayons passant par les foyers, rayons utiles | 129 |
| V.5.1. Les rayons principaux dans une lentille divergente        | 129 |
| V.5.2. Les rayons principaux dans une lentille convergente       | 129 |
| V.6. Relations de grandissement et de conjugaison.               | 130 |
| V.6.1. Relation du grandissement                                 | 130 |
| V.6.2. Relations de conjugaison (origine au foyer)               | 131 |
| V.7. Des constructions pour toutes les configurations            | 132 |
| V.7.1. Cas d'une lentille convergente                            | 132 |
| V.7.2. Cas d'une lentille divergente                             | 134 |
| <b>QCM</b>   | 135 |
| <b>Exercices corrigés</b>  | 139 |
| <br>   |     |
| <b>Chapitre VI: L'œil...</b>                                     |     |
| VI.1. L'œil : l'organe de la vision                              | 152 |
| VI. 2.L'œil modèle réduit:                                       | 155 |
| VI.3. Modèle simplifié d'un œil                                  | 156 |
| VI. 4. Fonctionnement de l'œil.                                  | 156 |
| VI. 4.1-Formation d'une image sur la rétine                      | 156 |
| VI. 4. 2. Vision à l'infini                                      | 156 |
| VI. 4. 3. Vision rapprochée : l'accommodation.                   | 157 |
| VI. 4. 4. Limites de l'accommodation                             | 157 |

|   |     |
|---|-----|
| VI. 5. Les défauts de l'œil et leurs corrections            | 158 |
| VI. 5.1. Les caractéristiques optiques de l'œil normal      | 158 |
| VI. 5.2. Les défauts optiques de l'œil et leurs corrections | 158 |
| VI.5.2.1. La myopie   | 159 |
| VI.5.2.2. L'hypermétropie                                   | 160 |
| VI.5.2..3. La presbytie                                     | 161 |
| VI.5.2.4. L'Astigmatisme                                    | 162 |
| <b>QCM</b>  | 164 |
| <b>Exercices corrigés</b>                                   | 169 |
| Références  | 175 |

# Chapitre I

## Notions fondamentales sur la lumière



## Notions fondamentales sur la lumière

### I.1 Les Phénomènes lumineux :

Les **phénomènes lumineux** regroupent tout événement observable résultant de l'interaction entre la lumière et la matière. La question de la nature de la lumière trouve ses origines dans l'Antiquité. Des penseurs tels que Pythagore, Démocrite et Aristote avaient déjà élaboré des théories sur la lumière, et la notion de propagation en ligne droite était déjà connue d'Euclide dès 300 ans av. J.C. Cependant, la chute de l'Empire romain en 475 ap. J.C. a considérablement ralenti le progrès scientifique. Il faudra attendre la fin du 16ème siècle pour assister à une renaissance de la physique, période marquée par d'importants progrès à la fois sur le plan expérimental et théorique en optique. Sur le plan théorique, deux conceptions se sont affrontées. **Isaac Newton**, pionnier de la mécanique classique, a défendu une description corpusculaire de la lumière. Selon lui, le phénomène de diffraction de la lumière rapporté dans l'ouvrage posthume du **père Grimaldi** en 1665 s'explique par une inflexion de la lumière par la matière, illustrant ainsi une vision purement mécaniste. À la même époque, **Christiaan Huygens** a plaidé en faveur d'une description ondulatoire de la lumière. Toutefois, le succès des Principia Mathematica et la renommée de Newton dans le monde scientifique ont probablement ralenti l'acceptation de la théorie ondulatoire. Il faudra plus d'un siècle pour que les idées d'Huygens soient pleinement reconnues.

Parmi les jalons historiques marquants liés aux progrès en optique géométrique, on peut citer:

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>1590</b>      | <b>Zacharias Janssen</b> invente le microscope  |
| <b>1609-1610</b> | <b>Galileo Galilei</b> construit une lunette astronomique avec laquelle il découvrira les taches solaires et 3 satellites de Jupiter (Callisto, Europe, Ganymède) |
| <b>1611</b>      | <b>Johannes Kepler</b> découvre la réflexion totale interne, une loi de la réfraction pour de petits angles et les lois des lentilles minces.                     |
| <b>1613</b>      | <b>Galileo Galilei</b> démontre la rotation du soleil grâce à l'observation des taches solaires.  |
| <b>1621</b>      | L'astronome néerlandais <b>Willebrord Snell</b> découvre les lois de la réfraction.   |
| <b>1637</b>      | <b>René Descartes</b> démontre mathématiquement que les angles des arcs-en-ciel primaires et secondaires dépendent de l'angle d'élévation du soleil.              |
| <b>1357</b>      | <b>Pierre de Fermat</b> introduit le principe du temps minimal en optique.  |
| <b>1665</b>      | Le Père <b>Grimaldi</b> constate qu'au contour des obstacles ou au bord d'un trou, la lumière subit un éparpillement, et appelle ce phénomène diffraction         |

|      |  |
|------|--|
| 1676 | L'astronome danois <b>Ole Rømer</b> compile les orbites des lunes de Jupiter pour mesurer la vitesse de la lumière qu'il estime à un diamètre de l'orbite terrestre en 22 minute |
| 1678 | <b>Christian Huygens</b> introduit le principe de sources de front d'ondes.  |
| 1704 | <b>Isaac Newton</b> publie <i>Opticks</i> , ouvrage dans lequel il expose une théorie corpusculaire de la lumière  |

On sait maintenant que **la lumière**, sous sa forme d'énergie lumineuse, est une forme de **rayonnement électromagnétique** qui se propage à travers l'espace sous forme de vagues ou de **photons**. Elle est visible par l'œil humain et est responsable de la sensation visuelle. L'énergie lumineuse se manifeste sous différentes longueurs d'onde, créant ainsi différentes couleurs. Dans le spectre visible, les longueurs d'onde vont du violet (courte longueur d'onde) au rouge (longue longueur d'onde).

La **lumière** peut être **émise** par des sources lumineuses telles que le Soleil, les ampoules, les écrans de télévision, et bien d'autres. Elle peut être **réfléchie, réfractée, diffractée**, ou encore **absorbée** par des objets, ce qui donne lieu à divers phénomènes optiques. L'énergie lumineuse est également utilisée dans de nombreuses applications, notamment en photographie, en communication optique (fibres optiques), en médecine (imagerie médicale), et dans de nombreuses technologies de pointe.

## I.2. Source lumineuse :

Par définition une source de lumière est corps qui émet (c'est à dire qui projette) de la lumière autour de lui. On distingue deux sortes de **source de lumière**

### I.2.1.- Source primaire

**Définition** : Une source primaire de lumière est un objet ou un dispositif qui génère sa propre lumière grâce à des processus intrinsèques.

**Exemple** : Le Soleil est l'exemple le plus courant de source primaire de lumière. Il produit de la lumière par des réactions nucléaires qui se déroulent à l'intérieur de son noyau. Le Soleil émet une grande quantité de lumière et fournit la majeure partie de la lumière naturelle que nous recevons sur Terre. D'autres exemples de sources primaires de lumière incluent les ampoules électriques, les bougies et les étoiles.

**Exemples:** Soleil, lampes, méduse



Figure I.1: Source primaire de lumière

**I.2.2.- Source secondaire: Les objets diffusants.**

**Définition :** Une source secondaire, ou objet diffusant, est un objet qui ne produit pas sa propre lumière mais qui est capable de réfléchir, diffuser ou transmettre la lumière provenant d'une source primaire.

Un **objet diffusant** n'est donc une source de lumière que lorsqu'il est lui même éclairé par une source primaire ou par un autre objet diffusant.

**Exemple:** La Lune, éclairée par le Soleil, ainsi que les autres planètes du système solaire sont des objets diffusants tout comme un écran de cinéma éclairé par un projecteur.

En fait tout les objets (et les personnes) qui nous entourent sont des objets diffusant car ils diffusent la lumière des lampes ou celle du Soleil



Figure I.2: La lune: source secondaire de lumière

**I.3. Les type de milieux :**

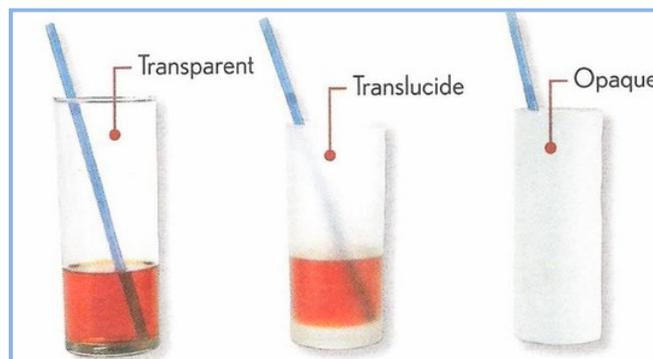


Figure I.3: Opaque, translucide ou transparent

**I.3.1. Milieu transparent** : On voit nettement les objets.

**Exemple** : Air, eau, verre

**I.3.2. Milieu opaque** : on ne voit pas les objets

**Exemple** : Mur, bois, carton

**I.3.3. Milieu translucide** : laisse passer la lumière mais on ne voit pas nettement.

**Exemple** : Verre dépoli

## I.4. La lumière et ses propriétés

### I.4.1. Définition:

La **lumière** est l'ensemble des ondes électromagnétiques visibles par l'œil humain, c'est-à-dire comprises dans des longueurs d'onde de 380nm (violet) à 780nm (rouge). La lumière est donc une forme d'énergie rayonnante.

La **lumière** est une onde électromagnétique (EM): elle correspond à la vibration d'un « champ électrique » et d'un « champ magnétique ».

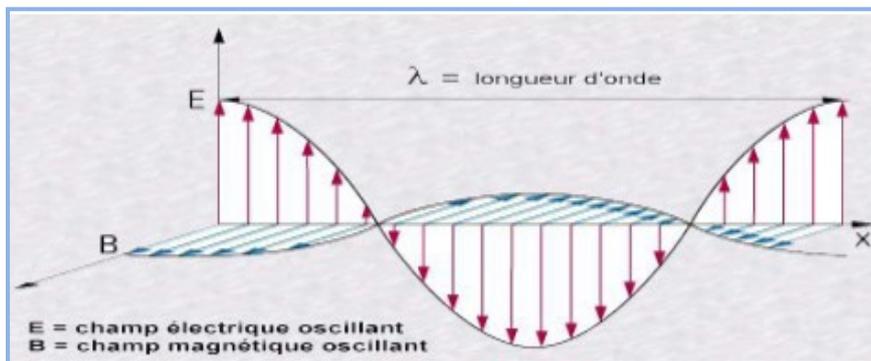


Figure I.4: Onde électromagnétique

La **lumière** est essentielle à la vie: la lumière joue un rôle essentiel dans la libération de l'oxygène et la formation de l'atmosphère que nous connaissons par la **photosynthèse**, les plantes captent le gaz carbonique et libèrent de l'oxygène.

La **lumière** permet notamment la **vision**: par exemple l'homme possède une vision trichomate, c'est-à-dire formée autour de trois couleurs de base, à savoir le rouge, le vert et le bleu. En combinant ces trois couleurs, l'homme peut voir 1 à 2 millions de couleurs différentes.

### I.4.2. Aspects de la lumière.

#### I.4.2.1. Aspect ondulatoire de la lumière.

Jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle, il fut tenu pour acquis que la lumière était une onde.

James Clerk Maxwell (physicien et mathématicien écossais) démontra, grâce aux équations qui portent son nom, que la lumière était une onde électromagnétique.

De nombreux phénomènes tels que les interférences et la diffraction ne peuvent être expliqués que si la lumière est une onde. Ainsi, comme toute onde, la lumière est définie par une **célérité**, une **longueur d'onde**, un période et donc une **fréquence**. La lumière correspond aux ondes électromagnétiques de longueurs d'ondes visibles par l'œil humain. La couleur perçue par l'œil dépend de cette longueur d'onde

### En générale:

- L'onde lumineuse résulte de la propagation d'une perturbation électromagnétique dans les milieux transparents.
- Les ondes lumineuses périodiques sont appelées des radiations.
- Contrairement aux ondes mécaniques, la propagation des ondes lumineuses ne nécessite pas de support matériel.
- La lumière peut se propager dans le vide.
- La lumière est une onde transversale: la direction de propagation est perpendiculaire à la direction de la perturbation.

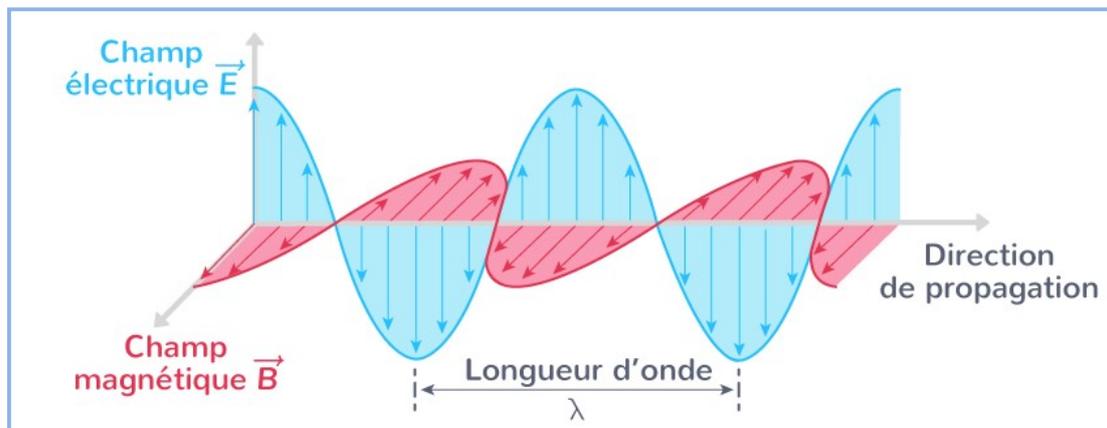


Figure I.5: Direction de propagation de la lumière.

- L'onde lumineuse résulte de la propagation simultanée d'une perturbation électrique et d'une perturbation magnétique.
- Dans le vide ou dans les milieux transparents homogènes, la lumière se propage en ligne droite.
- **Une radiation lumineuse est caractérisée par:**
  - Sa fréquence  $\nu$  (en Hz) ou sa période  $T$  (en s).
  - Sa longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$ .
- Relation fondamentale:

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| $\lambda_0 = cT = \frac{c}{\nu}$ | $\lambda_0$ : longueur d'onde dans le vide (m)                |
|                                  | $c$ : vitesse de la lumière dans le vide ( $m \cdot s^{-1}$ ) |
|                                  | $T$ : période (s)   |
|                                  | $\nu$ : fréquence (Hertz)                                     |

➤ Les domaines d'application.

- Le domaine de radiations lumineuses visibles s'étend de 400 nm (violet) à 780 nm (rouge).

- Domaine de fréquences correspondant:

$$400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780 \text{ nm}$$

- Spectre des ondes électromagnétiques:

- Le spectre des ondes électromagnétiques est découpé, de façon arbitraire, en divers domaines.

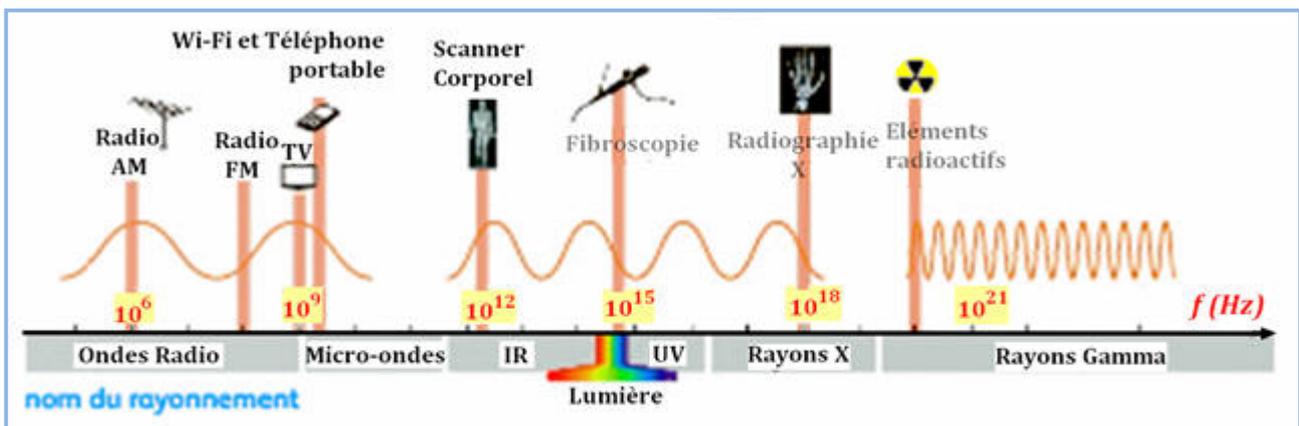


Figure I.6: Le spectre des ondes électromagnétiques

### I.4.2.2. Aspect particulière de la lumière:

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, l'étude des interactions de la lumière avec la matière conduit à découvrir un certain nombre de phénomènes qui ne peuvent pas être expliqués par sa nature ondulatoire. En particulier l'effet photoélectrique (émission d'électrons par une matière exposée à une lumière ou un autre rayonnement électromagnétique) fût interprété par Einstein. Il fit l'hypothèse que l'énergie de la lumière est **quantifiée** et que chaque **quanta d'énergie** est associée à une particule de **lumière** qui fut nommée "**photon**". Ainsi, certains phénomènes nécessitent de considérer que la lumière est composée d'un flux de photons. L'aspect corpusculaire de la lumière explique sa faculté à se propager dans le vide, ce qui n'est pas le cas d'une onde mécanique.

## De façon générale

- L'énergie de la lumière est transportée par des photons qui présentent un aspect particulaire et un aspect ondulatoire.
- L'énergie d'un photon est donnée par la relation:

$$E = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$

Avec

**E**: énergie du photon (en J)

**$\nu$**  ; Fréquence (en Hz)

**h**: Constante de Planck:  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  J.s

**$\lambda$**  : Longueur d'onde dans le vide (en m)

**c**: Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air:  $c = 3.0 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

L'énergie E du photon est souvent exprimée en électronvolts (eV), avec  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$  J

Cette relation met en évidence le caractère à la fois:

**Particulaire**: photon, particule de masse nulle et d'énergie  $E_{\text{photon}}$ .

**Ondulatoire**: fréquence  $\nu$ , longueur d'onde  $\lambda$ .

On parle de **dualité onde-corpuscule**

### I.4.3. Propriétés de la lumière:

La lumière possède **sept propriétés** principales.

**1.** La lumière est un **rayonnement électromagnétique perceptible par l'œil**. Les autres rayonnements électromagnétiques, comme les rayons x ou les rayons infrarouges, ne sont pas détectés par nos yeux

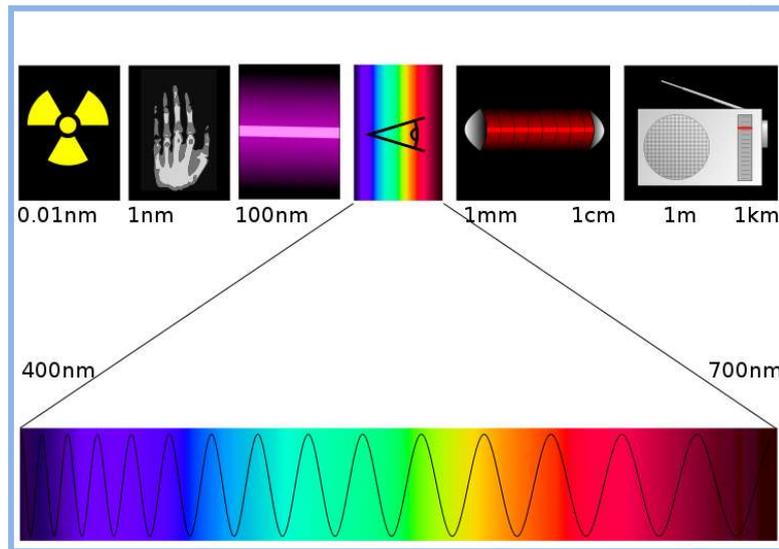


Figure I.7: Spectre électromagnétique

2. Le rayonnement lumineux peut être émis par une **source naturelle**, comme le Soleil et les autres étoiles, ou par une **source artificielle**, comme une ampoule.

3. La lumière **transporte de l'énergie**, que l'on nomme l'énergie lumineuse. Cette énergie lumineuse se transforme en énergie thermique lorsqu'elle entre en contact avec une surface.

Il existe deux manières d'exploiter l'énergie transportée par la lumière, provenant en général du Soleil : La conversion **photovoltaïque** et la conversion **photothermique**.

- **La conversion photovoltaïque** utilise l'effet **photoélectrique** suivant le bilan (L'effet photoélectrique implique que les photons associés au rayonnement électromagnétique ont des énergies supérieures à l'énergie d'ionisation des atomes constituant le matériau ).

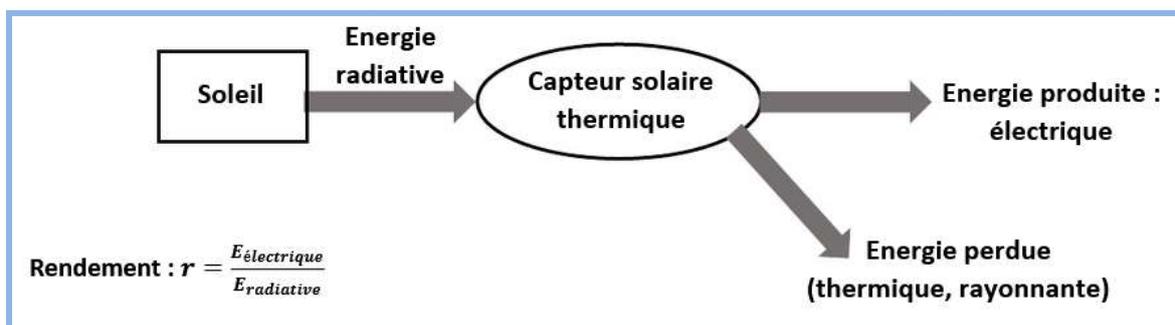


Figure I.8: Chaîne énergétique d'un capteur solaire thermique

- **La conversion photothermique** utilise l'énergie solaire pour chauffer un fluide caloporteur suivant le bilan :

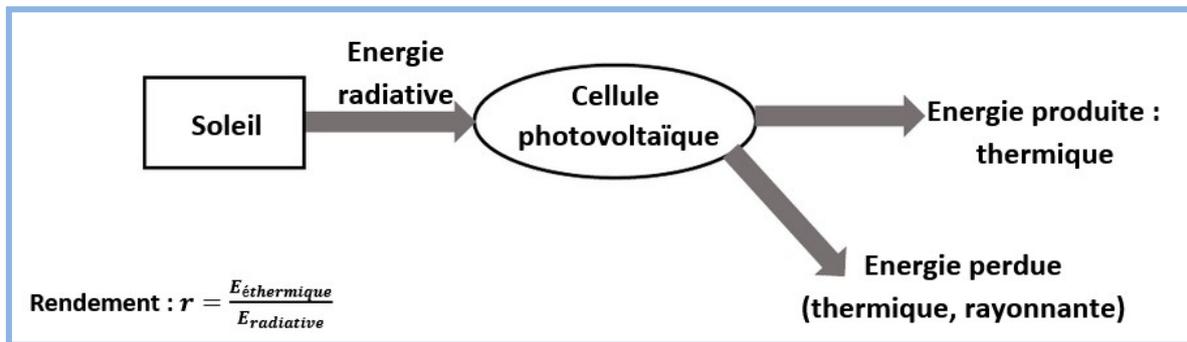


Figure I.9: Chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque

- La lumière se propage en **ligne droite** dans le vide et dans les milieux transparents et homogènes: ce phénomène est appelé la **propagation rectiligne de la lumière**. La lumière peut être déviée si elle traverse dans un milieu différent, par exemple si elle passe de l'air à l'eau, phénomène appelé **réfraction**.
- La **vitesse de propagation** de la lumière dans le vide, appelée célérité et notée **c**, est une constante universelle, Sa valeur est :  $c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , soit environ  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Une partie de la lumière qui frappe un objet est **réfléchi**e par celui-ci, ce qui nous permet de les voir. L'autre partie de la lumière est **absorbée**.
- La **lumière blanche** est composée de **toutes les couleurs**. Lorsque la lumière blanche se sépare en ses couleurs constituantes, on observe la **dispersion** de la lumière

## I.5. Propagation de la lumière et rayon lumineux:

### I.5.1. Propagation de la lumière

La lumière est une onde dont l'une des particularités est de se propager dans le vide et dans les milieux transparents.

#### Règle essentielle : le principe de propagation rectiligne

- Le principe de propagation rectiligne est toujours vérifié dans un **milieu** homogène, transparent et isotrope (**MHTI**) :
  - 📌 **Homogène** : propriétés physique identiques en tout point.
  - 📌 **Transparent** : absence d'absorption d'énergie lumineuse par le milieu.
  - 📌 **Isotrope** : propriétés physique identique dans toutes les directions de l'espace.
- Dans tout milieu homogène et transparent, la lumière se propage en ligne droite.
- On représente le sens de propagation par une flèche.

➤ La vitesse de propagation de la lumière:

✚ Dans le vide : elle est toujours égale à  $299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , on l'appelle la célérité et on la note  $c$ . Retenez l'ordre de grandeur  $c = 300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $c = 3 \times 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

✚ Dans les milieux transparents : la lumière se propage à une vitesse inférieure à la célérité. La vitesse de propagation  $v$  de la lumière dans un milieu transparent homogène est directement liée à l'indice de réfraction  $n$  de ce milieu par la formule :  $n = c / v$

### En résumé

Le principe de propagation rectiligne de la lumière est une règle fondamentale qui sert de base à l'étude de nombreux phénomènes optiques et à la conception de dispositifs optiques tels que les lentilles, les miroirs et les fibres optiques

## I.5.2. Rayon lumineux, faisceau lumineux et pinceau lumineux

### Rayon lumineux

Représente le trajet suivi par la lumière à partir d'un point d'une source lumineuse jusqu'à l'objet éclairé et peut être modélisé par des demi-droites munies d'une flèche indiquant le sens de propagation.

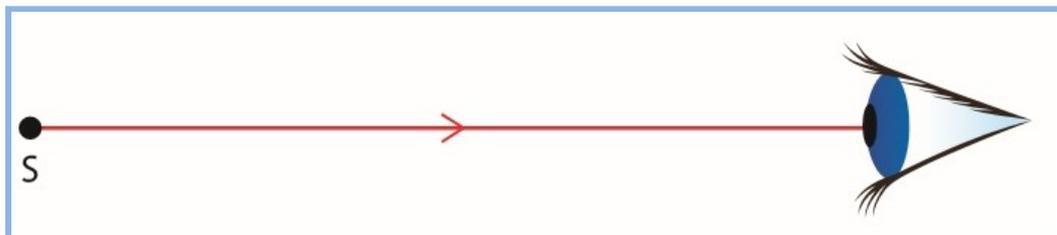


Figure I.10: Rayon lumineux

### Faisceau lumineux

Un **faisceau de lumière** est constitué d'une infinité de rayons lumineux provenant d'une même source.

Un **faisceau de lumière** peut être représenté par les rayons de lumière qui le délimite.

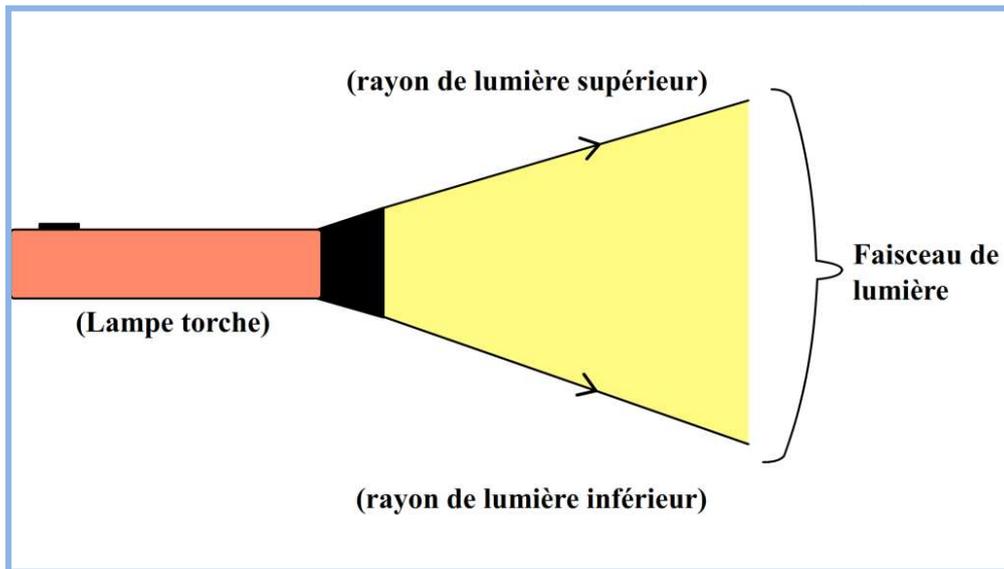


Figure I.11: Faisceau de lumière d'une lampe de torche

### Représentation de différents faisceaux, et, de rayons lumineux.

#### Définition

On appelle faisceaux lumineux l'ensemble des rayons lumineux émis par une source primaire ou diffusés par

On les classe en trois catégories ; les faisceaux divergents les faisceaux cylindriques.

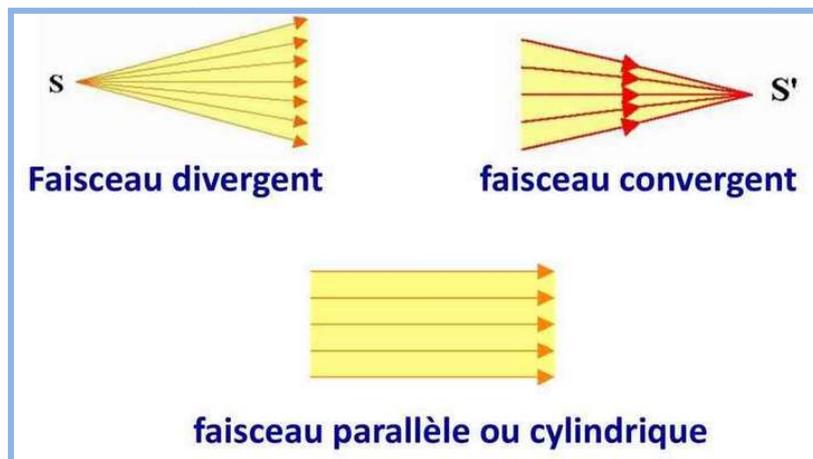


Figure I.12: Différents faisceaux lumineux: faisceau divergent, faisceau convergent, faisceau parallèle

#### Pinceau lumineux

Un **pinceau lumineux** est un groupe de rayons lumineux qui se propagent avec un angle d'ouverture se rapprochant de zéro.



Figure I.13: Pinceau lumineux

### I.6. Objective de l'optique géométrique:

1. L'optique géométrique étudie la trajectoire d'un rayon lumineux à travers des milieux transparents, homogènes et isotropes, en considérant les réflexions et réfractions aux interfaces.
2. Elle est particulièrement adaptée pour analyser les systèmes optiques composés de miroirs et de dioptrés (surfaces de séparation entre deux milieux transparents).
3. L'optique géométrique est l'outil privilégié pour traiter les systèmes dioptriques (composés uniquement d'éléments réfringents) et catadioptriques (incluant des surfaces réfléchissantes en plus des éléments réfringents).
4. Elle offre une approche flexible et efficace pour expliquer la formation des images produites par ces systèmes optiques.

### I.7. Limite de l'optique géométrique

1. L'optique géométrique ne peut pas expliquer tous les phénomènes lumineux car elle ne prend pas en compte la nature ondulatoire de la lumière.
2. L'optique géométrique est appropriée et précise lorsque les objets en interaction avec la lumière sont beaucoup plus grands que la longueur d'onde du rayon lumineux.
3. Cependant, lorsque la lumière interagit avec des objets de taille comparable (ou même plus petite) que sa longueur d'onde, l'aspect ondulatoire de la lumière devient significatif.
4. Dans de tels cas, il est nécessaire d'utiliser l'optique ondulatoire pour décrire avec précision le comportement de la lumière

**Deux phénomènes** caractéristiques de l'optique ondulatoire, **inexplicables** dans le contexte de l'optique géométrique, sont les **interférences** lumineuses et la **diffraction**.

## I.8. Les Phénomènes lumineux: Diffusion, réflexion et réfraction de la lumière

### I.8.1. La diffusion de la lumière:

Diffuser de la lumière consiste à renvoyer dans toutes les directions la lumière reçue.

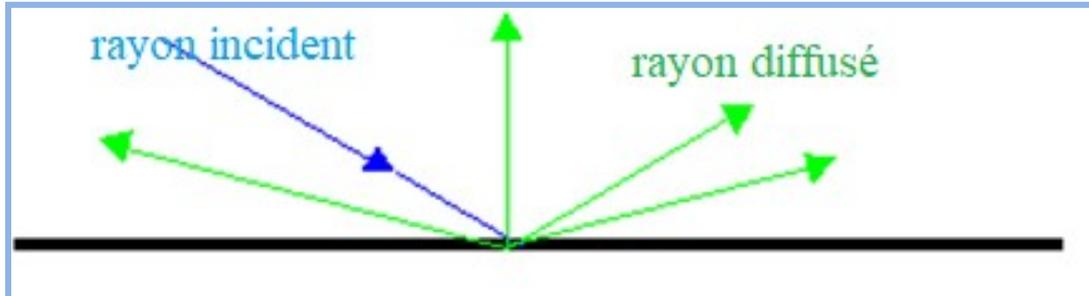


Figure I.14: Diffusion de la lumière

### I.8.2. La réflexion de la lumière:

Une surface réfléchit la lumière lorsqu'elle renvoie la lumière qu'elle reçoit dans une direction précise.

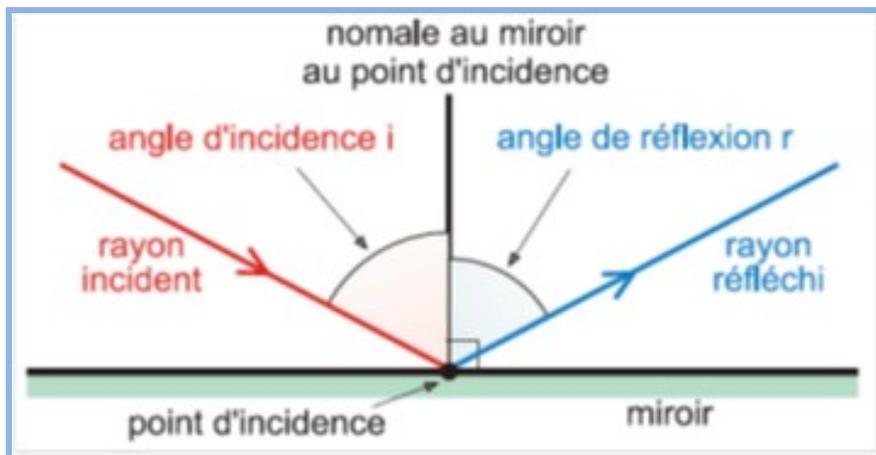


Figure I.15: Réflexion de la lumière

### I.8.3. La Réfraction de la lumière:

La **réfraction** est le phénomène lumineux au cours duquel la lumière dévie de sa trajectoire rectiligne en changeant de vitesse lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre.

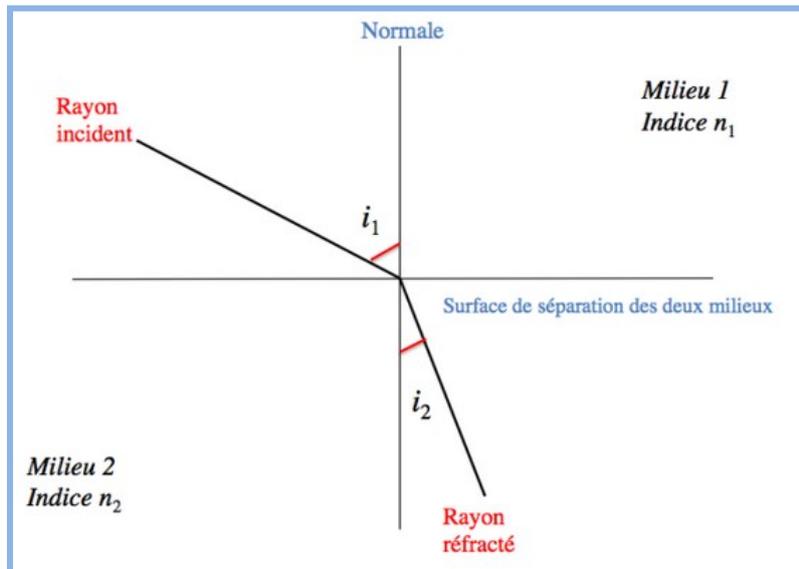


Figure I.16: Réfraction de la lumière

I.9. Loi de Snell – Descartes

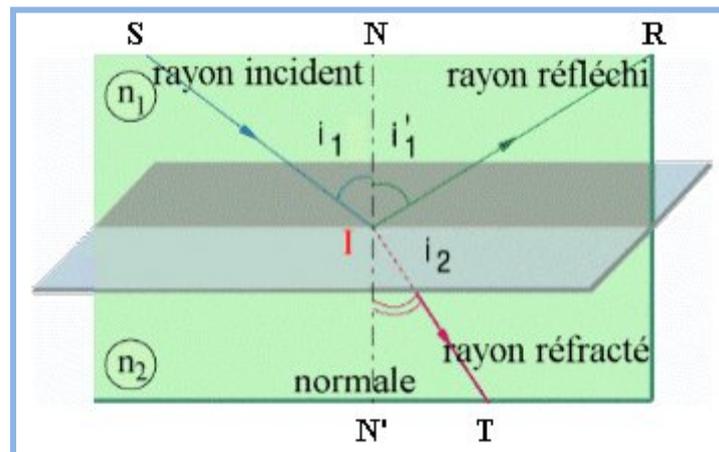


Figure I.17: Rayon lumineux incident, réfléchi et réfracté

**Vocabulaire essentiel**

- ✓ [IS) est le rayon incident
- ✓ I est le point d'incidence
- ✓ [IR) est le rayon réfléchi
- ✓ [IN) est appelée la normale à la surface réfléchissante en I
- ✓  $i_1$  est l'angle d'incidence
- ✓  $i'_1$  est l'angle de réflexion
- ✓ [IT) est le rayon réfracté
- ✓ [IN') est la normale à la surface de séparation en I
- ✓  $i_2$  est l'angle de réfraction

**1<sup>ère</sup> loi de Snell-Descartes : loi du plan d'incidence**

Les rayons incidents, réfléchi, réfracté et la normal au point d'incidence sont dans le même plan, plan d'incidence, d'après la Figure I.17, il est défini par le rayon incident et la normal au dioptre au point d'incidence

**2<sup>ème</sup> loi de Snell- Descartes : loi de réflexion**

Le rayon réfléchi est toujours dans le plan d'incidence.

L'angle de réflexion est le même que l'angle d'incidence

$$i_1 = i_1'$$

**3<sup>ème</sup> loi de Snell- Descartes : loi de réfraction**

Lorsque la lumière atteint un nouveau milieu une partie de cette dernière s'y propage mais en subissant une déviation. Ce phénomène correspond à une réfraction.

Le rayon réfracté est toujours dans le plan d'incidence.

Les angles d'incidence et de réfraction sont liés par la relation:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

( $n_1$  et  $n_2$  étant les indices de réfraction des milieux 1 et 2)

**I.10. Système optique :**

Un système optique est un ensemble de surfaces qui réfléchissent (miroirs) ou réfractent (dioptries) les rayons lumineux. Un système centré possède un axe de symétrie. Les systèmes ne possédant que des dioptries sont dits dioptriques (lentilles, objectifs, lunettes, microscopes). Les systèmes comportant des dioptries et des miroirs sont dits catadioptriques (télescopes).

**I.11. Réel ou virtuel ?**

L'objet réel est le point d'intersection de rayons lumineux entrants dans un système (système optique comme miroir prisme ...). L'image réelle est le point d'intersection des rayons lumineux sortants d'un système. L'objet virtuel est le point d'intersection du prolongement des rayons lumineux entrants dans un système, image virtuelle est le point d'intersection du prolongement des rayons lumineux sortants d'un système

## I.11.1. Image réelle et virtuelle

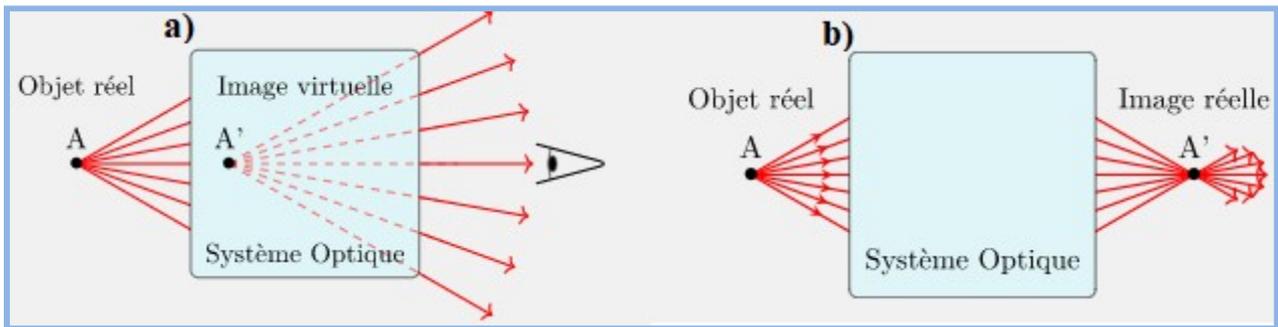


Figure I.18: Formation (a) d'un point image virtuelle (b) d'un point image réelle

Soit un point objet A émettant des rayons lumineux vers le système optique. Deux cas peuvent se présenter:

1. Les rayons émergent du système optique en convergeant vers un point A': ce point est un point **image réel**, on peut le recueillir sur un écran.
2. Les rayons émergent du système optique en divergeant mais leurs prolongements se coupe en un point A': ce point est un point **image virtuelle**, on ne peut pas le recueillir sur un écran mais il peut être vu à l'œil nu à travers le système.

## I.11.2. Objets réel et virtuel

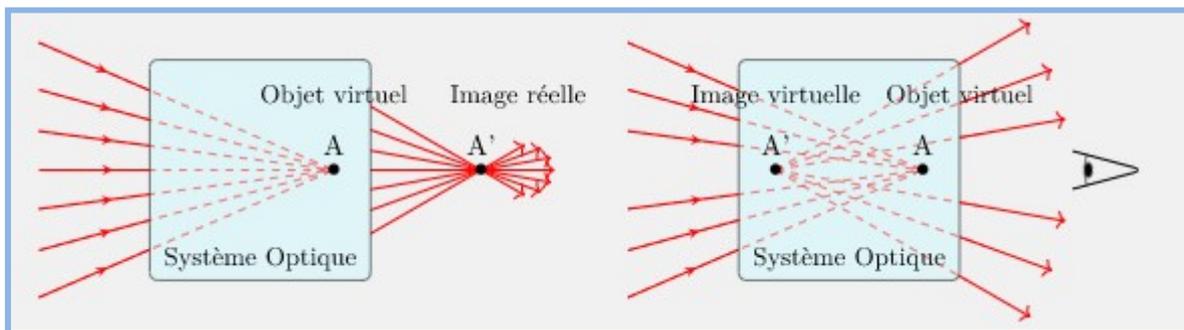


Figure I.19: Point objet virtuel donnant naissance à deux types de point image

De façon identique à ce qui a été dit précédemment, on peut créer un point objet virtuel en faisant converger les prolongements de rayons incident au système optique. L'image de ce point objet virtuel pourra être un point image réel ou un oint image virtuelle selon les mêmes principes énoncés au paragraphe précédent.

### I.11.3. Espaces objet et image

Autour d'un système optique s'organise quatre espaces:

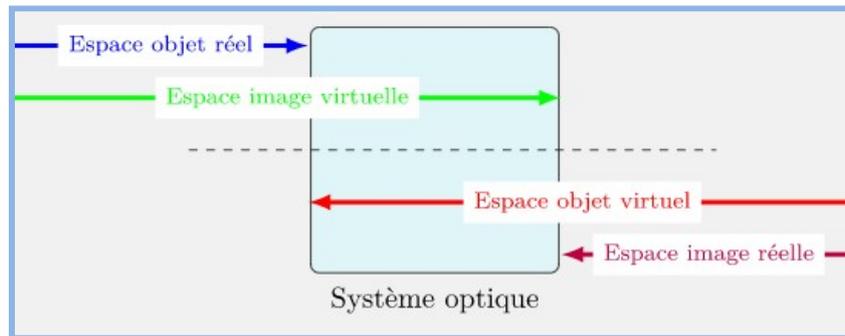


Figure I.20: Espaces objet et image

### I.12. Le stigmatisme

Un système optique est de bonne qualité si 'il donne d'une source ponctuelle une image ponctuelle : c'est la condition de stigmatisme.

#### I.12.1. Le stigmatisme rigoureux: image optique

Un système optique est dit **stigmatique** si les rayons émergeant ou leurs prolongements se coupent tous en un même point. Ce point est appelé image.

Considérons un point **lumineux** A dans un premier espace appelé **espace objet**. Faisons partir de A un ensemble de rayons lumineux passant à travers le système. Si ces rayons convergent tous en un même point A' de **l'espace image** nous pouvons écrire:

**A' est l'image de A à travers le système. On dit aussi que A' est le conjugué de A.**

**Le système est dit stigmatique pour la conjugaison AA'.**

On montre que le stigmatisme implique une valeur constante pour le chemin optique (AA').

#### Cas d'une image réelle:

L'image peut être observée sur un écran dans l'espace image

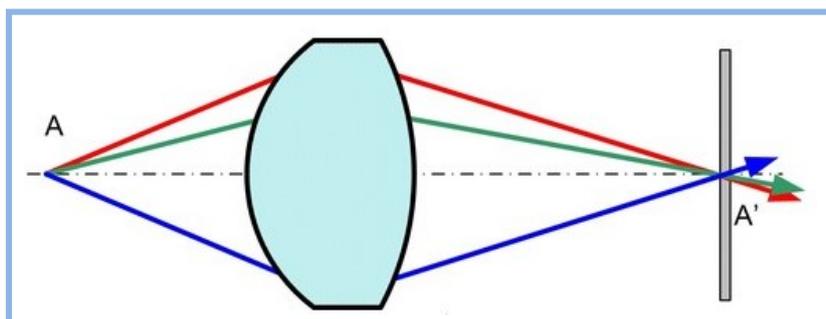
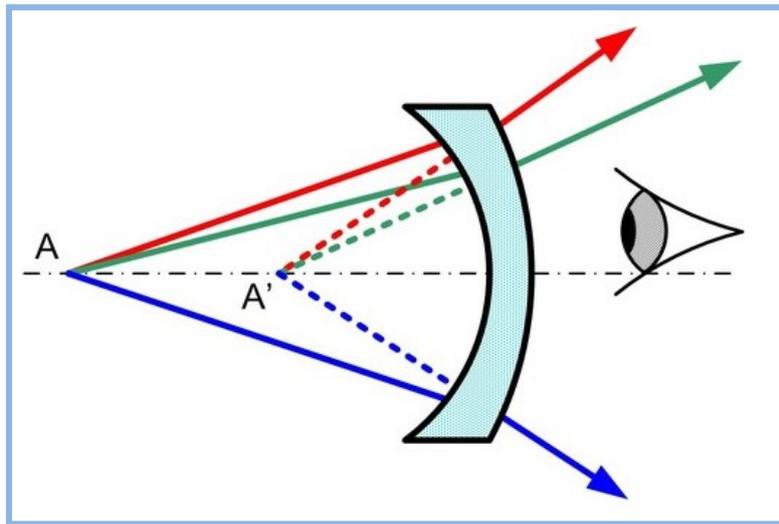


Figure I.21: Formation de l'image d'un objet ponctuel réel par un système optique stigmatique.

**Cas d'une image virtuelle:**

L'image ne peut être observée sur un écran. Elle est néanmoins visible par un observateur situé dans l'espace image



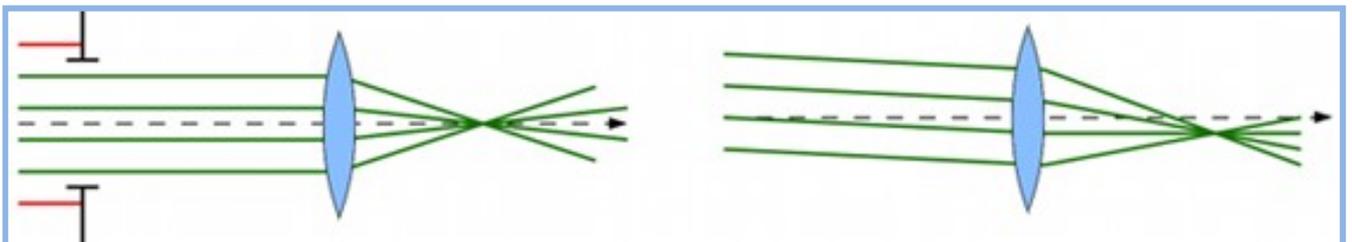
**Figure I.22:** Formation de l'image d'un objet ponctuel virtuel par un système optique stigmatique.

**I.12.2. Stigmatisme approché - Approximation de Gauss**

Nous ne considérerons que des systèmes optiques centrés, c'est-à-dire des systèmes pour lesquels il existe un axe de symétrie de révolution appelé axe optique. On montre alors qu'un tel instrument d'optique donnera une image de bonne qualité d'un objet si les deux conditions suivantes, dites conditions de Gauss, sont satisfaites.

Les conditions de Gauss, ou l'approximation de Gauss, sont obtenues lorsque les rayons lumineux possèdent un angle d'incidence très faible par rapport à l'axe optique, et en sont peu éloignés. Ils sont dits paraxiaux.

Dans les conditions de Gauss, les rayons sont proches de l'axe optique (à gauche) et peu inclinés (à droite).



**Figure I.23:** Les rayons lumineux paraxiaux

### I.13. Aplanétisme

L'**aplanétisme** est une propriété des systèmes optiques dioptriques, catoptriques et catadioptriques capables, pour un objet étendu perpendiculaire à l'axe optique, de former une image perpendiculaire à l'axe optique.

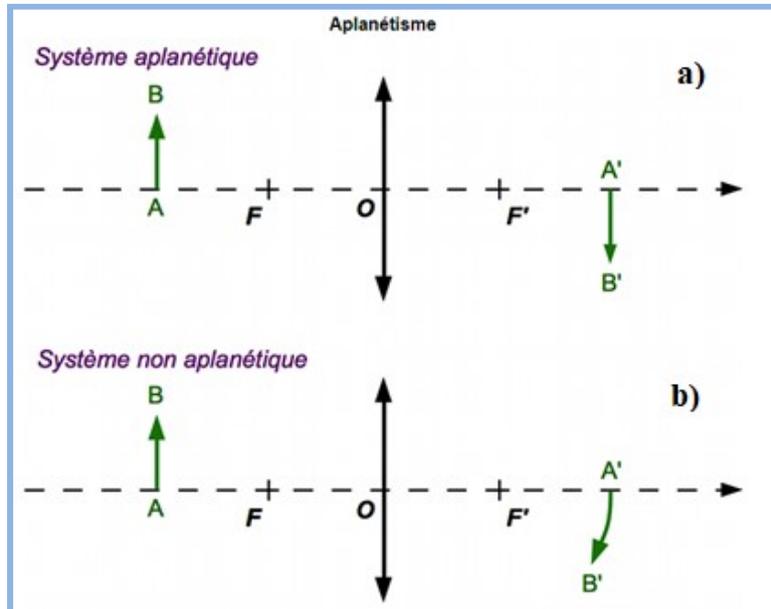


Figure I.24: Système (a) aplanétique et (b) non aplanétique

L'objet AB est perpendiculaire à l'axe optique. Dans le cas du haut, l'image A'B' est elle aussi perpendiculaire à l'axe optique, le système est aplanétique. Dans le cas du bas, elle n'est pas perpendiculaire à l'axe, elle est tordue. Le système n'est pas aplanétique.

### QCM

**Cocher la bonne réponse:**

#### Les sources lumineuses :

1. Qu'est-ce qu'une source lumineuse ?

- a) Un objet qui émet de la lumière
- b) Un objet qui absorbe la lumière
- c) Un objet qui réfléchit la lumière

2. Quelle est la source lumineuse naturelle principale de notre système solaire ?

- a) La Lune
- b) Le Soleil

c) Mars

**3.** Quelle est la couleur de la lumière du soleil lorsqu'elle est dispersée par l'atmosphère ?

a) Bleue

b) Jaune

c) Rouge

**4.** Quelle est la température de surface approximative du Soleil?

a) Environ 5500 degrés Celsius

b) Environ 1000 degrés Celsius

c) Environ 20000 degrés Celsius

**5.** Quelle source lumineuse émet principalement de la lumière par incandescence

a) Une ampoule à incandescence

b) Une LED

c) Un écran d'ordinateur

**6.** Quelle source lumineuse fonctionne en convertissant l'énergie électrique en lumière par l'excitation de gaz ou de vapeurs ?

a) Une lampe fluorescente

b) Une ampoule halogène

c) Une bougie

**7.** Quel est le principal avantage des sources lumineuses LED par rapport aux ampoules à incandescence traditionnelles?

a) Elles sont plus économes en énergie

b) Elles sont plus brillantes

c) Elles sont moins chères

**8.** Quelle source lumineuse émet de la lumière cohérente et monochromatique grâce à l'effet laser ?

a) Un laser

b) Une lampe à sodium

c) Une LED

9. Quelle source lumineuse est basée sur l'émission de photons lors de transitions électroniques dans un matériau semi-conducteur ?

- a) Une LED
- b) Un laser
- c) Une ampoule à incandescence

10. Quelle source lumineuse produit de la lumière en brûlant une mèche de combustible, généralement composée de cire ?

- a) Une bougie
- b) Un projecteur
- c) Une lampe UV

**Réponses:** 1. a) - 2. b) - 3. a) - 4. a) - 5. a) - 6. a) - 7. a) - 8. a) - 9. a) - 10. a).

### Les sources primaires et secondaires de lumière :

1. Quelle est une source primaire de lumière ?

- a) Une source qui émet sa propre lumière
- b) Une source qui réfléchit la lumière d'autres sources
- c) Une source qui absorbe la lumière

2. Quel est un exemple de source primaire de lumière?

- a) Le Soleil
- b) Un miroir
- c) Un écran de télévision

3. Quelle est une source secondaire de lumière ?

- a) Une source qui émet sa propre lumière
- b) Une source qui réfléchit la lumière d'autres sources
- c) Une source qui absorbe la lumière

4. Quel est un exemple de source secondaire de lumière?

- a) La Lune (lorsqu'elle brille en réfléchissant la lumière du Soleil)
- b) Une ampoule électrique
- c) Une bougie

5. Que se passe-t-il lorsque la lumière d'une source primaire frappe une surface réfléchissante ?

- a) La surface absorbe toute la lumière
  - b) La surface renvoie une partie de la lumière dans différentes directions
  - c) La surface transforme la lumière en chaleur
- 6.** Quelle est la différence entre une source primaire de lumière et une source secondaire de lumière?
- a) Une source primaire émet sa propre lumière, tandis qu'une source secondaire réfléchit la lumière d'autres sources.
  - b) Une source primaire réfléchit la lumière d'autres sources, tandis qu'une source secondaire émet sa propre lumière.
  - c) Il n'y a pas de différence significative.
- 7.** Quel terme est utilisé pour décrire la lumière émise par un objet après qu'elle a été frappée par une source primaire ?
- a) Lumière diffusée
  - b) Lumière émise par une source primaire ?
  - c) Lumière absorbée
- 8.** Qu'est-ce qui donne à la Lune sa lumière pendant la nuit?
- a) La réflexion de la lumière du Soleil
  - b) L'émission de sa propre lumière
  - c) La combustion de gaz naturels
- 9.** Quelle source lumineuse est un exemple de bioluminescence, où un organisme produit sa propre lumière ?
- a) Les lucioles organisme produit sa propre lumière ?
  - b) Une ampoule électrique
  - c) Un projecteur
- 10.** Quel est le processus par lequel les écrans de télévision produisent de la lumière à partir d'une source primaire ?
- a) La conversion électromagnétique
  - b) La conversion chimique
  - c) La conversion électroluminescente

**Réponses:** 1. a) - 2. a) - 3. b) - 4. a) - 5. b) - 6. a) - 7. a) - 8. a) - 9. a) - 10. c).

### Aspect Ondulatoire de la lumière

1. Quel physicien a formulé la théorie ondulatoire de la lumière?
  - a) Isaac Newton
  - b) Albert Einstein
  - c) Christian Huygens
  
2. Quelle grandeur caractérise la fréquence d'une onde lumineuse ?
  - a) Le nombre d'ondes par seconde
  - b) La longueur d'onde
  - c) L'amplitude de l'onde
  
3. La diffraction est un phénomène associé à :
  - a) L'aspect ondulatoire de la lumière
  - b) L'aspect corpusculaire de la lumière
  - c) Les deux
  
4. La polarisation de la lumière est un phénomène qui résulte de :
  - a) L'interaction de la lumière avec des surfaces réfléchissantes
  - b) L'interaction de la lumière avec des filtres spéciaux
  - c) L'interaction de la lumière avec des cristaux ou des fentes.

**Réponses:** 1. c) - 2. a) - 3. a) - 4. c) .

### Aspect Corpusculaire de la lumière

1. Quel physicien a avancé l'idée que la lumière est composée de particules appelées photons ?
  - a) Max Planck
  - b) James Clerk Maxwell
  - c) Albert Einstein
  
2. Quelle grandeur caractérise l'énergie d'un photon ?
  - a) Sa vitesse
  - b) Sa fréquence

c) Sa masse

3. Le phénomène de l'effet photoélectrique a apporté un fort soutien à la théorie corpusculaire de la lumière. Qui en est l'auteur ?

- a) Max Planck
- b) Albert Einstein
- c) Niels Boh

4. Lorsqu'un photon est absorbé par un électron, que peut-il se produire ?

- a) L'électron peut être éjecté de l'atome
- b) L'électron reste dans son orbite
- c) L'électron se transforme en proton

5. L'effet Compton a fourni des preuves expérimentales du comportement corpusculaire de la lumière. Que décrit-il?

- a) La diffusion des photons par les électrons
- b) La réfraction des photons à travers un prisme
- c) La polarisation de la lumière

6. Quel est le nom de l'équation qui lie l'énergie d'un photon à sa fréquence ?

- a)  $E = mc^2$
- b)  $E = h\nu$
- c)  $E = h/\lambda$

**Réponses:** 1. c) - 2. b) - 3. b) - 4. a) - 5. a) - 6. b) .

## La propagation de la lumière

1. Quel est le moyen par lequel la lumière se propage ?

- a) Par ondes sonores
- b) Par ondes électromagnétiques
- c) Par ondes mécaniques

2. Dans quel milieu la lumière se déplace-t-elle le plus rapidement?

- a) Dans l'air

- b) Dans l'eau
- c) Dans le vide

3. Que se passe-t-il lorsqu'un rayon de lumière passe d'un milieu à un autre avec un indice de réfraction différent ?

- a) Réflexion
- b) Réfraction
- c) Dispersion

4. Quelle est la loi de la réflexion ?

- a) L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion
- b) L'angle d'incidence est toujours plus grand que l'angle de réflexion
- c) L'angle d'incidence est toujours plus petit que l'angle de réflexion

5. Quelle est la couleur qui a la plus grande longueur d'onde dans le spectre visible ?

- a) Rouge
- b) Bleu
- c) Violet

6. Que se passe-t-il lorsqu'un faisceau de lumière passe à travers un prisme ? ?

- a) Réflexion
- b) Réfraction
- c) Dispersion

7. Quelle est la vitesse de la lumière dans le vide ?

- a) Environ 300 000 km/s
- b) Environ 150 000 km/s
- c) Environ 500 000 km/s

**Réponses:** 1. b) - 2. c) - 3. b) - 4. a) - 5. a) - 6. c) - 7. a)

### Les ombres et la pénombre

1. Quelle est la zone où aucune lumière directe n'atteint ?

- a) Ombre

- b) Pénombre
- c) Lumière

2. Comment se forme une ombre nette ?

- a) Lorsque la source de lumière est étendue
- b) Lorsque la source de lumière est ponctuelle
- c) Lorsque la source de lumière est diffuse

3. Quelle est la partie d'une ombre où une partie de la source de lumière est bloquée?

- a) Ombre
- b) Pénombre
- c) Lumière

4. Quel est l'effet produit lorsqu'une source de lumière est partiellement occultée ?

- a) Ombre nette
- b) Pénombre
- c) Lumière diffuse

5. Que se passe-t-il avec l'ombre lorsque la source de lumière est déplacée plus loin de l'objet ?

- a) L'ombre diminue en taille
- b) L'ombre augmente en taille
- c) L'ombre reste de la même taille

6. Qu'est-ce qui cause la pénombre ?

- a) La lumière directe
- b) La diffusion de la lumière
- c) L'obstruction partielle de la source de lumière

7. Comment se forme la pénombre ?

- a) Lorsque la source de lumière est étendue
- b) Lorsque la source de lumière est ponctuelle
- c) Lorsque la source de lumière est partiellement occultée

**Réponses:** 1. c) - 2. b) - 3. b) - 4. b) - 5. b) - 6. c) - 7. c)

**Les rayons, faisceaux et pincesaux lumineux**

1. Qu'est-ce qu'un rayon lumineux ?

- a) Une onde sonore
- b) Une trajectoire suivie par la lumière
- c) Un type de lumière ultraviolette.

2. Que représente un faisceau lumineux ?

- a) Un seul rayon lumineux.
- b) Plusieurs rayons lumineux parallèles ou convergents
- c) Un rayon lumineux qui rebondit

3. Quelle est la différence entre un faisceau lumineux et un faisceau lumineux divergent ?

- a) Le faisceau lumineux convergent se propage dans toutes les directions, tandis que le faisceau lumineux divergent converge en un seul point.
- b) Le faisceau lumineux convergent converge en un seul point tandis que le faisceau lumineux divergent se propage dans toutes les directions
- c) Il n'y a pas de différence, les termes sont interchangeables

4. Qu'est-ce qu'un pinceau lumineux ?

- a) Un groupe de rayons lumineux parallèles
- b) Un seul rayon lumineux
- c) Un rayon lumineux qui se courbe.

5. Quelles sont les caractéristiques d'un lumineux parallèle ?

- a) Les rayons se propagent dans des directions divergentes
- b) Les rayons se propagent dans des directions parallèles
- c) Les rayons se propagent en convergeant vers un point

**Réponses:** 1. b) - 2. b) - 3. b) - 4. a) - 5. b)

# Chapitre II

## Miroir plan & Dioptre plan



## II. La réflexion et les miroirs plans

### II.1. Les miroirs plans

Un miroir plan est une surface plane, polie et réfléchissante.

Dans l'Antiquité, on réalisait des miroirs en métal poli (or, argent, bronze). Au XVe siècle, on commença à fabriquer des miroirs en verre rendu réflecteur par une couche d'amalgame d'étain. On utilisa ensuite une couche d'argent déposée chimiquement. Aujourd'hui, on réalise facilement des miroirs en vaporisant une couche métallique (Ag, Al, Cr, Au) ou diélectrique (cryolithe, sulfure de Zinc) dans le vide moléculaire sur des surfaces polies

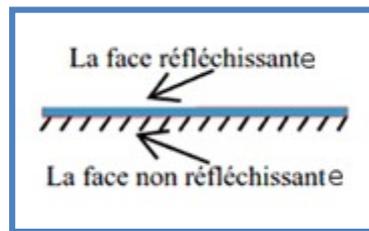


Figure II.1: Miroir plan

#### II.1.1. Principe de la réflexion de la lumière

La réflexion est le phénomène qui permet à la lumière de subir un changement de direction à la rencontre d'une interface principalement dans la direction perpendiculaire à la surface afin de demeurer dans le milieu d'origine.

La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse** sont **deux types** La réflexion spéculaire et la réflexion diffuse sont deux types:

##### II.1.1.1. Réflexion Spéculaire:

- La réflexion spéculaire se produit sur une surface lisse et plane
- La lumière est réfléchié dans une direction spécifique et organisée
- Les rayons réfléchis sont parallèles les uns aux autres
- Un exemple commun de réflexion spéculaire est celle d'un miroir
- L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion,

##### II.1.1.2. Réflexion Diffuse:

- La réflexion diffuse se produit sur une surface irrégulière ou rugueuse
- La lumière est réfléchié dans de nombreuses directions différentes, sans ordre particulier
- Les rayons réfléchis ne sont pas parallèles les uns aux autres

- Un exemple courant de réflexion diffuse est celle est celle
- L'angle d'incidence n'a pas de relation simple avec l'angle d'incidence n'a pas de relation simple avec

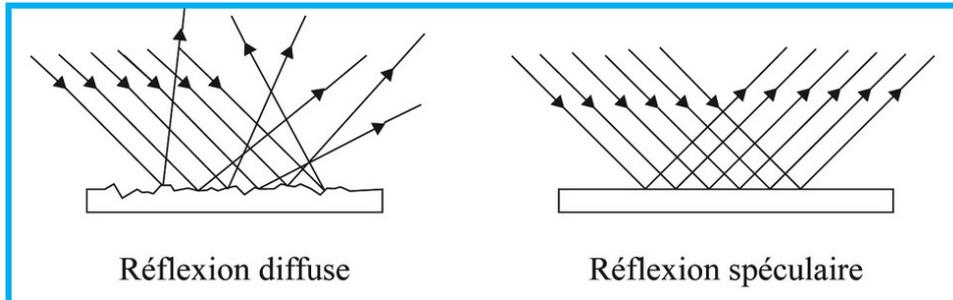


Figure II.2: La réflexion spéculaire et la réflexion diffuse

**En résumé**

**La réflexion spéculaire** donne une image nette et organisée, tandis que la réflexion diffuse crée une surface qui semble émettre de la lumière dans toutes les directions.  
**La réflexion spéculaire** est souvent associée à des surfaces lisses et réfléchissantes comme les miroirs, tandis que la réflexion diffuse se produit sur des surfaces plus rugueuses ou mates.

II.1.2. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

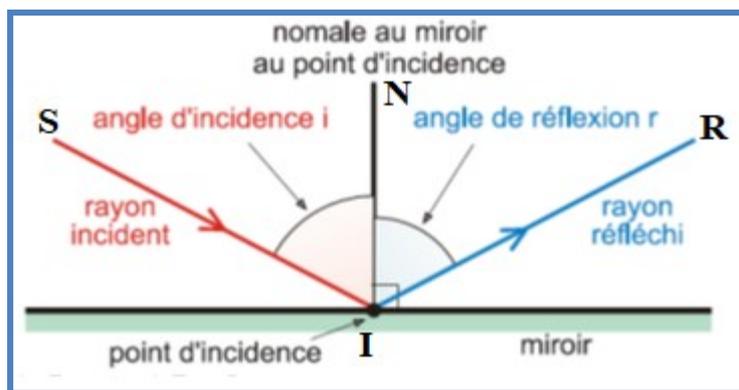


Figure II.3: Réflexion de la lumière

**Symboles:**

- SI = rayon incident
- IR = rayon réfléchi
- IN= normale (perpendiculaire) au point d'incidence (I)
- $\hat{i}$  = angle d'incidence
- $\hat{r}$  = angle de réflexion

Quand un **faisceau lumineux** arrive au niveau d'une surface réfléchissante, le faisceau est réfléchi selon un angle bien précis. On appelle généralement  $I$  le point d'incidence du rayon lumineux, c'est-à-dire le point où le faisceau lumineux arrive sur une surface polie.

La droite perpendiculaire au point d'incidence est appelée normale ou normale au point d'incidence: on calcule les angles à partir de cette droite  $IN$ .

Quand un **rayon lumineux incident  $SI$**  arrive au niveau du point  $I$ , il possède un angle appelé  $i$ . Le **rayon réfléchi  $IR$** , quand à lui, repart avec un angle équivalent à  $r$ .

Les lois de Descartes, aussi appelées lois de Snell-Descartes, font partie des lois de base en optique

**1ère loi de Descartes** : Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale à la surface réfléchissante.

**2ème loi de Descartes** : L'angle de réflexion, défini par l'angle entre le rayon réfléchi et la normale à la surface réfléchissante, est égale à l'angle incident.

$$\hat{i} = \hat{r}$$

La loi de la réflexion stipule que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, ce qui signifie que la lumière réfléchie suit une trajectoire symétrique par rapport à la normale de la surface

### Remarque:

Tout rayon incident normal au plan du miroir se réfléchit sur lui-même

#### Lois de la réflexion

1. Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence. On définit alors l'angle de réflexion  $\hat{r}$ .
2. Le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la normale :

$$\hat{i} = \hat{r}$$

### II.1.3. Loi du retour inverse de la lumière

La "loi du retour inverse de la lumière" ou "principe de réversibilité du trajet de la lumière" énonce que la trajectoire de la lumière est identique, qu'elle se déplace dans un sens ou dans l'autre. En d'autres termes, si la lumière suit un certain parcours en se déplaçant de la source vers l'observateur, elle empruntera exactement le même chemin si elle se déplace en sens inverse, de l'observateur vers la source. Cela signifie que le trajet de la lumière est indépendant du sens de la propagation. Pour un parcours donné, la lumière peut se propager dans les deux sens.

Les équations qui décrivent le comportement de la lumière sont les mêmes, que la lumière se déplace dans un sens ou dans l'autre. Cette propriété de la lumière est utilisée dans de

nombreuses applications, y compris l'imagerie médicale, la communication optique et la conception des dispositifs optiques tels que les lentilles et les miroirs.

#### II.1.4. Définition du champ de vision d'un miroir:

Le champ de vision d'un miroir est la portion de l'espace observable dans ce miroir. (C'est à dire l'espace que l'observateur peut percevoir en se regardant dans ce miroir).

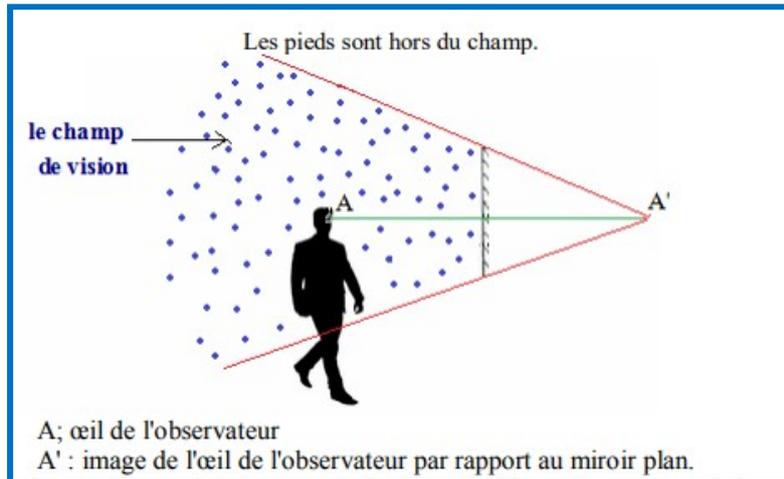


Figure II.4: Champ de vision d'un miroir

#### II.1.5. Objet réel. Objet virtuel. Image réelle. Image virtuelle.

Si le point A est réel, ce sont les prolongements des rayons réfléchis qui passent par A'; le point A' est un point image virtuelle.

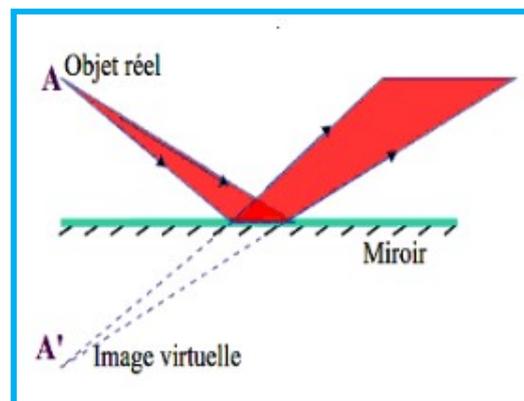


Figure II.5: objet réel et image virtuelle

- Le point objet A situé en avant de la surface réfléchissante est un **objet réel**.
- Le point image A' situé en arrière de la surface réfléchissante est une **image virtuelle**.

D'après le principe du retour inverse de la lumière, au point A' jouant le rôle d'**objet** correspond une image A.

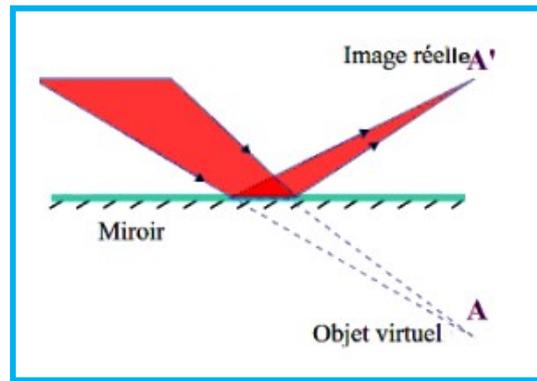


Figure II.6: Image réelle et objet virtuel

- Le point A' situé en arrière de la surface réfléchissante est un **objet virtuel**; les rayons iraient passer par A' si le miroir n'existait pas.
- L'image A située en avant de la surface réfléchissante est une **image réelle**; les rayons eux-mêmes passent par A; l'image peut être reçue sur un écran

### En résumé

#### En résumé

- 📌 L'image d'une source ponctuelle dans un miroir plan est son symétrie par rapport au miroir.
- 📌 L'image d'un objet réel est virtuelle.
- 📌 L'image d'un objet virtuel est réelle.

Dans le cas d'un miroir plan, tous les rayons issus de A semblent après réflexion provenir de B : les rayons lumineux provenant de différents points de l'objet incident se réfléchissent tous selon la loi de la réflexion, ce qui les amène à converger en un seul point image net, créant ainsi une image et stigmatisée de objet: **Le miroir plan est stigmatique.**

### II.1.6. Formule de conjugaison du miroir plan.

La formule de conjugaison d'un système optique est la relation entre la position de l'image et celle de l'objet par rapport au système.

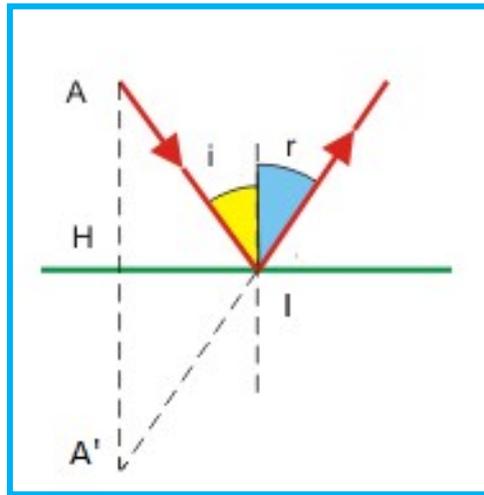


Figure II.7: position de l'image et celle de l'objet par rapport au système.

Appelons H la projection orthogonale du point objet A sur le miroir. Le point image A' étant le symétrique de A par rapport au miroir, d'une part A et A' sont de part et d'autre de H, et d'autre part il y a égalité entre les distances AH et HA' .

En définitive, la formule de conjugaison du miroir plan s'écrit :

$$\overline{AH} + \overline{A'H} = 0$$

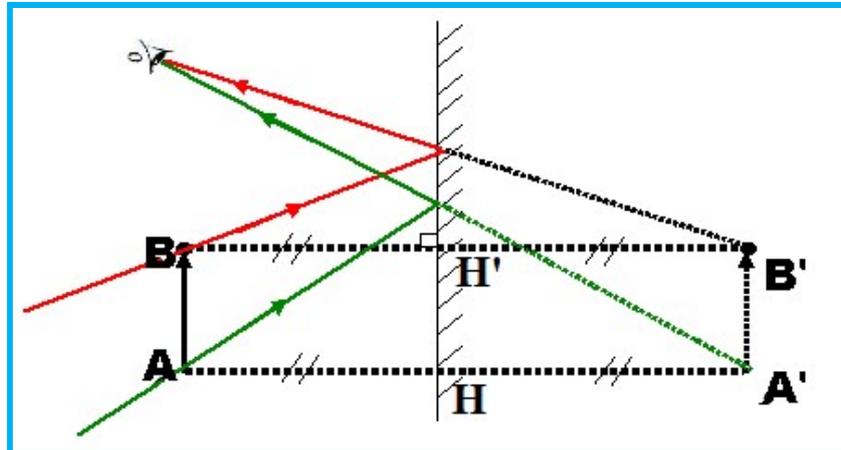


Figure II.8: Caractéristiques de l'image produite par un miroir plan

Les **caractéristiques de l'image** produite par un **miroir plan** sont les suivantes:

- l'image est droite,
- de même grandeur  $AB = A'B'$
- de même sens
- et à égale distance du miroir par rapport à l'objet.

### II.1.7. Applications de la réflexion:

La réflexion de la lumière est utilisée dans de nombreux domaines, notamment:

- **Les miroirs:** les miroirs sont des surfaces réfléchissantes qui sont utilisées pour réfléchir la lumière. Ils sont couramment utilisés dans les miroirs d'automobiles, les télescopes, les microscopes, les réflecteurs routiers, etc.
- **Les revêtements réfléchissants:** les revêtements réfléchissants sont des matériaux qui sont conçus pour réfléchir la lumière. Ils sont couramment utilisés dans les vêtements de sécurité, les bandes réfléchissantes sur les véhicules, les panneaux de signalisation routière, etc.
- **Les réflecteurs:** les réflecteurs sont des dispositifs qui sont conçus pour réfléchir la lumière dans une direction particulière. Ils sont couramment utilisés dans les projecteurs de théâtre, les feux arrière de la voiture, les feux de signalisation, les panneaux publicitaires, etc.
- **L'éclairage:** La réflexion de la lumière est également utilisée pour l'éclairage, en utilisant des surfaces réfléchissantes pour diriger la lumière dans une direction particulière, augmenter l'efficacité lumineuse et réduire l'éblouissement.
- **L'imagerie:** La réflexion de la lumière est utilisée dans l'imagerie, en utilisant des miroirs surfaces réfléchissantes pour former des images de haute qualité dans des microscopes, des télescopes, des appareils photo, des caméras vidéo, etc.
- **La réflexion en fibre optique:** est un phénomène crucial pour la transmission efficace de la lumière à travers les fibres optiques. Il se produit lorsque la lumière incidente frappe la surface interne de la gaine de la fibre sous un angle suffisamment faible par rapport à la normale à cette surface. Cela permet à la lumière de rebondir et de rester confinée à l'intérieur de la fibre, suivant ainsi un trajet zigzagant.

## QCM

### Cocher la bonne réponse:

1. Qu'est-ce que la réflexion de la lumière ?

- a) Le changement de direction de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre.
- b) Le rebondissement de la lumière sur une surface
- c) L'absorption totale de la lumière par un objet

2. Selon la loi de la réflexion, quel est l'angle entre le rayon incident et la normale à la surface de réflexion ?

a) 0 degré

b) 45 degrés

c) 90 degrés

3. Quel type de surface offre la meilleure réflexion spéculaire ?

a) Une surface rugueuse

b) Une surface lisse et polie

c) Une surface transparente

4. Lorsque la lumière frappe une surface parfaitement réfléchissante, quel angle forme le rayon réfléchi avec la normale ?

a) 0 degré

b) 45 degrés

c) 90 degrés

5. Quel est le phénomène qui se produit lorsqu'un faisceau de lumière frappe une surface et est réfléchi dans de multiples directions ?

a) Réflexion diffuse

b) Réflexion spéculaire

c) Réfraction

6. Quelle couleur est réfléchie par un objet qui apparaît vert à nos yeux ?

a) Rouge

b) Vert

c) Bleu

7. Quelle est la couleur d'un objet qui absorbe toutes les couleurs de la lumière blanche ?

a) Noir

b) Blanc

c) Transparent

8. Quel est le résultat de la réflexion de la lumière sur une surface rugueuse ?

a) Une réflexion spéculaire

b) Une réflexion diffuse

c) Une réflexion totale interne

**9.** Qu'est-ce qui se produit lorsqu'un rayon de lumière frappe une surface à un angle plus grand que l'angle critique?

- a) Réflexion totale interne
- b) Réfraction
- c) Réflexion spéculaire

**10** Quel est le nom de l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi dans la réflexion spéculaire?

- a) Angle de réfraction
- b) Angle d'incidence
- c) Angle de réflexion

**11.** Si un miroir est courbé vers l'intérieur, comment la réflexion sera-t-elle affectée ?

- a) La réflexion sera plus nette.
- b) La réflexion sera plus floue.
- c) La réflexion ne sera pas affectée

**12.** Quel type de miroir est utilisé pour agrandir l'image d'un objet ?

- a) Miroir concave
- b) Miroir convexe
- c) Miroir plan

**13.** Que décrit la loi de Snell-Descartes ?

- a) La réflexion de la lumière sur une surface lisse
- b) La réfraction de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre
- c) La dispersion de la lumière à travers un prisme

**14.** Comment est défini l'angle d'incidence dans la loi de Snell-Descartes ?

- a) L'angle entre la lumière réfléchie et la normale à la surface
- b) L'angle entre la lumière incidente et la normale à la surface
- c) L'angle entre la lumière réfractée et la normale à la surface

**15.** Si la lumière passe d'un milieu moins dense à un milieu plus dense, comment va-t-elle se comporter selon la loi de Snell-Descartes ?

- a) Elle va se ralentir et se rapprocher de la normale

- b) Elle va s'accélérer et s'éloigner de la normale
- c) Elle va continuer à se propager à la même vitesse

**16.** Qu'est-ce que l'indice de réfraction d'un matériau ?

- a) La vitesse de la lumière dans le matériau
- b) La densité du matériau
- c) La mesure de la déviation de la lumière lors de la réfraction

**17.** Quelle est la formule qui exprime la loi de Snell-Descartes ?

- a)  $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$
- b)  $n_1 \cos(\theta_1) = n_2 \cos(\theta_2)$
- c)  $n_1 \tan(\theta_1) = n_2 \tan(\theta_2)$

**18.** Qu'est-ce qu'une fibre optique ?

- a) Un fil conducteur pour l'électricité
- b) Un guide de transmission de la lumière
- c) Un câble pour les signaux radio

**19.** Quel matériau est principalement utilisé pour fabriquer le cœur d'une fibre optique ?

- a) Aluminium
- b) Verre ou plastique à haute pureté
- c) Cuivre

**20.** Que permet la réflexion interne totale dans une fibre optique ?

- a) La transmission de signaux électriques
- b) La transmission de la lumière sur de longues distances
- c) La réduction des pertes thermiques

**21.** Que signifie l'abréviation "GHz" en relation avec les fibres optiques ?

- a) Gigawatts par heure
- b) Gigahertz
- c) Grand Hélium Zéro

**22.** Quel est le rôle de la gaine dans une fibre optique ?

- a) Elle protège le cœur et maintient la réflexion interne

- b) Elle transporte les signaux lumineux
- c) Elle augmente la vitesse de transmission

23. Quelle est la principale application des fibres optiques ?

- a) L'éclairage intérieur
- b) Les communications à haute vitesse
- c) La production d'énergie solaire

24. Qu'est-ce qui se produit avec la taille d'une image formée par un miroir plan par rapport à la taille de l'objet ?

- a) L'image a la même taille que l'objet.
- b) L'image est toujours plus petite que l'objet.
- c) L'image peut être de taille variable en fonction de la distance entre l'objet et le miroir.

25. Quelle est la condition nécessaire pour qu'il y ait réflexion totale interne ?

- a) Le rayon doit passer d'un milieu moins dense à un milieu plus dense.
- b) Le rayon doit passer d'un milieu plus dense à un milieu moins dense.
- c) Le rayon doit passer d'un milieu de même densité

26. Quel est le principal phénomène optique utilisé dans les fibres optiques ?

- a) La diffraction.
- b) La réflexion totale interne.
- c) La réfraction partielle.

**Réponses:** 1. b) - 2. b) - 3. b) - 4. a) - 5. b) - 6. b) - 7. a) - 8. b) - 9. a) - 10. c), 11. b) - 12. a) - 13. b) - 14. b) - 15. a) - 16. a) - 17. a) - 18. b) - 19. b) - 20. b), 21. b) - 22. a) - 23. b) - 24. a) - 25. a) - 26. b).

## Exercices corrigés

### Exercice 1:

Sur l'illustration ci-contre, Kevin est entouré d'une fenêtre, d'un tableau et d'un miroir. Ces trois objets réfléchissent-ils tous la lumière ? Expliquez votre réponse

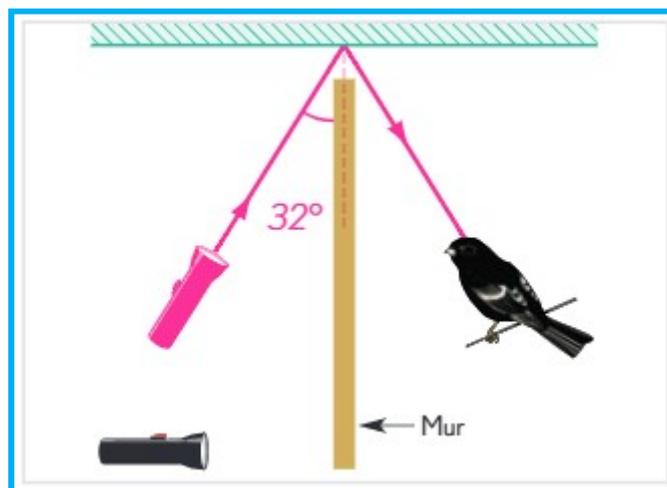


**Solution:**

Oui. Le miroir effectue une réflexion spéculaire et le tableau effectue une réflexion diffuse. Quant à la fenêtre, elle effectue une réflexion diffuse (on peut voir la fenêtre), une réflexion spéculaire ( on voit parfois des images ), une transmission (on voit le paysage à l'extérieur ) et une absorption ( le paysage extérieur paraît un peu plus sombre )

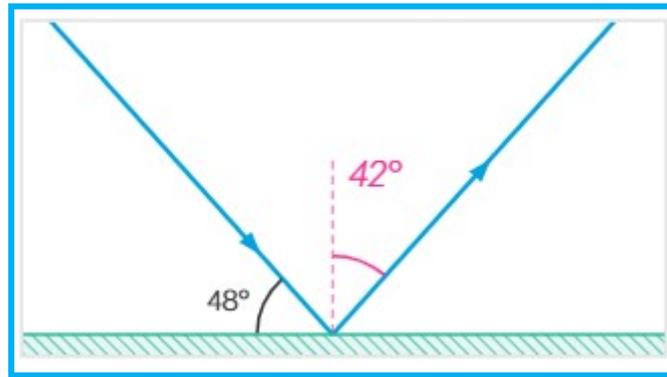
**Exercice 2:**

Sur l'illustration suivante, placez la lampe de poche de façon à éclairer l'oiseau. Indiquez l'emplacement de la lampe de poche et mesurez l'angle d'incidence



**Exercice 3:**

Mesurez l'angle de réflexion sur l'illustration suivante.

**Exercice 4:**

Pourquoi le mot « ambulance » est-il écrit à l'envers à l'avant de ce véhicule d'urgence ?

**Solution:**

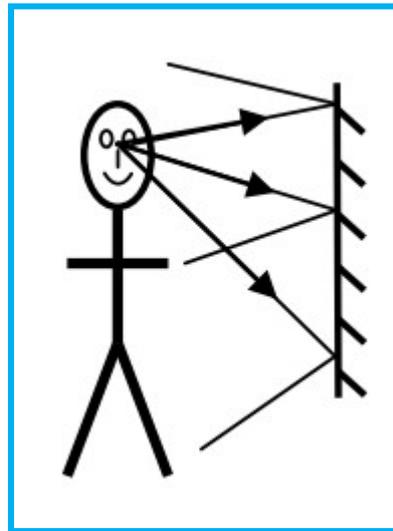
Même si les images dans les miroirs plans sont droites, la gauche et la droite y sont interverties. En écrivant le mot « ambulance » de droite à gauche à l'avant du véhicule, on permet aux conducteurs des voitures qui le précèdent de lire ce mot normalement dans leur rétroviseur, soit de gauche à droite.

**Exercice 5:**

Observer son propre reflet. Un homme est debout devant un miroir plan rectangulaire, fixé sur un mur vertical. Son œil est à  $l = 1,70$  m du sol. La base du miroir est à une hauteur  $h$  au dessus du sol. 1. Déterminer la hauteur  $h$  maximale pour que l'homme voie ses pieds.

2. Comment varie cette hauteur en fonction de la distance  $d$  de l'œil au miroir ?

3. Quelle est la hauteur minimale du miroir nécessaire pour que l'homme puisse se voir entièrement, de la tête (1,80m) au pied ?



**Solution:**

1.  $h_{\max} = l/2 = 85\text{cm}$ .

$h_{\max} = 85\text{cm}$ .

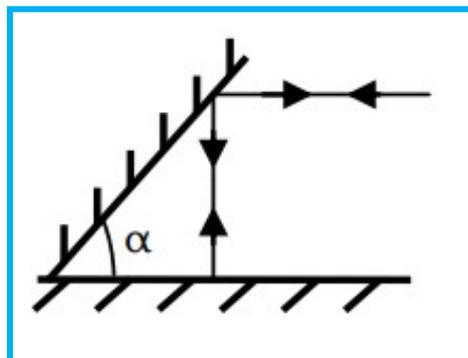
2. Cette hauteur ne dépend pas de la distance œil – miroir.

3. Hauteur min du miroir : 85cm en dessous de l'œil, 5cm au dessus

85cm en dessous de l'œil, 5cm au dessus

→ 90cm (la moitié de sa taille complète dessus).

**Exercice 6:** Réflexion sur deux miroirs



Un système optique est constitué de deux miroirs plans, formant entre eux un angle  $\alpha$ , tel qu'un rayon lumineux incident parallèle à l'un des deux miroirs repart en sens inverse (même support) après avoir subi trois réflexions.

1. Que vaut l'angle d'incidence sur le 1er miroir ?
2. En déduire la valeur de l'angle  $\alpha$ .

**Solution:**

1. Angle d'incidence  $i_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha$  (par rapport à la normale)

$$i_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

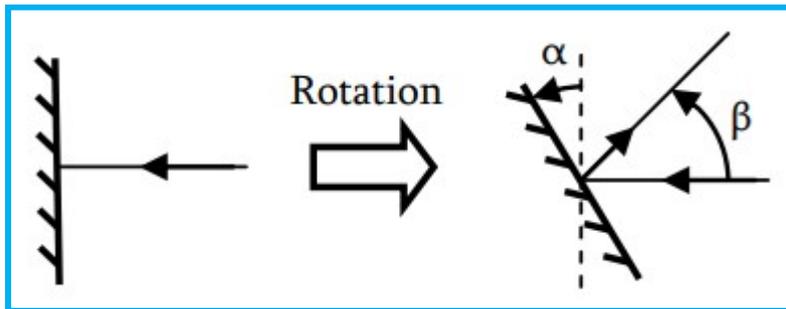
2. Le rayon doit être normal au 2<sup>nd</sup> miroir pour repasser par le même point d'incidence, donc l'angle entre  $-i_1$  et  $r_1$  (réfléchi sur le 1er miroir) doit être de  $\frac{\pi}{2}$ :

$$(-i_1, r_1) = 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \frac{\pi}{2}$$

Ce qui donne:

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

**Exercice 7:**



Un rayon lumineux issu d'une source fixe frappe un miroir plan sous incidence normale. On tourne le miroir d'un angle  $\alpha$  et on observe une déviation angulaire  $\beta$  du rayon réfléchi.

1. Que vaut l'angle d'incidence  $i$  final ?
2. En déduire  $\beta$  en fonction de  $\alpha$

**Solution:**

1. On a un angle d'incidence  $i = -\alpha$  Pratique pour faire des mesures

$$i = -\alpha$$

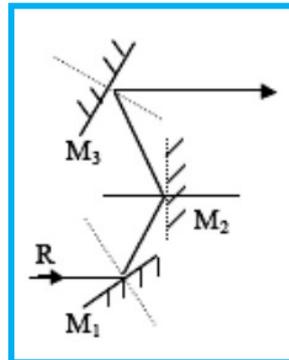
2. Donc  $\beta = -2i = 2\alpha$

$$\beta = -2\alpha$$

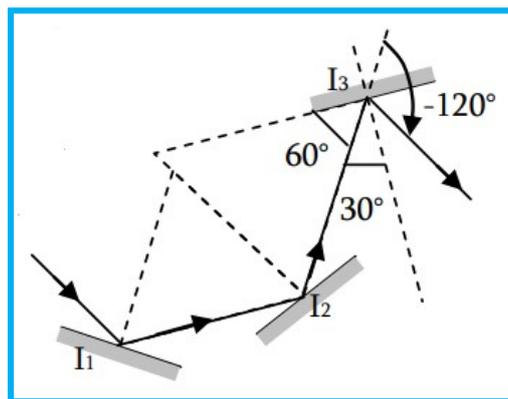
**Exercice8:**

Un rayon lumineux R se propage dans l'air en se réfléchissant successivement sur 3 miroirs plans  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , perpendiculaires à un plan choisi comme plan de la figure. Les angles d'incidence en  $I_1$  sur  $M_1$  et en  $I_2$  sur  $M_2$  valent tous deux  $60^\circ$  et le rayon  $I_1I_2$  est dans le plan de la figure.

1. Que valent les 2 premières déviations angulaires du rayon ?
2. Quelle doit être l'orientation de  $M_3$  pour que, après les 3 réflexions, le rayon réfléchi définitif ait la même direction et le même sens que le rayon incident R ?



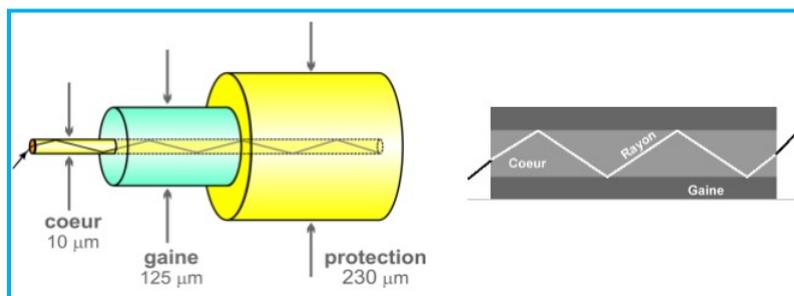
**Solution:**



1. Deux premières déviations angulaires :  $60^\circ$  (angle entre  $i$  et  $r$ , en prenant bien  $i$  dans le sens du parcours)
2. Il faut  $M_3 \parallel I_1I_2$  (voir figure)

**Exercice9:**

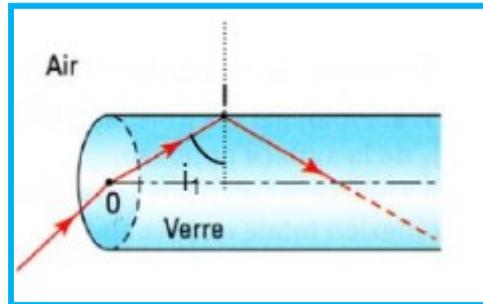
Un rayon lumineux pénètre dans l'une des fibres optiques d'un fibroscope.



1. Représenter, sur le schéma, l'angle d'incidence au point I.
2. Expliquer le phénomène de réflexion totale.
3. Quelles conditions faut-il réunir pour qu'il se produise ?
4. Quel est l'intérêt de la réflexion totale dans la transmission de la lumière par une fibre optique ?

### Solution:

1. voir schéma



2. Le phénomène de réflexion totale se produit lors du changement de milieu de propagation d'une onde lumineuse. Il n'y a plus de rayon réfracté, mais uniquement un rayon réfléchi.
3. Pour qu'il se produise, il faut que l'indice du milieu 1 soit supérieur à celui du milieu 2 (ex : verre dans l'air) et que l'angle d'incidence soit supérieur à un angle limite.
4. La réflexion totale permet à la lumière de rester à l'intérieur de la fibre optique et de se propager d'un bout à l'autre de la fibre optique par réflexions successives

## La réfraction et les dioptres plans

### II. 2. Les dioptres plans

Un dioptre plan est une surface plane qui sépare deux milieux optiques différents, généralement de l'air et un autre matériau, tels qu'un verre ou de l'eau. Les dioptres plans sont utilisés dans de nombreux dispositifs optiques, tels que les lunettes, les loupes, les télescopes, les microscopes et les caméras.

Les dioptres plans peuvent être utilisés pour former des images. Lorsqu'un objet est placé devant un dioptre plan, la lumière réfléchiée et réfractée par le dioptre plan produit une image virtuelle de l'objet. La distance de l'image et la taille de l'image dépendent de la distance entre l'objet et le dioptre plan, ainsi que des propriétés optiques des milieux optiques de part et d'autre du dioptre plan.

Un **dioptre plan** est la surface plane qui sépare deux milieux:

- Transparents:
- Homogènes: milieu de même nature en tout point
- Isotropes: mêmes propriétés quelle que soit la direction de l'espace, d'indices absolus différents.

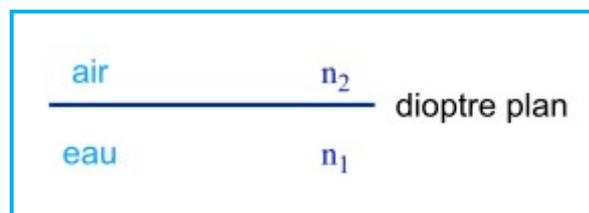


Figure II.9: Dioptre plan

#### ➤ Exemple

La surface libre d'un lac au repos est un dioptre plan: elle représente la surface plane de séparation entre les deux milieux transparents, homogènes et isotropes que sont l'eau et l'air, dont les indices  $n_{\text{eau}}$  et  $n_{\text{air}}$  sont différents.

### II. 2. 1 Indice de réfraction absolu et indice de réfraction relatif

#### II. 2. 1.1. Indice de réfraction absolu

L'indice de réfraction absolu, est une mesure de la vitesse de la lumière dans un milieu par rapport à sa vitesse dans le vide. L'indice de réfraction absolu  $n$  d'un milieu transparent et homogène est le rapport de la vitesse de la lumière de la vide  $c$  sur la vitesse de la lumière dans le

milieu étudié  $v$ . L'indice de réfraction absolu est généralement représenté par la lettre  $n$  et est sans unité.

➤ Le calcul est donc le suivant:

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

Où:

■  $c$  et  $v$ : sont exprimées dans la même unité (en général mètre par seconde ou kilomètre par seconde).

■  $n$ : n'a pas d'unité

■  $c$ : a pour valeur  $3,00 \cdot 10^8$  m/s ou  $3,00 \cdot 10^5$  km/s

- L'indice de réfraction absolu est une grandeur sans unité.
- Pour un liquide :  $1,3 < n < 1,7$  L'indice de réfraction absolu  $n$  dépend de la longueur d'onde de la radiation et de la température.
- L'indice de réfraction absolu permet de décrire le comportement de la lumière dans un milieu différent du vide.

### II.2.1.2. Indice de réfraction relatif

L'indice relatif de réfraction d'un milieu par rapport à un autre est l'inverse du rapport des célérités de la lumière dans les deux milieux considérés.

Si  $n_{2/1}$  est l'indice de réfraction du milieu 2 par rapport au milieu 1 et si  $c_1$  et  $c_2$  sont les célérités respectives de la lumière dans les milieux 1 et 2 alors :

$$n_{2/1} = \frac{c_1}{c_2}$$

L'indice absolu d'un milieu est son indice relatif par rapport au vide.

### II. 2.2. Principe de la réfraction de la lumière

Lorsque la lumière rencontre un dioptre plan, une partie de la lumière est réfléchiée et une autre partie est réfractée. La proportion de lumière qui est réfléchiée ou réfractée dépend des indices de réfraction des deux milieux optiques et de l'angle d'incidence de la lumière.

La réfraction est la déviation de la lumière lorsqu'elle traverse l'interface entre deux milieux transparents d'indices de réfraction différents. L'angle de réfraction  $i_2$  est l'angle que forme le rayon réfracté avec la normale.

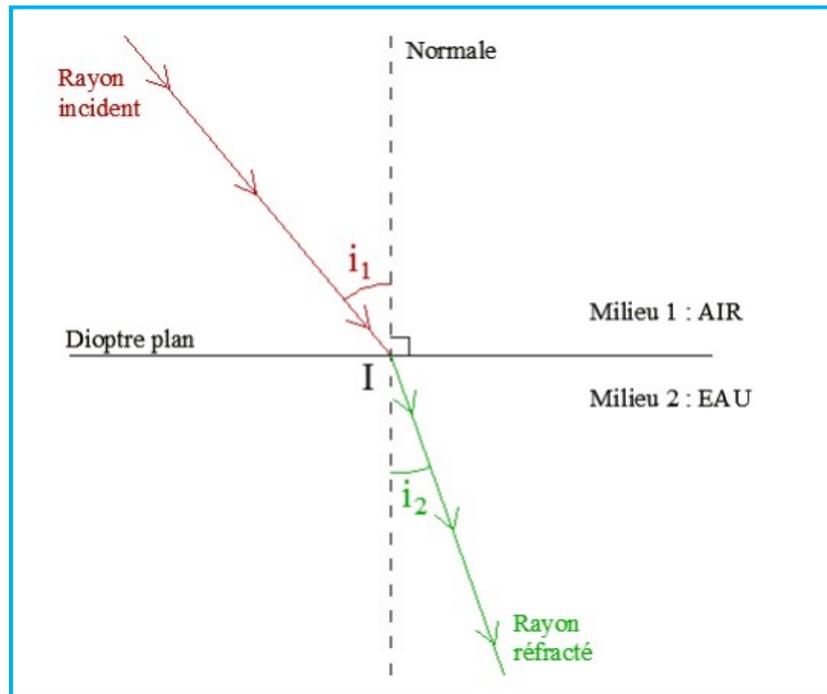


Figure II.10: Rayon réfracté

**Vocabulaire:**

- La surface qui sépare deux milieux transparents différents est appelée le dioptre.
- Le milieu 1 est l'air et le milieu 2 est l'eau.
- Le rayon se propageant dans le milieu 1 est appelé le rayon incident.
- Le point I est le point d'intersection entre le rayon incident et le dioptre et appelé le point d'incidence.
- La droite perpendiculaire au dioptre passant par I est appelée la Normale.
- Le plan défini par le rayon incident et la normale au dioptre est appelé le plan d'incidence.
- Le rayon se propageant dans le milieu 2 est appelé le rayon réfracté
- L'angle entre le rayon incident et la normale au dioptre est appelé angle d'incidence noté  $i_1$ .
- L'angle entre le rayon réfracté et la normale au dioptre est appelé angle de réfraction noté  $i_2$

**Enoncé des deux lois de Descartes**

**1<sup>ère</sup> loi de réfraction:** Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale à la surface de séparation sont dans le plan d'incidence.

**2<sup>ème</sup> loi de réfraction:** L'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  sont liés par la deuxième loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

$n_1$  est l'indice de réfraction du milieu 1.

$n_2$  est l'indice de réfraction du milieu 2.

La loi de la réfraction (loi de Snell-Descartes) stipule que le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction est égal au rapport des indices de réfraction des deux milieux.

La loi de la réfraction (**loi de Snell-Descartes**) permet de calculer l'angle de réfraction et la direction de la lumière qui est réfractée

## II. 2. 2.1. Angle limite, réflexion totale

### II. 2. 2.1.1. Angle de réfraction limite:

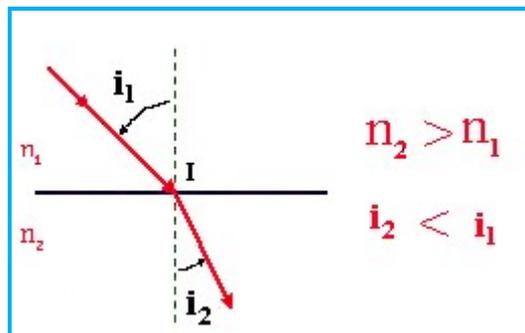
#### Cas où la lumière passe d'un milieu à un autre d'indice plus élevé ( $n_2 > n_1$ ):

Supposons que la lumière se propage d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent (soit  $n_2 > n_1$ ).

En appliquant la formule de Descartes :

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

Alors  $\sin i_2 < \sin i_1$  et donc  $i_2 < i_1$



**Figure II.11:** Rayon réfracté d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent

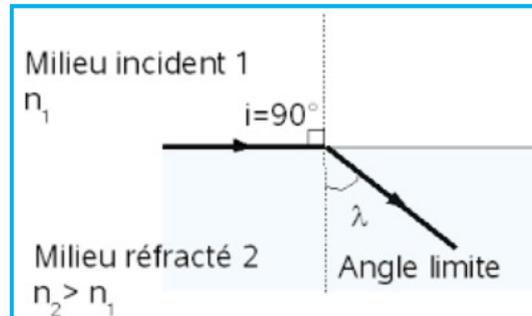
à tout rayon incident correspond donc un rayon réfracté qui se rapproche de la normale en pénétrant dans le milieu plus réfringent.

On retiendra comme règle générale :

*Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent, il se rapproche de la normale au point d'incidence.*

Si **l'incidence est rasante**, c'est-à-dire  $i_1=90^\circ$ , l'angle de réfraction  $i_2$  prend une valeur particulière  $\lambda$  appelée **angle de réfraction limite** défini par :

$$\sin \lambda = \frac{n_1}{n_2}$$



**Figure II.12:** Angle de réfraction limite

**L'angle de réfraction limite** est l'angle d'incidence le plus grand pour lequel un rayon lumineux se réfracte à travers une interface entre deux milieux.

### II.2.2.1.2. Réflexion totale

**Cas où la lumière passe d'un milieu à un autre d'indice moins élevé ( $n_2 < n_1$ ):**

Supposons maintenant que la lumière passe d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent (soit  $n_2 < n_1$ ).

Si l'on fait croître l'angle d'incidence  $i_1$  depuis la valeur 0 (correspondant à l'incidence normale), l'angle de réfraction  $i_2$  croît plus vite:

En appliquant la formule de Descartes :

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

Alors  $\sin i_2 > \sin i_1$  et donc  $i_2 > i_1$

$i_2$  prend la valeur extrême égale à  $90^\circ$  lorsque:  $\sin \lambda = \frac{n_1}{n_2}$  n'est autre que l'angle de réfraction limite.

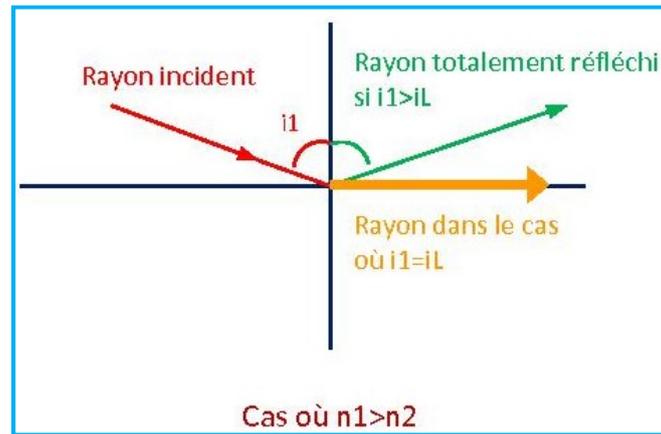


Figure II.13: Réflexion totale

- Lorsque les rayons incidents arrivent sur le dioptre avec **un angle d'incidence supérieur à l'angle limite**, ils subissent une **réflexion totale** alors que pour une valeur inférieure à l'angle limite ils ne subissent qu'une **réflexion partielle**. La surface de séparation des deux milieux se comporte alors comme un miroir parfait.
- On notera que quelle que soit la valeur de l'angle d'incidence sur un dioptre séparant deux milieux d'indices différents il existe toujours un **rayon réfléchi**

### II.2.3. Formule de conjugaison du dioptre plan

Nous avons précédemment noté que l'image à travers un dioptre plan d'un objet situé à l'infini est un point également situé à l'infini. De même, lorsqu'un point objet appartient à la surface du dioptre, son image ponctuelle est parfaitement positionnée puisque les deux points sont confondus.

Dans le cas plus général où le point source  $A_1$  est situé à distance finie et satisfait à la condition de stigmatisme approché, on a établi que :

$$\frac{HA_2}{n_2} = \frac{HA_1}{n_1}$$

à condition que les angles  $i_1$  et  $i_2$  soient suffisamment petits.

Cette relation constitue la **formule de conjugaison du dioptre plan**.

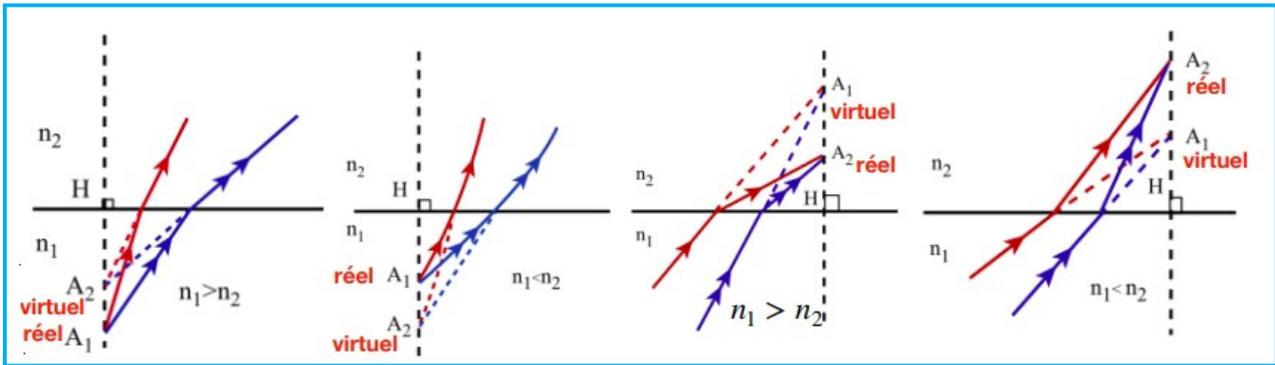


Figure II.14: Constructions d'images

Outre son intérêt pour déterminer mathématiquement les positions relatives de l'objet et de son image par rapport au dioptre, cette formule permet de préciser certaines données qualitatives. En effet on sait que les indices  $n_1$  et  $n_2$  sont des grandeurs positives; par conséquent  $HA_1$  et  $HA_2$  ne peuvent être que de même signe.

#### Ceci signifie que :

Pour un couple de points conjugués  $A_1$  et  $A_2$  appartenant, optiquement parlant aux milieux d'indices respectifs  $n_1$  et  $n_2$

- $A_1$  et son image  $A_2$  sont toujours situés sur la même normale au dioptre
- $A_1$  et son image  $A_2$  sont toujours situés du même côté du dioptre
- $A_1$  et son image  $A_2$  sont toujours de nature différente: si l'un est réel, l'autre est virtuel et réciproquement
- Si  $n_1 > n_2$ ,  $A_1$  est toujours plus éloigné de la surface du dioptre que  $A_2$ ; inversement si  $n_1 < n_2$ ,  $A_1$  est toujours plus proche de cette surface que  $A_2$ .

### II.2.4. Applications de la réfraction de la lumière:

La réfraction de la lumière a de nombreuses applications pratiques, notamment:

- 1- **Lentilles optiques:** Les lentilles optiques utilisent la réfraction de la lumière pour concentrer, diverger ou rediriger par les rayons lumineux. Elles sont utilisées dans des instruments tels que les lunettes, les microscopes, les télescopes et les caméras.
- 2- **Prismes:** Les prismes sont des objets qui utilisent la réfraction de la lumière pour décomposer la lumière en ses différentes couleurs. Les prismes sont utilisés dans les spectromètres pour analyser la décomposition de la lumière.
- 3- **Evaluation de la qualité des gemmes:** Les gemmologues utilisent la réfraction de la lumière pour évaluer la qualité des gemmes. La manière dont la lumière se réfracte dans une pierre précieuse peut indiquer sa pureté et son authenticité.

- 4- **Correction de vue:** Les opticiens utilisent la réfraction de la lumière pour diagnostiquer et corriger les problèmes de vision. ils utilisent des lentilles pour aider à réfracter la lumière correctement sur la rétine de l'œil.
- 5- **Phénomènes naturels:** La réfraction de la lumière est également responsable de nombreux phénomènes naturels tels que les arcs en ciel, les mirages et les aurores boréales.

### QCM

#### Cocher la bonne réponse:

1. Qu'est-ce que la réfraction de la lumière ?
- a) Le changement de direction de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre.
  - b) Le rebondissement de la lumière sur une surface.
  - c) L'absorption totale de la lumière par un objet
2. Selon la loi de la réfraction, quel est l'angle entre le rayon incident et la normale à la surface de réflexion ?
- a) 0 degré.
  - b) 45 degrés.
  - c) 90 degrés.
3. Qu'est-ce qui se produit lorsqu'un rayon de lumière frappe une surface à un angle plus grand que l'angle critique ?
- a) Réflexion totale interne.
  - b) Réfraction.
  - c) Réflexion spéculaire
4. Comment est défini l'angle d'incidence dans la loi de Snell-Descartes ?
- a) L'angle entre la lumière réfléchié et la normale à la surface.
  - b) L'angle entre la lumière incidente et la normale à la surface.
  - c) L'angle entre la lumière réfractée et la normale à la surface.
5. Si la lumière passe d'un milieu moins dense à un milieu plus dense, comment va-t-elle se comporter selon la loi de Snell-Descartes ?
- a) Elle va se ralentir et se rapprocher de la normale.

b) Elle va s'accélérer et s'éloigner de la normale.

6. Qu'est-ce que l'indice de réfraction d'un matériau ?

a) La vitesse de la lumière dans le matériau.

b) La densité du matériau

7. Quelle est la formule qui exprime la loi de Snell-Descartes ?

a)  $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$ .

b)  $n_1 \cos(\theta_1) = n_2 \cos(\theta_2)$ .

c)  $n_1 \tan(\theta_1) = n_2 \tan(\theta_2)$ .

8. Qu'est-ce que l'aberration chromatique ?

a) La déformation de l'image due à des erreurs de conception optique.

b) La dispersion de la lumière en différentes couleurs.

c) La perte d'intensité lumineuse lors de la transmission

9. Qu'est-ce qu'un dioptre plan ?

a) Une surface courbe qui réfracte la lumière.

b) Une surface plane qui sépare deux milieux optiques différents.

c) Une lentille concave.

10. Quel phénomène se produit lorsqu'un rayon lumineux rencontre un dioptre plan ?

a) La réflexion totale interne.

b) La réfraction.

c) La diffraction.

11. Que représente la normale à un dioptre plan ?

a) Une ligne imaginaire perpendiculaire à la surface du dioptre au point de rencontre avec le rayon lumineux.

b) La ligne de propagation du rayon incident.

c) Une ligne courbe tracée sur la surface du dioptre.

12. Si un rayon lumineux va d'un milieu moins dense ( $n_1$ ) à un milieu plus dense ( $n_2$ ) à travers un dioptre plan, quel est le comportement du rayon réfracté ?

a) Il se rapproche de la normale.

b) Il s'éloigne de la normale.

c) Il continue dans la même direction

**13.** Quel est le nom de l'angle entre le rayon incident et la normale au point de rencontre avec le dioptre plan ?

a) Angle d'incidence.

b) Angle de réfraction.

c) Angle de déviation.

**14.** Que se passe-t-il si l'angle d'incidence est supérieur à l'angle critique lorsqu'un rayon lumineux va d'un milieu plus dense à un milieu moins dense ?

a) La réflexion totale interne se produit.

b) La réfraction se produit.

c) Aucun des deux

**15.** Quelle est la condition nécessaire pour qu'un dioptre plan provoque une réflexion totale interne?

a) Le rayon doit passer d'un milieu plus dense à un milieu moins dense.

b) L'angle d'incidence doit être supérieur à l'angle critique.

c) La surface du dioptre doit être parfaitement lisse.

**16.** Quel est le nom de l'angle formé par le rayon réfléchi et la normale sur un dioptre plan ?

a) Angle de réflexion.

b) Angle de déviation.

c) Angle de transmission

**17.** Qu'est-ce que l'angle limite en optique ?

a) L'angle à partir duquel la lumière est totalement réfléchie à la surface de séparation de deux milieux.

b) L'angle à partir duquel la lumière est totalement absorbée par le milieu.

c) L'angle à partir duquel la lumière est partiellement réfractée

**18.** Comment est déterminé l'angle limite pour la réfraction ?

a) En utilisant la loi de Snell-Descartes.

b) En mesurant la longueur d'onde de la lumière.

c) En calculant la vitesse de propagation de la lumière.

**19.** Si la lumière passe d'un milieu plus dense à un milieu moins dense, comment l'angle limite est-il affecté ?

- a) Il augmente.
- b) Il diminue.
- c) Il reste inchangé.

**20.** Quel terme est utilisé pour décrire le phénomène de réflexion totale de la lumière à l'intérieur d'un matériau ?

- a) Réfraction totale interne.
- b) Réflexion diffuse.
- c) Réfraction partielle.

**21.** Quel est l'effet de l'augmentation de la différence d'indice de réfraction entre deux milieux sur l'angle limite ?

- a) L'angle limite augmente.
- b) L'angle limite diminue.
- c) L'angle limite reste inchangé.

**22.** Dans quel cas l'angle limite est-il égal à 90 degrés ?

- a) Lorsque les deux milieux ont le même indice de réfraction.
- b) Lorsque la lumière passe d'un milieu moins dense à un milieu plus dense.
- c) Lorsque la lumière passe d'un milieu plus dense à un milieu moins dense.

**23.** Quel est l'angle critique pour la réfraction lorsque l'indice de réfraction du premier milieu est 1.5 et celui du second milieu est 1.0 ?

- a) 30 degrés.
- b) 45 degrés.
- c) 60 degrés

**24.** Quel terme décrit la déviation de la lumière lorsqu'elle est soumise à la réflexion totale interne?

- a) Dispersion.
- b) Réfraction.
- c) Réflexion.

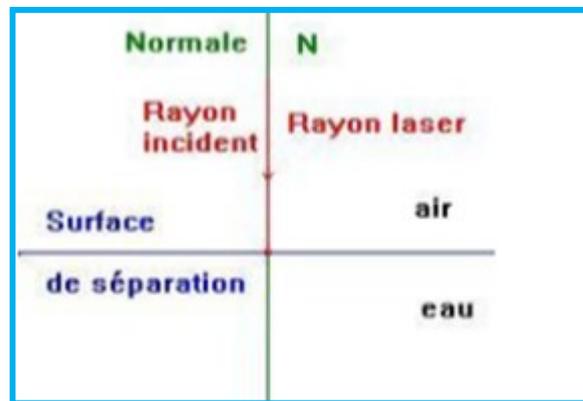
**Réponses:** 1. a) - 2. b) - 3. a) - 4. b) - 5. a) - 6. a) - 7. a) - 8. b) - 9. b) - 10. b), 11. a) - 12. a) - 13. a) - 14. a) - 15. b) - 16. a) - 17. a) - 18. a) - 19. a) - 20. a), 21. a) - 22. b) - 23. a) - 24. a).

### Exercices corrigés

#### Exercice 1:

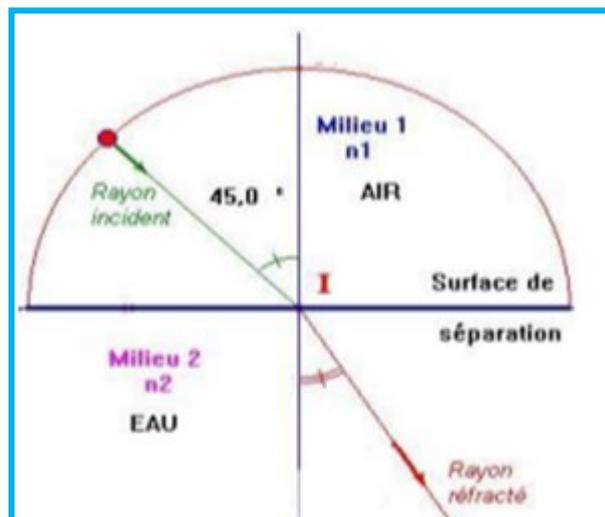
On remplit un aquarium d'eau. On éclaire la surface de l'eau avec un laser rouge.

- a)- On oriente le laser perpendiculairement à la surface de l'eau. Quelle est la valeur de l'angle d'incidence ?
- b)- À l'aide de la deuxième loi de Descartes, en déduire la valeur de l'angle de réfraction.



- c)- On éclaire maintenant la surface de l'eau avec une incidence de  $45^\circ$ . Quel sera la valeur de l'angle de réfraction ?

Données : indice de réfraction de l'eau  $n_{\text{eau}} = 1,33$



#### Solution:

- a) L'angle d'incidence se mesure par rapport à la normale à la surface de séparation.

Donc:

$$i_1 = 0^\circ$$

b) Valeur de l'angle de réfraction.

- Notations : angle d'incidence  $i_1$ , indice réfraction de l'air :  $n_1$  ; angle de réfraction  $i_2$ , indice de réfraction de l'eau :  $n_2$ .

- La deuxième loi de Descartes appliquée à la situation permet d'écrire la relation suivante :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

$$i_2 = 0^\circ$$

L'angle de réfraction est nul lui-aussi.

c) Loi de Descartes,  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

$$i_2 = 32^\circ$$

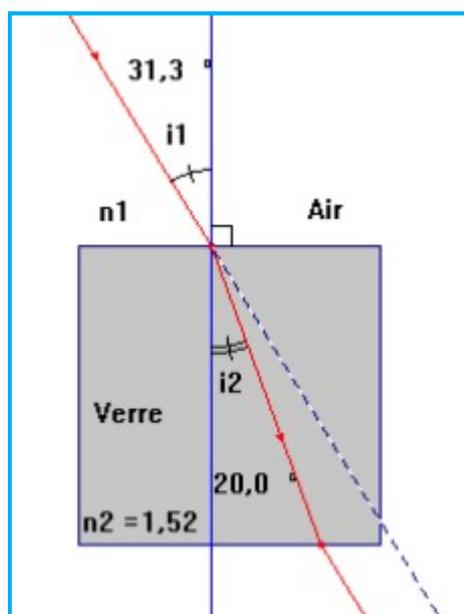
### Exercice 2:

L'un des rayons d'un faisceau de lumière, se propageant dans l'air, et arrivant sur une surface plane de verre. Données : indice de réfraction du verre  $n_{\text{verre}} = 1,52$ .

1. Schématiser la situation illustrant le phénomène de réfraction.
2. Écrire la deuxième loi de Descartes.
3. En déduire la valeur de l'angle d'incidence permettant d'obtenir un angle de réfraction de  $20^\circ$ .

### Solution:

1. voir schéma à gauche



2. Loi de Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

3. Valeur de l'angle d'incidence  $i_1$ .

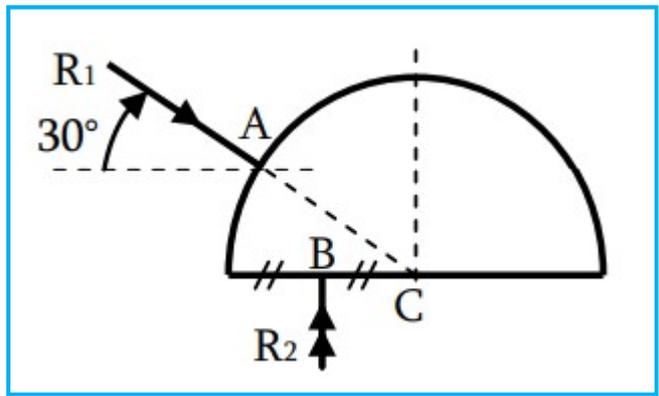
$$i_1 = 31.30^\circ$$

**Exercice 3:**

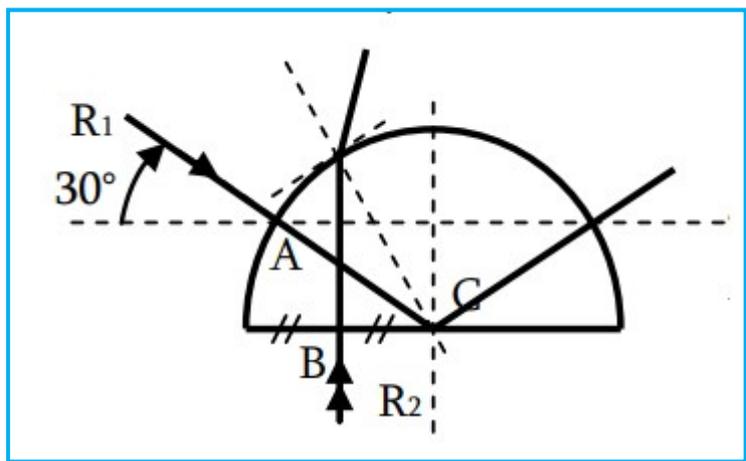
On considère un bloc de verre (indice  $n = 1,5$ ), de centre O et de rayon R, placé dans l'air d'indice considéré égal à celui du vide.

Déterminer les trajets des deux rayons indiqués sur la figure ci-dessous jusqu'à leur sortie du bloc.

**Remarque :** On pourra faire de même en exercice pour n'importe quel rayon arrivant sur le cylindre.



**Solution:**



**Rayon 1:** Réflexion totale car angle supérieur à l'angle limite

$$\text{Arcsin}\left(\frac{n_1}{n_2}\right) = 41.8^\circ$$

Rayon 2 : Arrive sur la sphère avec l'angle  $i_2$  tq

$$\sin(i_2) = \frac{R}{\frac{R}{2}} = \frac{1}{2}$$

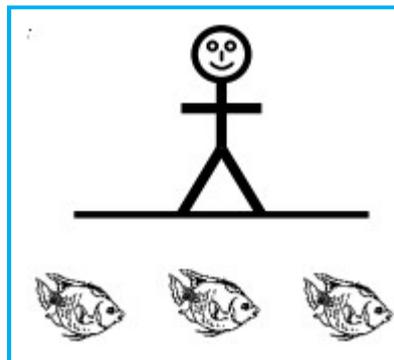
ce qui donne  $i_2 = 30^\circ < i_{\text{lim}}$ , il y a réfraction, le rayon de sortie formant avec la normale l'angle

$$i_3 = \text{Arcsin}\left(\frac{n_2 \sin(i_2)}{n_1}\right) = 48.6^\circ$$

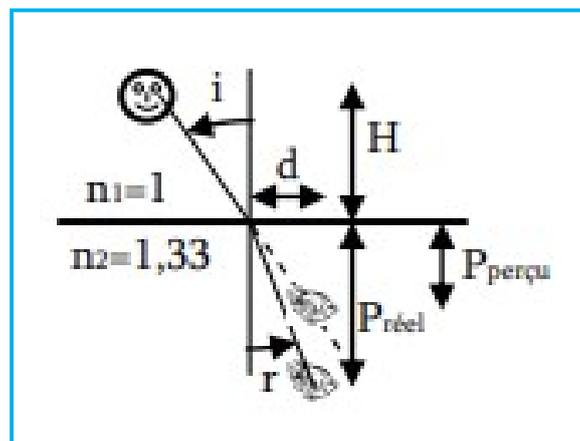
**Exercice 4:**

Un pêcheur, dont les yeux sont à 1,60 m au dessus de l'eau, regarde un petit poisson situé à 0,60 m au dessous de l'eau (d'indice  $n_2 = 1,33$ ) ; les rayons arrivant à ses yeux avec un angle de  $15^\circ$ .

1. A quelle distance le pêcheur voit-il le poisson ?
2. A quelle distance le poisson voit-il le pêcheur ?
3. Et si les rayons parvenant à l'œil du pêcheur sont inclinés de  $30^\circ$ ? De  $45^\circ$ ? De  $60^\circ$ ? Et vertical? Commenter.



**Solution:**



$$1. \text{ On a: } \begin{cases} \tan(i) = \frac{d}{P_{\text{perçu}}} \\ \tan(i) = \frac{d}{P_{\text{réel}}} \\ n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \end{cases}$$

$$\text{Donc: } P_{\text{perçu}} = \frac{d}{\tan(i)} = \frac{P_{\text{réel}} \times \tan(r)}{\tan(i)} = \frac{P_{\text{réel}} \times \sin(r) \times \cos(i)}{\sin(i) \times \cos(r)}$$

On simplifie:

$$P_{\text{perçu}} = \frac{P_{\text{réel}} \times n_1 \times \cos(i)}{n_2 \times \sqrt{1 - \sin^2(r)}}$$

$$P_{\text{perçu}} = \frac{P_{\text{réel}} \times n_1 \times \cos(i)}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2(i)}}$$

Pour  $i = 15^\circ$ , cela donne:

$$P_{\text{perçu}} = 44.4 \text{ cm}$$

2. Le poisson voit le pêcheur plus loin, on retourne la formule :

$$H_{\text{perçu}} = \frac{H_{\text{réelle}} \times \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2(i)}}{n_1 \times \cos(i)}$$

$$H_{\text{perçu}} = 2.16 \text{ m}$$

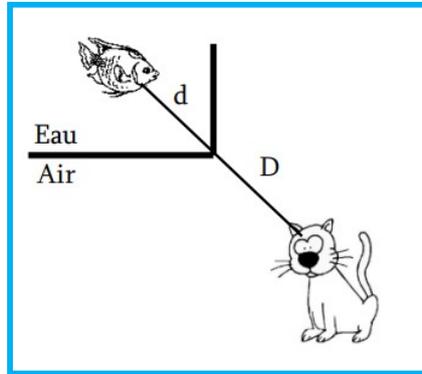
3. Différentes valeurs en fonction de l'angle :

| Angle                   | 0°   | 15°  | 30°  | 45°  | 60°  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| $P_{\text{réel}} (cm)$  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
| $P_{\text{perçu}} (cm)$ | 45.1 | 44.4 | 42.2 | 37.7 | 29.7 |

On voit que le dioptré plan-eau n'est pas stigmatique, puisque tous les rayons émergeant de l'eau ne se croisent pas en une unique image, mais en une zone image (intersection dépendant de l'angle d'émergence).

**Exercice 5:**

Un chat se place au coin d'un aquarium, pour y observer un poisson. On suppose que l'angle entre les deux faces de l'aquarium est un angle droit, et que le chat ainsi que le poisson se trouvent sur la bissectrice de cet angle. Le chat observe alors deux fois le même poisson !!!

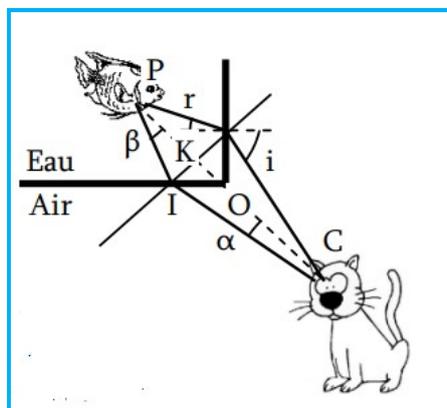


Le chat est à une distance  $D=50\text{cm}$  du coin de l'aquarium, et le poisson à une distance  $d$  de ce coin. L'indice de l'air est  $n_{\text{air}} = 1,00$ , et celui de l'eau est  $n_{\text{eau}} = 1,33$ . Le chat voit les deux images du poisson symétriquement par rapport à la bissectrice, sous un angle  $\alpha = 6^\circ$ .

1. Représenter le trajet des rayons lumineux issus du poisson qui atteignent l'œil du chat.
2. Déterminer, en fonction de  $\alpha$ , l'angle que font les rayons atteignant l'œil du chat avec les normales aux faces de l'aquarium.
3. Déterminer l'angle que font les rayons issus du poisson par rapport à la bissectrice.
4. Calculer la distance  $d$ .

**Solution:**

1. Trajet des rayons:



2. Dans le triangle COI:

$$\alpha + \left(\frac{\pi}{2} - i\right) + \left(\pi - \frac{\pi}{4}\right) = \pi$$

Donc

$$i = \alpha + \frac{\pi}{4} = 51^\circ$$

$$i = 51^\circ$$

3. Même relation:

$$\beta = -r + \frac{\pi}{4} = 9^\circ 15'$$

(r donné par la loi de Descartes:  $\sin(i) = n \sin(r)$ )

$$\beta = 9^\circ 15'$$

## Le prisme

### II.3. Prisme (optique) – Définition

Un **prisme** est un élément optique utilisé pour réfracter la lumière, la réfléchir ou la disperser en ses constituants (les différents rayonnements de l'arc-en-ciel pour la lumière blanche).



Figure II.15 : Dispersion de la lumière par le prisme

Du point de vue de l'optique géométrique, le **prisme** est l'association de deux **dioptres plans non parallèles** limitant un milieu d'indice  $n$ .

- L'intersection de ces deux dioptres est appelée **arête** du prisme.
- Une **section principale** est l'intersection du prisme par un **plan perpendiculaire à l'arête** du prisme.
- L'angle du prisme est **l'angle au sommet** de la section principale.

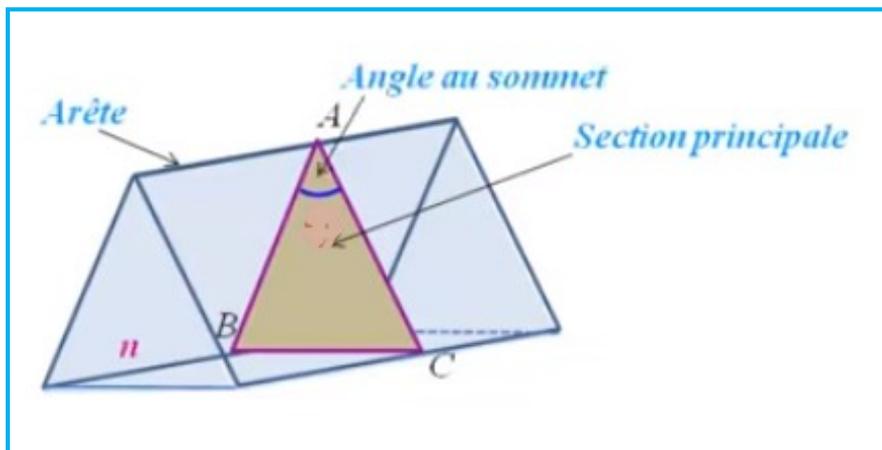


Figure II.16: Schématisation d'un prisme

Du point de vue de l'optique géométrique, un prisme est l'association de deux dioptres plans non parallèles.

Lorsque la lumière passe de l'air au verre, par exemple, elle est réfractée. Lorsqu'elle ressort par l'autre face, elle est de nouveau réfractée. Le rayon ou faisceau incident est donc dévié. Mais l'indice de réfraction n'est pas le même pour les différentes longueurs d'onde. De sorte que, un pinceau de lumière blanche est séparé en ses composantes: le bleu est plus dévié que le jaune, lui-même plus dévié que le rouge (cf figure II.15). Dans ces conditions, le prisme peut être utilisé pour analyser un rayonnement visible polychromatique (spectroscopie).

### II.3.1. Formules d'un prisme et marche des rayons

Un prisme d'indice  $n$  est composé de deux dioptres plans faisant un angle  $A$ . Suivant la figure II.17, un rayon lumineux entre par la face 1 sous l'incidence  $i$  et sort par la face 2 sous l'incidence  $i'$ , les angles de réfraction correspondants dans le prisme sont  $r$  et  $r'$ ,  $D$  est la déviation du rayon provoquée par le prisme. La convention de signe angulaire est normale pour la face 1 et inversée pour la face 2.

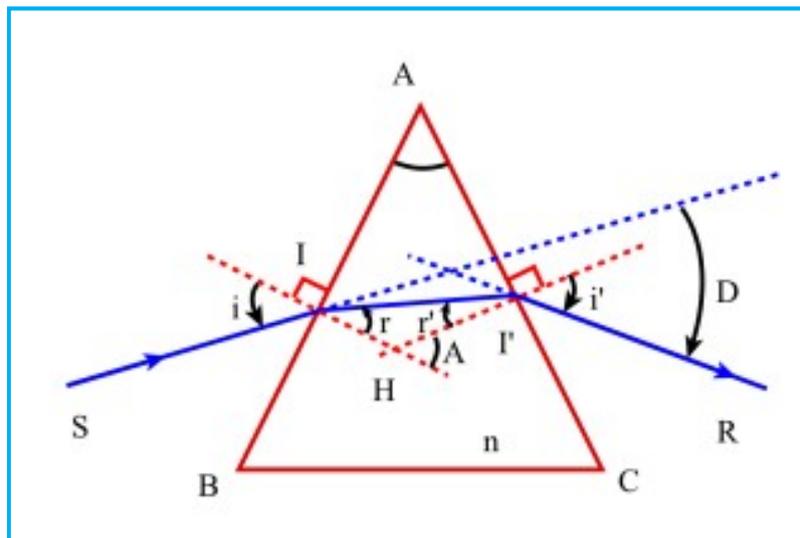


Figure II.17: Chemin d'un rayon lumineux dans un prisme

#### Vocabulaire:

$A$  : Angle du prisme

$i$  : Angle d'incidence sur la face d'entrée

$r$  : Angle de réfraction sur la face d'entrée

$r'$  : Angle d'incidence sur la face de sortie

$i'$  : Angle d'émergence sur la face de sortie lorsqu'il existe

D : Angle dont il faut faire tourner le prolongement du rayon incident pour l'appliquer sur le rayon émergent

Nous avons le formulaire suivant:

D'après les lois de Snell-Descartes en I et I' imposent les deux relations suivantes :

En I, on a:

$$\sin(i) = n \cdot \sin(r) \quad (1)$$

En J, on a:

$$\sin(i') = n \cdot \sin(r') \quad (2)$$

Dans le triangle AIJ, on a:

$$\pi = A + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right)$$

Ainsi l'angle au sommet A du prisme est donné par la relation:

$$r + r' = A \quad (3)$$

Pour le calcul de l'angle de déviation D du prisme

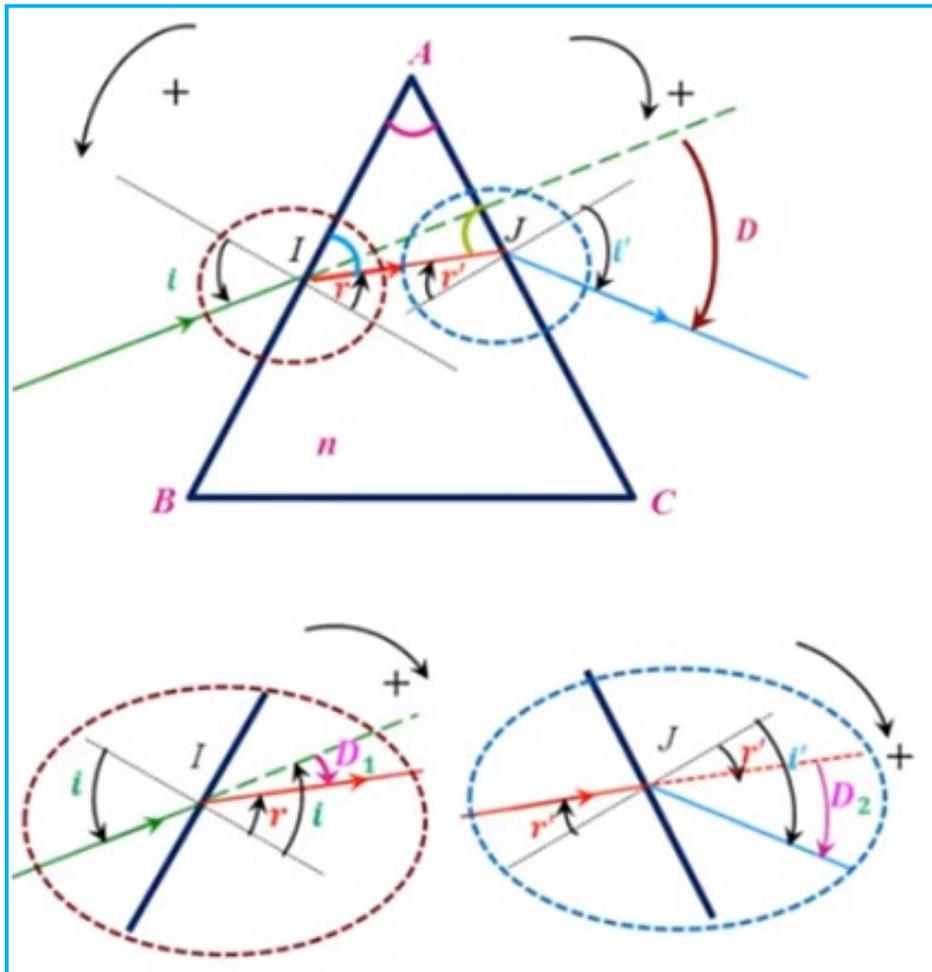


Figure II.18: Angle déviation

On a:

$$D = D_1 + D_2$$

$$D_1 = i - r$$

$$D_2 = i' - r'$$

$$D = (i - r) + (i' - r')$$

Ainsi l'angle de déviation  $D$  est donné par la formule:

$$D = i + i' - A \quad (4)$$

L'angle de déviation pour un prisme est l'angle entre la direction d'arrivée d'un faisceau de lumière et la direction dans laquelle il ressort du prisme après avoir été réfracté et réfléchi à l'intérieur du prisme.

**A retenir**

$$\sin(i) = n \cdot \sin(r)$$

$$\sin(i') = n \cdot \sin(r')$$

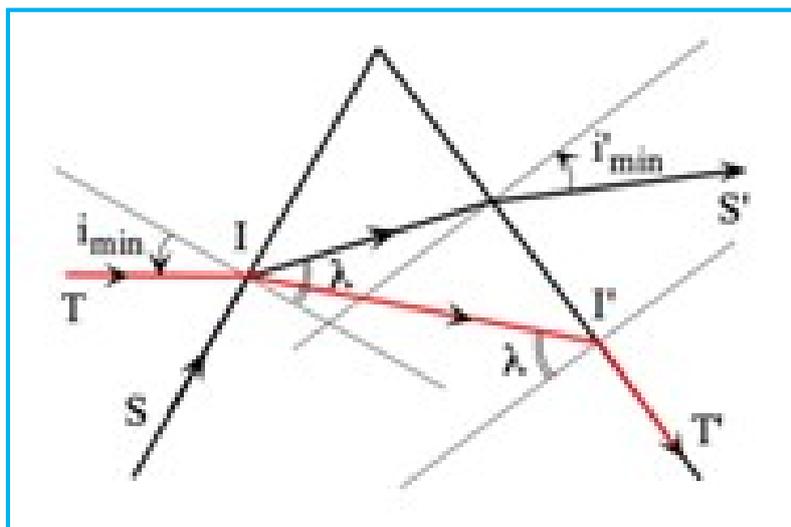
$$r + r' = A$$

$$D = i + i' - A$$

**II.3.2. Conditions d'émergence d'un rayon du prisme**

Il y a deux conditions nécessaires pour qu'un rayon lumineux puisse émerger du prisme :

- ❖ Condition sur l'angle  $A$
- ❖ Condition sur l'incidence  $i$



**Figure II.19:** Emergence sous l'angle d'incidence:  $i'_{min}$

**Condition sur l'angle A**

Le rayon intermédiaire II' se réfracte en I' si:

$$r' \leq \lambda \rightarrow A - r \leq \lambda \text{ ou } A \leq \lambda + r \text{ or } r \leq \lambda \text{ donc:}$$

$$A \leq 2\lambda$$

**Condition sur l'angle d'incidence**

Si  $A < 2\lambda$  les rayons qui peuvent émerger sont ceux pour lesquels

$$r' \leq \lambda \rightarrow A - r \leq \lambda \text{ ou encore } r \geq A - \lambda \text{ d'où } \sin r \geq \sin(A - \lambda)$$

$$\text{Or } \sin i = n \sin r \rightarrow \sin i \geq n \sin(A - \lambda)$$

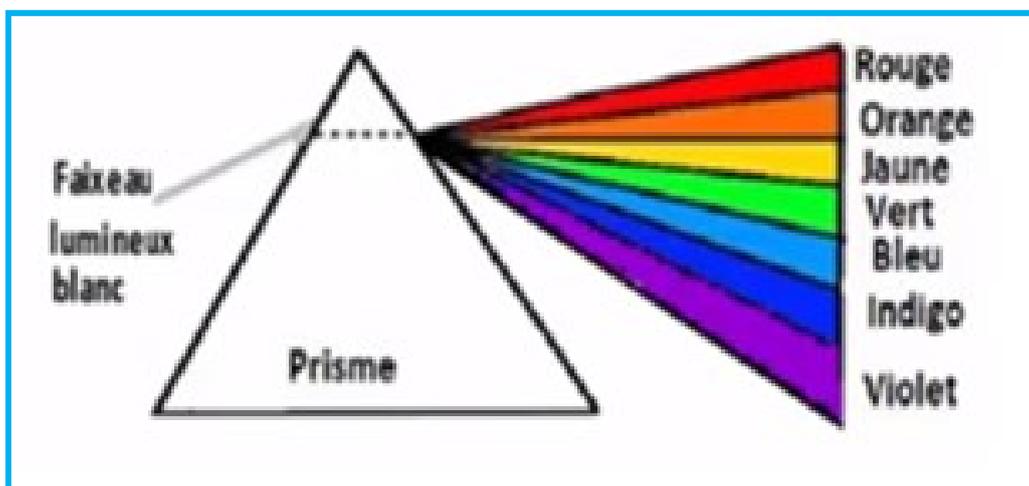
Donc

$$i \geq i_{min} \text{ tel que } \sin i_{min} = n \sin(A - \lambda)$$

Un rayon TI arrivant sur la surface du premier dioptre sous l'incidence  $i_{min}$  émerge en rasant la surface du second dioptre.

D'après la loi du retour inverse de la lumière, un rayon incident SI rasant la surface du premier dioptre émergera sous l'angle d'incidence:

$$i'_{min} = i_{min}$$

**II.3.3. La dispersion de la lumière**

**Figure II.20:** La lumière blanche est séparée en ses différentes couleurs constitutives (rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet)

**La dispersion de la lumière** par un prisme est un phénomène optique dans lequel la lumière blanche est séparée en ses différentes couleurs constitutives (rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet), en raison de leur différente vitesse de propagation dans le matériau optique du prisme.

Lorsque **la lumière blanche** traverse un prisme, elle est déviée de sa trajectoire initiale en raison de la différence de réfraction des différentes couleurs qui la composent. La lumière rouge, qui se propage plus lentement dans le matériau optique du prisme, est moins déviée que la lumière violette, qui se propage plus rapidement. Cela conduit à une séparation des différents couleurs de la lumière, qui se manifeste sous forme d'un spectre coloré allant du rouge au violet.

**Le phénomène de dispersion** de la lumière par un prisme est utilisé dans de nombreuses applications, telle que la spectroscopie, l'imagerie, l'éclairage, etc. par exemple, dans la spectroscopie, la dispersion de la lumière par un prisme est utilisée pour étudier la composition des matériaux, en séparant les différentes longueurs d'onde de la lumière émise ou absorbée par ceux-ci.

#### II.3.4. Le stigmatisme

Le stigmatisme du prisme est un terme utilisé pour décrire la capacité d'un prisme à former une image nette et exempte de distorsion. En général, le stigmatisme est défini comme la propriété d'un système optique à former des images de points sur l'axe optique en des points uniques sur l'image.

Dans le cas d'un prisme, le stigmatisme dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité optique du matériau utilisé pour fabriquer le prisme, la géométrie du prisme, l'angle d'incidence de la lumière et la longueur d'onde de la lumière.

Pour obtenir un stigmatisme de qualité, le prisme doit être taillé avec une grande précision, et l'angle d'incidence de la lumière doit être choisi de manière à minimiser les effets de la dispersion chromatique.

## QCM

## Cocher la bonne réponse:

1. Quelle forme a généralement un prisme optique ?
  - a) Rectangulaire
  - b) Triangulaire
  - c) Circulaire
  
2. Quel phénomène optique est associé à l'utilisation d'un prisme ?
  - a) Réfraction
  - b) Réflexion
  - c) Diffraction
  
3. Quel est le principal effet d'un prisme sur la lumière qui le traverse ?
  - a) Dispersion
  - b) Réflexion
  - c) Diffraction
  
4. Comment la dispersion de la lumière se produit-elle dans un prisme ?
  - a) En raison de la réfraction, les différentes longueurs d'onde se déplacent à des vitesses différentes dans le verre.
  - b) En raison de la réflexion, les différentes longueurs d'onde sont séparées.
  - c) En raison de la diffraction, les différentes longueurs d'onde se courbent à des angles différents.
  
5. Qu'est-ce que la dispersion de la lumière ?
  - a) Le phénomène où la lumière change de direction en passant d'un milieu à un autre.
  - b) Le phénomène où la lumière se décompose en différentes couleurs en passant à travers un prisme.
  - c) Le phénomène où la lumière est réfléchiée par une surface lisse.
  
6. Quelle loi de la réfraction est appliquée dans l'analyse de la dispersion de la lumière par un prisme ?
  - a) Loi de Snell-Descartes

- b) Loi de Newton
- c) Loi de Kepler

7. Quel angle est important pour la dispersion de la lumière par un prisme ?

- a) Angle d'incidence
- b) Angle de réfraction
- c) Angle de déviation

8. Comment un prisme dévie-t-il la lumière ?

- a) En réfléchissant la lumière
- b) En réfractant la lumière
- c) En diffractant la lumière

9. Quel est le nom donné à la figure géométrique formée par les côtés inclinés d'un prisme ?

- a) Sommet
- b) Base
- c) Face

10. Quel terme désigne la distance entre les surfaces parallèles d'un prisme ?

- a) Hauteur
- b) Épaisseur
- c) Largeur

11. Quel phénomène de la lumière est illustré par le spectre coloré produit par un prisme ?

- a) Réflexion
- b) Diffraction
- c) Dispersion

12. Comment la déviation de la lumière par un prisme dépend-elle de la longueur d'onde ?

- a) Elle dépend de la fréquence
- b) Elle dépend de la vitesse de la lumière
- c) Elle dépend de la couleur

13. Quel effet un prisme a-t-il sur la direction d'un faisceau de lumière incident ?

- a) Il le dévie vers le bas

- b) Il le dévie vers le haut
- c) Il le dévie vers le côté

14. Quel terme désigne la distance entre les surfaces parallèles d'un prisme ?

- a) Hauteur
- b) Épaisseur
- c) Largeur

15. Quel est le nom donné à l'angle formé entre les surfaces inclinées d'un prisme ?

- a) Angle de déviation
- b) Angle de réfraction
- c) Angle du prisme

16. Quel est l'effet de l'indice de réfraction du prisme sur la déviation de la lumière ?

- a) Plus l'indice est élevé, plus la déviation est grande
- b) Plus l'indice est bas, plus la déviation est grande
- c) L'indice de réfraction n'a pas d'effet sur la déviation

17. Quelle couleur de lumière subit la plus grande déviation lorsqu'elle passe à travers un prisme ?

- a) Rouge
- b) Violet
- c) Vert

18. Quelle est la couleur de la lumière qui subit la moins grande déviation lorsqu'elle passe à travers un prisme ?

- a) Rouge
- b) Bleu
- c) Vert

19. Quel effet un prisme a-t-il sur la direction d'un faisceau de lumière incident ?

- a) Il le dévie vers le bas
- b) Il le dévie vers le haut
- c) Il le dévie vers le côté

20. Quel est le nom donné à l'angle formé entre les surfaces inclinées d'un prisme ?

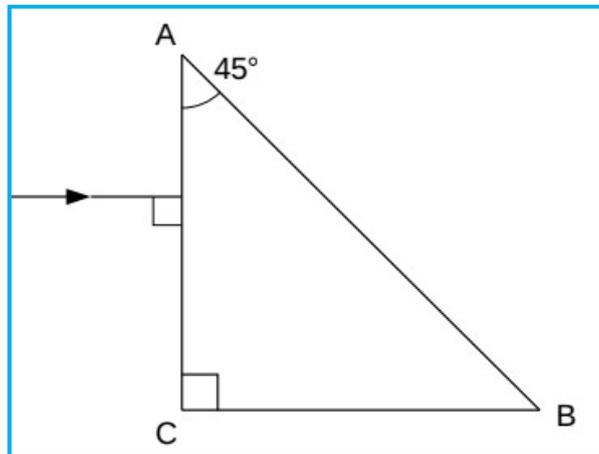
- a) Angle de déviation
- b) Angle de réfraction
- c) Angle au sommet (du prisme).

**Réponses:** 1. b) - 2. a) - 3. a) - 4. a) - 5. b) - 6. a) - 7. c) - 8. b) - 9. c) - 10. b) - 11. c) - 12. c) - 13. c) - 14. b) - 15. c) - 16. a) - 17. b) - 18. a) - 19. c) - 20. c) -

**Exercices corrigés**

**Exercice1**

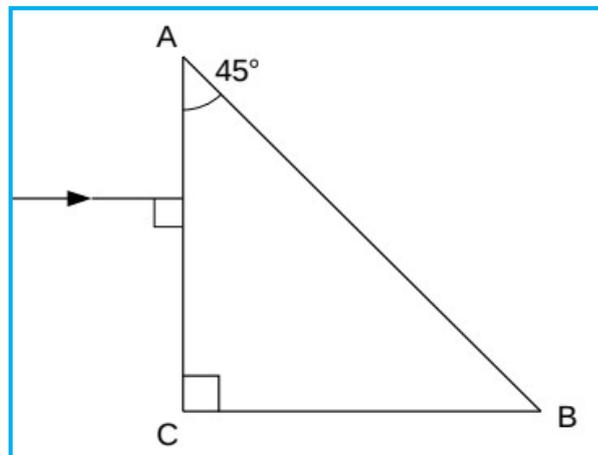
1. Compléter le chemin du rayon lumineux qui entre dans le prisme :



Justifier qu'il y a réflexion totale sur la face AB.

On donne : 1,52 : indice de réfraction du prisme

2. Le prisme est maintenant plongé dans l'eau.

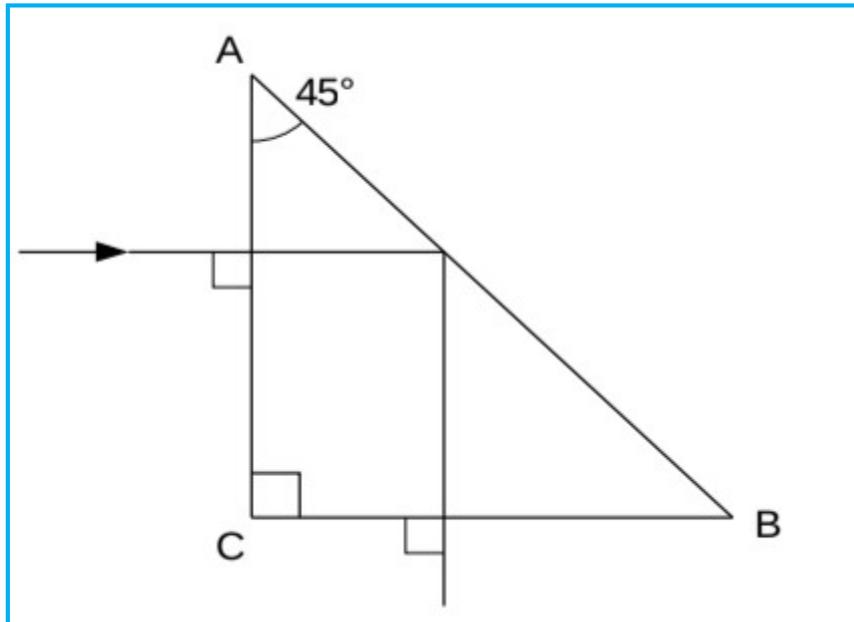


Compléter le chemin du rayon lumineux qui entre dans le prisme.

On donne : 1,33 : indice de réfraction de l'eau

**Solution:**

1.



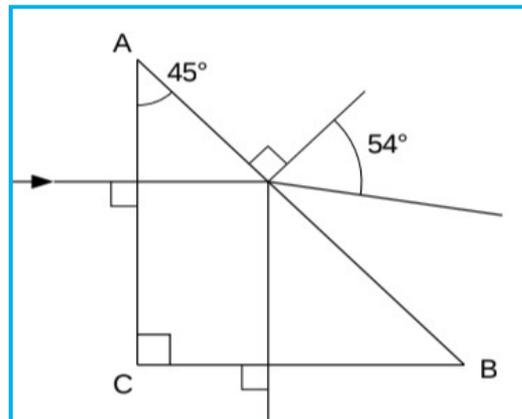
Calculons l'angle critique :

$$\sin i_c = 1/1,52$$

$$i_c = 41^\circ$$

$i_c < 45^\circ$  donc il y a bien réflexion totale sur la face AB.

2.

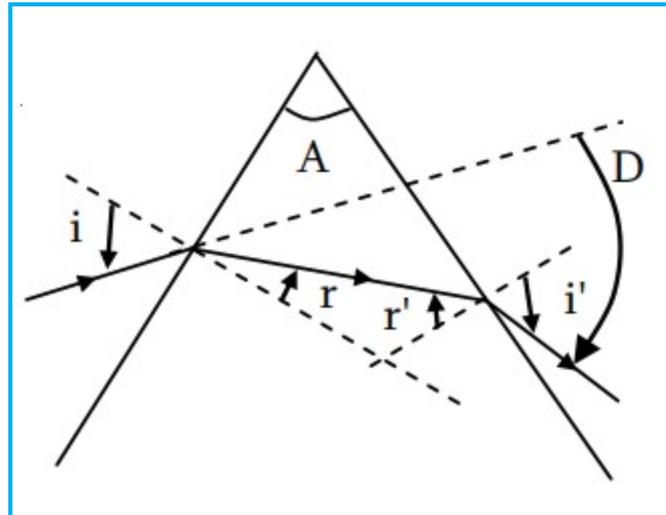


$$1,52 \sin(45^\circ) = 1,33 \sin(i_2)$$

$$i_2 = 54^\circ$$

**Exercice 2**

Un rayon incident arrivant sur un prisme d'indice  $n$  et d'angle  $A$  est dévié en sortie, d'un angle  $D$ .  
Tous les angles sont choisis positifs.



1. Ecrire les lois de la réfraction.
2. Ecrire la relation entre  $r$ ,  $r'$  et  $A$  (Attention aux signes)
3. Montrer que.

$$D = |i - r| + |i' + r'| = -(i - r) + (i' - r')$$

4. En déduire l'expression de  $D$  en fonction de  $n$  et  $A$ , dans le cas de petits angles.

**Solution:**

On a  $i > 0$ ,  $r > 0$ , mais  $r'$  et  $i'$  sont négatifs. On prend aussi  $A$  positif.

1. Réfraction :

$$\sin(i) = n \cdot \sin(r) \quad (1)$$

$$\sin(i') = n \cdot \sin(r') \quad (2)$$

2. Dans le tri de sommet  $A$  :

$$\pi = A + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right)$$

Ce qui donne:

$$A - r + r' = 0$$

3. On peut décomposer la déviation totale en 2 déviations, d'abord sur le premier puis sur le second dioptre, égale à  $|i - r|$  puis à  $|i' + r'|$

En intégrant les signes, cela nous donne l'expression voulue

$$D = -(i - r) + (i' - r')$$

4. Dans le cas de petits angles, on peut simplifier les sinus, donc

$$D = -(i - r) + (i' - r') = (1 - n)(r - r')$$

$$D = (1 - n) A$$

On remarque que l'angle  $D$  est négatif ici, c'est bien ce que l'on a sur la figure. On trouvera souvent l'expression donnée avec tous les angles positifs :

$$D = (n - 1) A > 0$$

# Chapitre III

## Miroir sphérique



### III Miroir sphérique

#### III.1. Un miroir sphérique : Définition

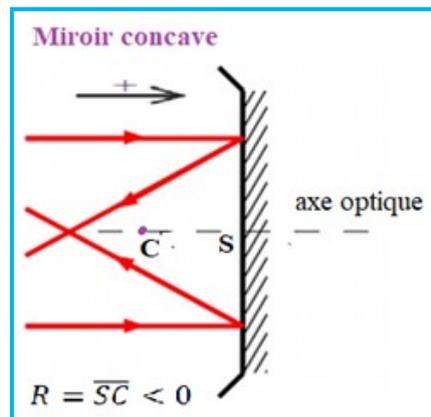
Un **miroir sphérique** est un type de miroir courbe qui a une surface de réflexion en forme de sphère. Il existe deux types de miroir sphériques: les miroirs concaves et les miroirs convexes.

Un **miroir concave** a une surface de réflexion qui s'incurve vers l'intérieur. Lorsque la lumière frappe ce miroir, elle est réfléchi vers l'intérieur, convergeant en un point appelé foyer. Les miroirs concaves sont souvent utilisés dans les télescopes, les projecteurs de cinéma et les phares de voiture.

**Schématisation:**

Un **miroir concave** est métallisé vers l'intérieur de la sphère:

- Il est convergent.
- Tout rayon arrivant sur le miroir se rapproche de son axe de symétrie, appelé axe optique.



**Figure III.1:** Miroir concave

Un **miroir convexe** a une surface de réflexion qui s'incurve vers l'extérieur. Lorsque la lumière frappe ce miroir, elle est réfléchi vers l'extérieur, divergeant à partir d'un point appelé foyer virtuel. Les miroirs convexes sont souvent utilisés dans les rétroviseurs de voiture, les magasins de détail pour surveiller les clients et les intersections pour aider à prévenir les collisions.

Un miroir convexe, est métallisé vers l'extérieur de la sphère:

- Il est divergent.
- Tout rayon arrivant sur le miroir s'éloigne de l'axe optique.

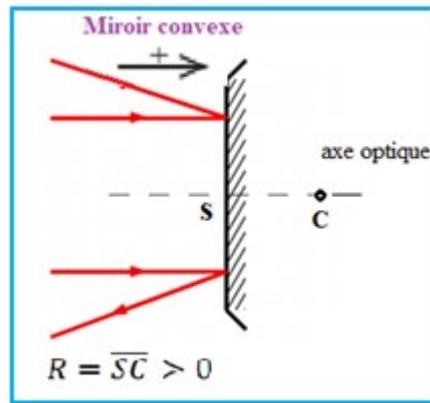


Figure III.2: Miroir convexe

**Vocabulaire:**

Un miroir sphérique est caractérisé par :

- Le centre C de la sphère appelé centre du miroir.
- Le point S appelé sommet du miroir.
- L'axe optique, qui est l'axe de symétrie de révolution du miroir, passant par les points C et S.
- Le rayon de la sphère  $R = SC$ , appelé rayon de courbure du miroir, quantité algébrique qui est négative pour un miroir concave et positive pour un miroir Convexe.

**Remarque:** en optique géométrique, la mesure des distances est algébrisée. Le long de l'axe optique, on choisit comme sens positif le sens de propagation de la lumière (en général de la gauche vers la droite)

**III.2. Stigmatisme approché. Conditions de Gauss****Les conditions du stigmatisme approché:**

Le **stigmatisme approché** pour un miroir sphérique **dépend de deux conditions:**

- 📌 L'objet observé doit être situé sur l'axe optique du miroir sphérique; cela signifie que les rayons lumineux provenant de l'objet doivent être parallèle à l'axe optique avant de frapper le miroir.
- 📌 Les rayons lumineux doivent frapper le miroir sphérique à des angles très faibles; cela signifie que les rayons lumineux doivent être proches de l'axe optique du miroir et ne doivent pas être inclinés de manière significative par rapport à celui-ci.

Lorsque ces **deux conditions** sont remplies, les rayons lumineux se croisent en un seul point sur l'axe optique du miroir, ce qui permet d'obtenir une image nette et non déformée de l'objet observé. C'est ce qu'on appelle le stigmatisme approché pour un miroir sphérique.

### III.3. Relations de conjugaison- Grandissement

#### III.3.1. Relations de conjugaison

Il existe une relation entre les positions d'un objet A et de son image A' appelée relation de conjugaison. Considérons un point objet réel A situé sur l'axe optique d'un miroir concave. L'image A' de A est située au point d'intersection de deux rayons lumineux quelconques issus de A. Soit un rayon confondu avec l'axe optique, il se réfléchit sur lui-même : A' est donc sur l'axe optique. Considérons le rayon émis depuis A et qui se réfléchit au point I en accord avec les lois de la réflexion. A' se trouve au point d'intersection du rayon réfléchi et de l'axe

Etablissons les relations de conjugaisons dans le cas d'un miroir concave par exemple:

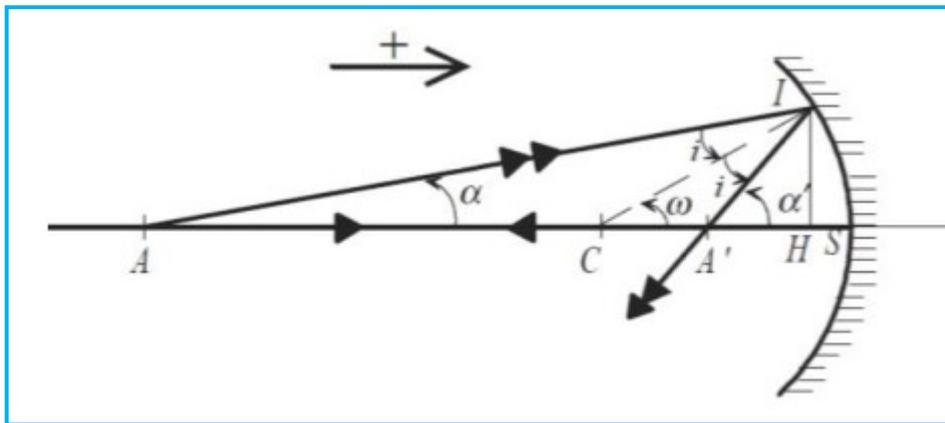


Figure III.3: Position de l'image A' d'un point réel A pour un miroir concave

Dans les triangles AIC et A'IC la somme des angles intérieurs doit être égale à  $\pi$ , soit :

$$i + \alpha + (\pi - \omega) = \pi \text{ et donc: } i = \omega - \alpha$$

$$i + \omega + (\pi - \alpha') = \pi \text{ et donc: } i = \alpha' - \omega$$

D'où la relation suivante entre  $\alpha$ ,  $\omega$  et  $\alpha'$

$$2 \omega = \alpha + \alpha'$$

Dans les conditions de Gauss, les points H et S sont pratiquement confondus, et les angles  $\alpha$ ,  $\omega$  et  $\alpha'$  peuvent être assimilés à leurs tangentes selon:

$$\alpha = \frac{\overline{IS}}{\overline{SA}}$$

$$\alpha' = \frac{\overline{IS}}{\overline{SA}}$$

$$\omega = \frac{\overline{IS}}{\overline{SC}}$$

On obtient finalement la relation de conjugaison du miroir sphérique avec origine au sommet S :

$$\frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'} = \frac{2}{SC}$$

### III.3.2. Grandissement:

Si AB a pour image A'B', le grandissement  $\gamma$  est le rapport algébrique de la taille de l'image à celle de l'objet

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

Considérons un point objet réel AB réel situé sur l'axe optique d'un miroir concave. L'image A'B' est obtenue par le phénomène de réflexion.

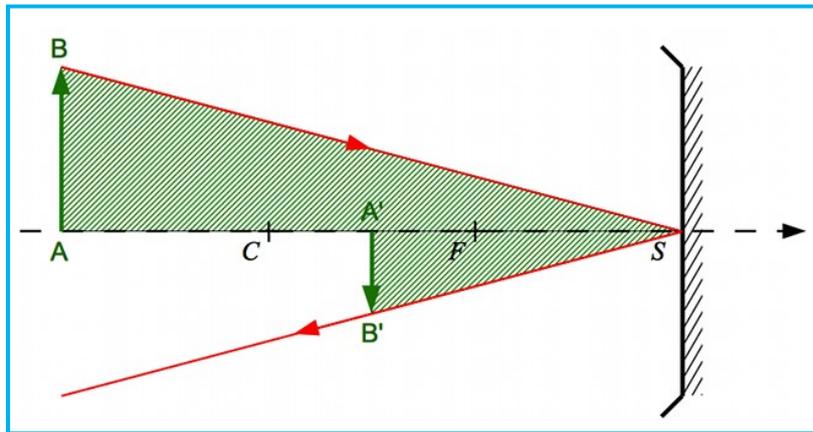


Figure III.4: Grandissement de l'image A'B' d'un objet AB

En appliquant le théorème de Thalès, on trouve immédiatement que le grandissement  $\gamma$  est:

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

### III.4. Les points particuliers d'un miroir sphérique:

#### 1) Le centre C du miroir :

Tout rayon passant par C arrive sous incidence normale sur le miroir et revient sur lui-même après réflexion.

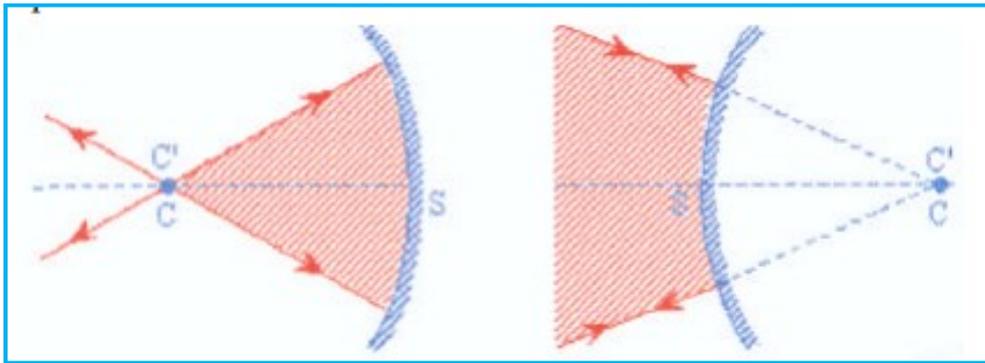


Figure III.5: Le centre C du miroir du miroir sphérique

**2) Le sommet S du miroir:**

Tout rayon arrivant en S se réfléchit en suivant les lois de Descartes

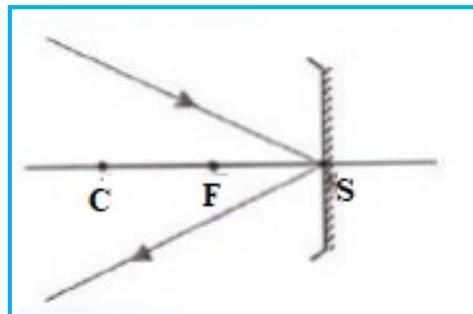


Figure III.6: Le sommet S du miroir

**3) Système centré focal**

Si on envoie sur le miroir un faisceau parallèle à l'axe optique, il est réfléchi en un faisceau qui converge vers le point F, foyer principal du miroir.

Les relations de Descartes permettent de montrer que F est le milieu du segment CS:

$$\overline{CF} = \frac{\overline{CS}}{2}$$

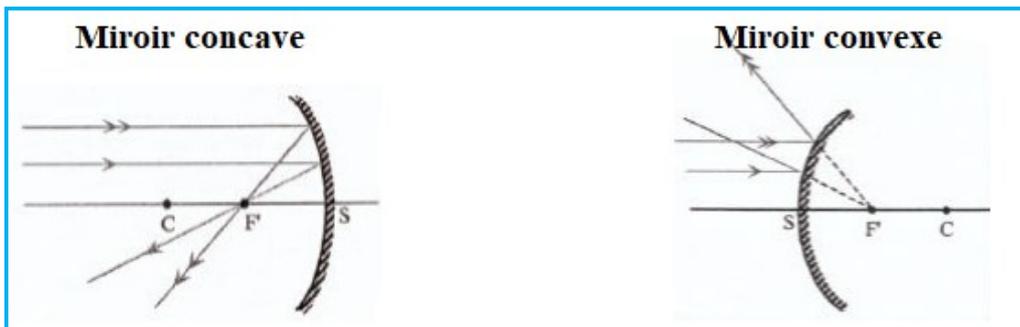


Figure III.7: Le point F, foyer principal milieu du segment CS

### Foyer principal image

Dans le cas d'un **miroir concave** (convergent), tous les rayons convergent en un point: nous appellerons ce point foyer principal image. Ce point est l'**image réelle** d'un point situé à l'infini.

Dans le cas d'un **miroir convexe** (divergent), tous les rayons divergent. Cependant, ils semblent tous provenir d'un point situé derrière le miroir (il suffit de les prolonger). Nous appellerons également ce point foyer principal image. Il est l'**image virtuelle** d'un point situé à l'infini.

#### En résumé

Le **foyer principal image** est le point image **F'** d'un point objet situé à l'infini sur l'axe optique.

### Remarque

Ce point peut être réel (cas du miroir concave) ou virtuel (cas du miroir convexe).

### Foyer principal objet

Par retour inverse de la lumière, si on place une source ponctuelle au foyer image, les rayons ressortiront parallèles. Il existe donc un point où si l'on place une source ponctuelle, les rayons issus de ce point seront parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique. Ce point est appelé **foyer principal objet**. Il est confondu avec foyer principal image. Dans le cas d'un **miroir concave**, ce point est le point **objet réel** donnant une image à l'infini. Dans le cas d'un **miroir convexe**, ce point est le point **objet virtuel** donnant une image à l'infini

#### En résumé

Le **foyer principal objet** est l'antécédent **F** d'un point image situé à l'infini sur l'axe optique

### Remarque

Ce point peut être réel (cas du miroir concave) ou virtuel (cas du miroir convexe).

## 4) La distance focale :

La distance focale d'un miroir sphérique est définie par :

$$\overline{SF} = \frac{R}{2}$$

et se mesure en dioptrie ( $\delta$ )

On oriente l'axe optique dans le sens de propagation de la lumière incidente donc

- Si le miroir est concave  $\overline{SC} < 0$  et  $\overline{SF} < 0$  ;
- Si le miroir est convexe  $\overline{SC} > 0$  donc  $\overline{SF} > 0$ .

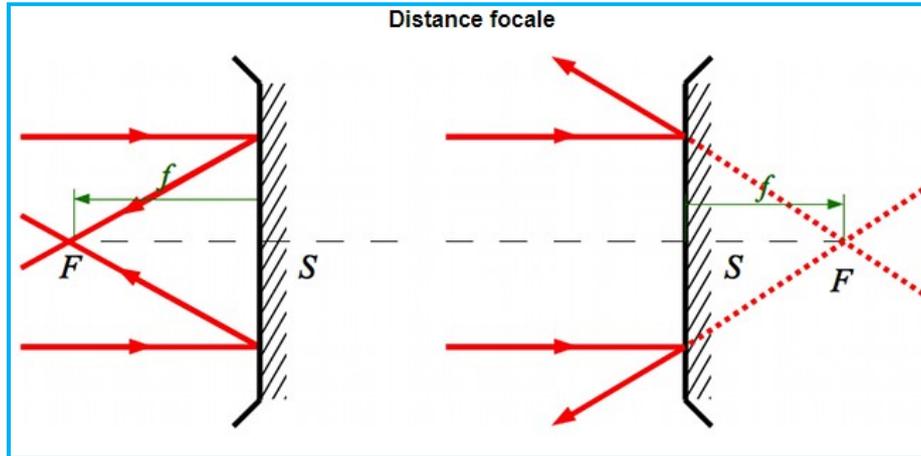


Figure III.8: La distance focale

### Vergence

Comme au chapitre précédent, on définit la vergence comme étant l'inverse de la distance focale image.

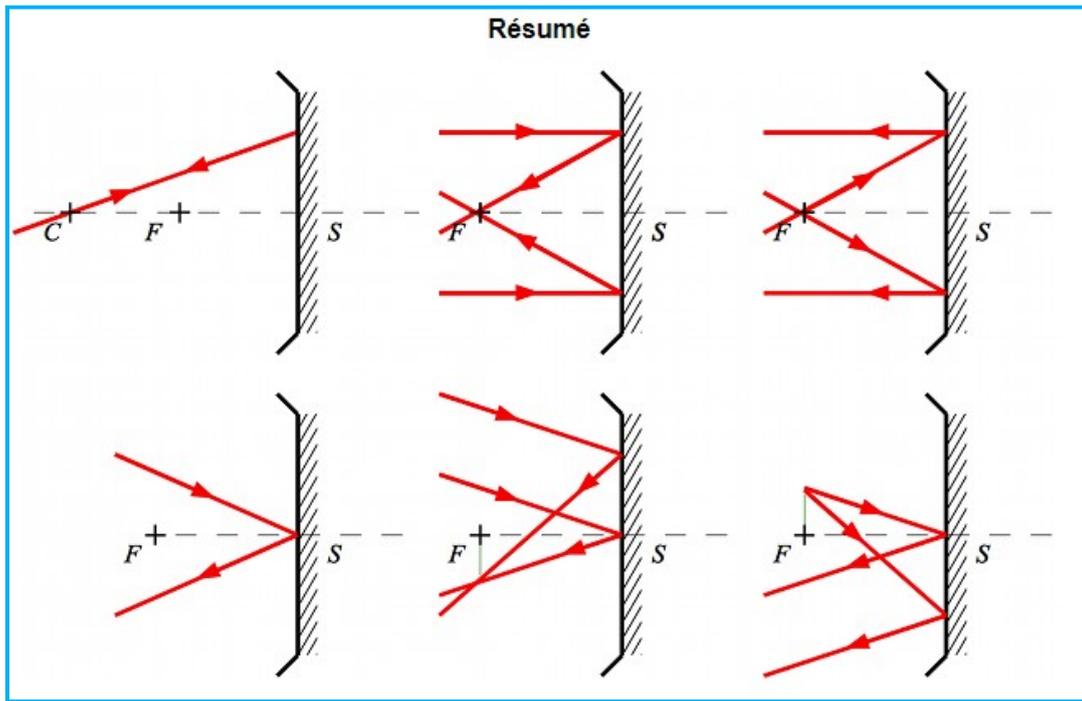
$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{f}$$

Elle s'exprime toujours en ( $m^{-1}$ ) ou encore en dioptrie (noté  $\delta$ ).

### III.5. Construction des rayons dans les conditions de Gauss:

On cherche à construire l'image d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique donc on détermine l'image de B situé hors de l'axe optique puisque dans les conditions de Gauss le miroir est aplanétique ( l'image A'B' est perpendiculaire à l'axe).

- Tout rayon lumineux passant par B et C revient sur lui-même.
- Tout rayon lumineux passant par B et F est réfléchi parallèlement à l'axe optique.
- Tout rayon lumineux passant par B et parallèle à l'axe optique est réfléchi en passant par F.
- Tout rayon lumineux passant par B et le sommet S est réfléchi symétriquement par rapport à l'axe optique.
- Deux rayons parallèles entre eux se croisent dans le plan focal image.
- Deux rayons se croisant dans le plan focal objet ressortent parallèles entre eux.



### III.6. Espace objet/image réel/virtuel

On appelle **espace image réelle** la zone de l'espace où l'image formée sera réelle.

On définit de la même manière l'**espace image virtuelle** la partie où cette image sera virtuelle.

En continuant ainsi, on définit également l'**espace objet réel**, où l'objet est réel pour le système optique, et l'**espace objet virtuel** où celui-ci sera virtuel.

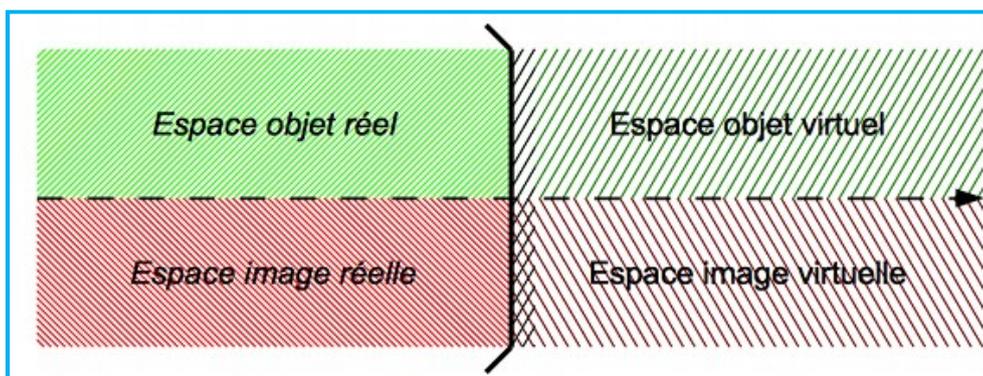


Figure III.9: L'espace objet réel et l'espace objet virtuel

#### Les Caractéristiques de l'image

**La position :**  $\overline{SA'}$

**La nature :** Dire si elle est réelle ou virtuelle

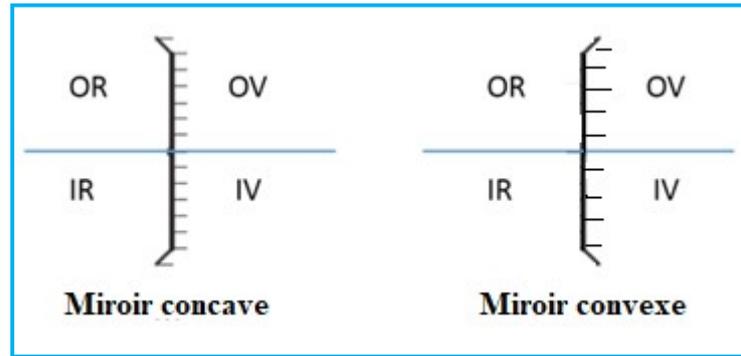


Figure III.10: Objet réel et objet virtuel

Dire si elle est droite ou renversée :

- Si  $\gamma > 0$ : Image droite
- Si  $\gamma < 0$ : Image renversée

Comparer la taille de l'image par rapport à la taille de l'objet :

- Si  $|\gamma| > 1$ : Image agrandie
- Si  $|\gamma| < 1$ : Image réduite
- Si  $|\gamma| = 1$ : La taille de l'image égale la taille de l'objet

### III.7. Construction géométrique de l'image d'un objet à travers un miroir sphérique

Pour un miroir concave

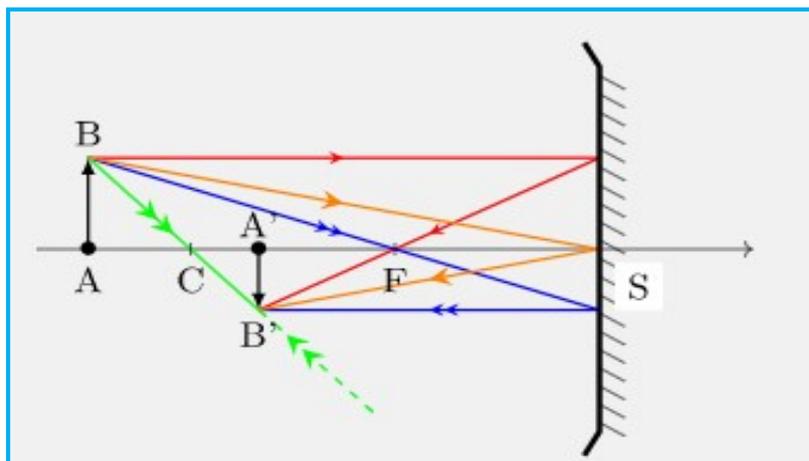


Figure III.11: Miroir concave: objet et image réel

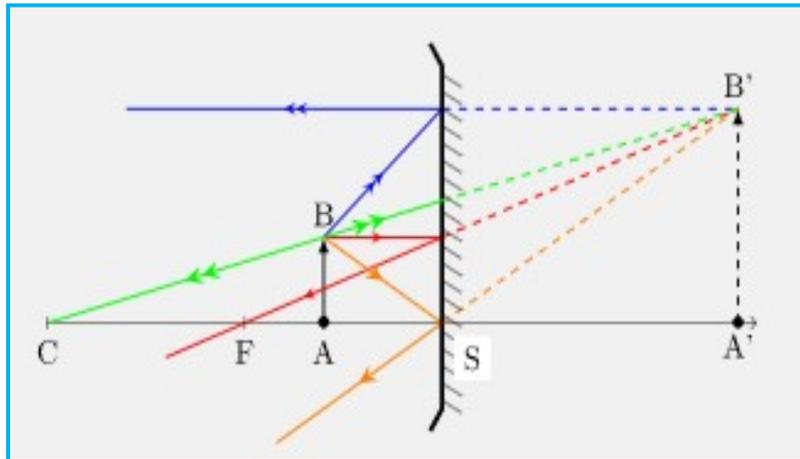


Figure III.12: Miroir concave: objet réel et image virtuelle

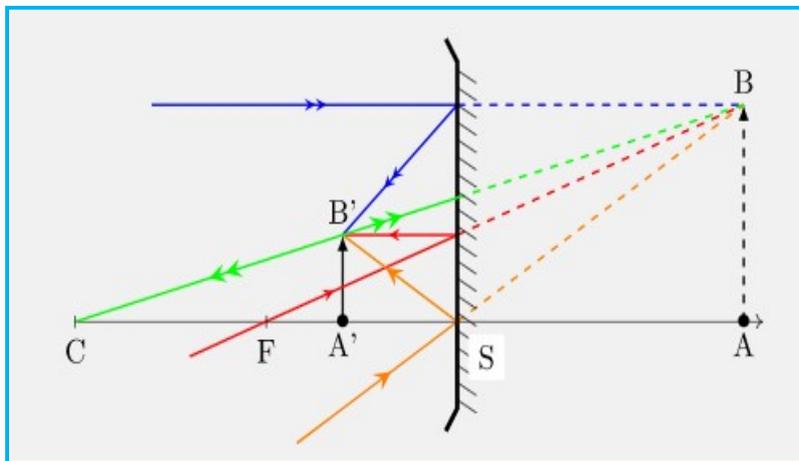


Figure III.13: Miroir concave: objet virtuel et image réelle

Pour un miroir convexe

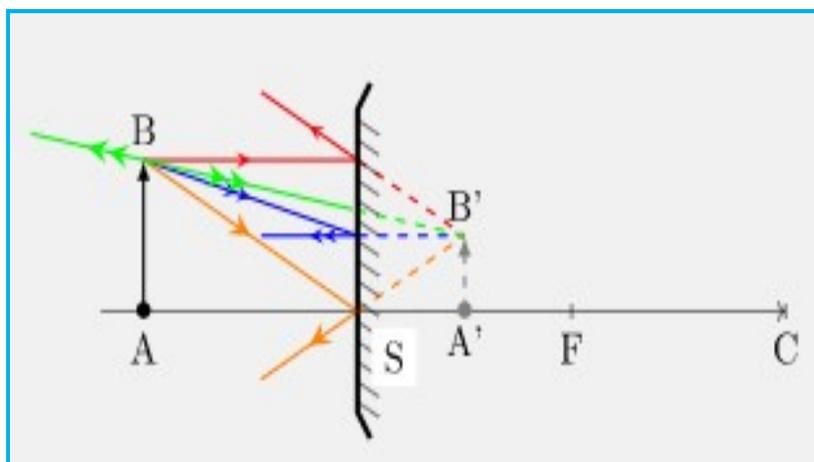


Figure III.14: Miroir convexe: objet réel et image virtuelle

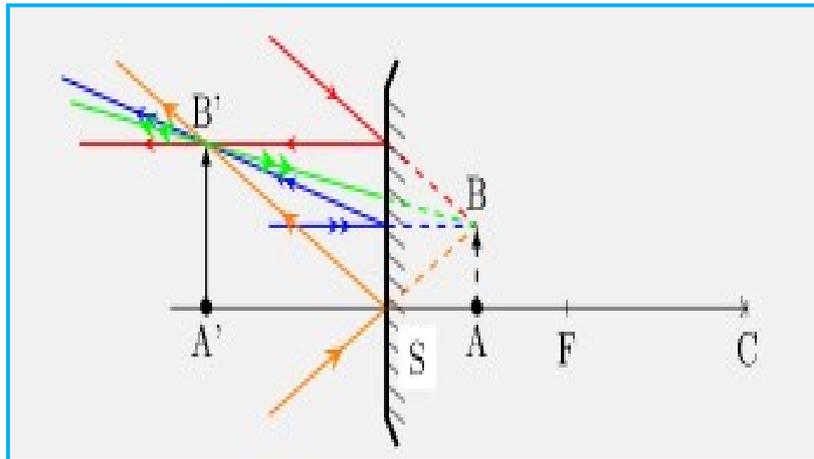


Figure III.15: Miroir convexe: objet virtuel et image réelle

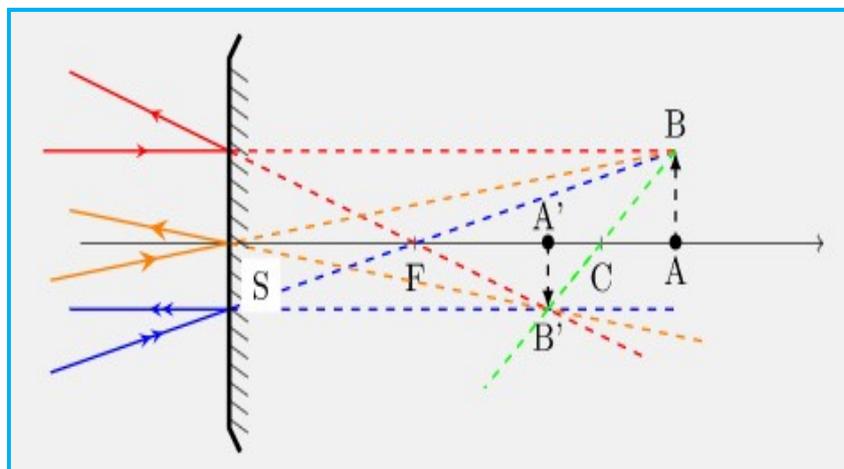


Figure III.16: Miroir convexe: objet virtuel et image virtuelle

### QCM

#### Cocher la bonne réponse:

1. Quel type de miroir a une surface réfléchissante courbe et creuse ?

- a) Miroir concave
- b) Miroir convexe
- c) Miroir plan

2. Quel type de miroir a une surface réfléchissante bombée vers l'extérieur ?

- a) Miroir concave

b) Miroir convexe

c) Miroir plan

3. Un miroir concave peut former une image qui est :

a) réelle, inversée et agrandie

b) virtuelle, droite et agrandie

c) réelle, inversée et de même taille

d) réelle, inversée et diminuée

e) réelle, inversée et diminuée

4. Quelle est la déclaration suivante qui est vraie pour les miroirs concaves ?

a) Ils produisent toujours des images virtuelles.

b) Ils produisent toujours des images agrandies.

c) Ils produisent toujours des images réelles.

d) Ils peuvent converger les rayons du Soleil pour produire une chaleur intense en un point.

5. Un objet est placé à une distance de  $2f$  d'un miroir concave de distance focale  $f$ . La distance de l'image est :

a)  $2f$

b)  $f$

c)  $3f/2$

d)  $3f$

6. Un objet est placé à 60 cm devant un miroir sphérique concave dont la distance focale est de 40 cm. Laquelle des affirmations suivantes décrit le mieux l'image ?

a) À 120 cm du miroir et est virtuelle

b) À 240 cm du miroir et est réelle

c) À 24 cm du miroir et est réelle

d) À 120 cm du miroir et est réelle

e) À 24 cm du miroir et est virtuelle

7. Un objet est placé à 30 cm devant un miroir concave de distance focale 20 cm. La hauteur de l'objet est de 10 cm, et la hauteur de l'image formée est de 20 cm. Quelle est le Grandissement, et où se forme l'image?

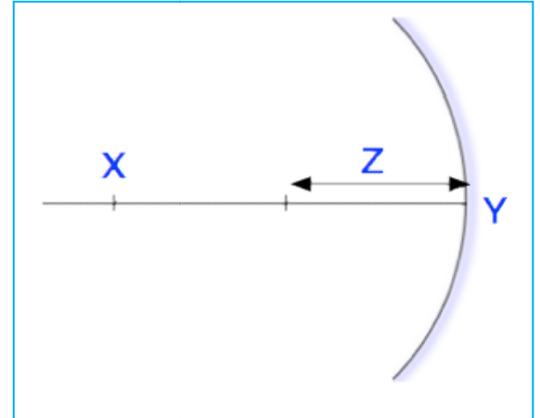
a) Grandissement = 2 et l'image est formée à 60 cm devant le miroir.

- b) Grandissement =  $\frac{1}{2}$  et l'image est formée à 60 cm devant le miroir.
- c) Grandissement = 1 et l'image est formée à 30 cm devant le miroir.
- d) Grandissement = 2 et l'image est formée à 15 cm devant le miroir.

8. Le schéma montre un miroir concave.

Identifiez les parties étiquetées.

- a) X = rayon de courbure, Y = foyer, Z = axe principal
- b) X = centre de courbure, Y = pôle, Z = foyer
- c) X = centre de courbure, Y = pôle, Z = distance focale
- d) X = foyer, Y = axe principal, Z = distance focale

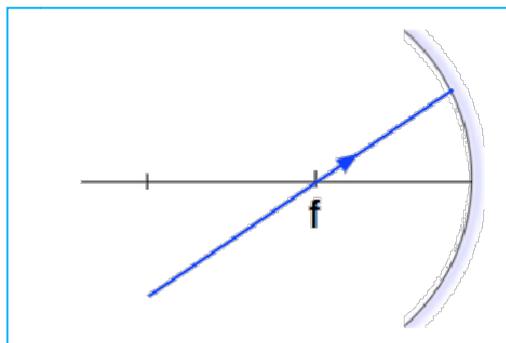


9. Une élève souhaite obtenir une image de son visage droite et agrandie deux fois dans un miroir concave de distance focale de 30 cm.

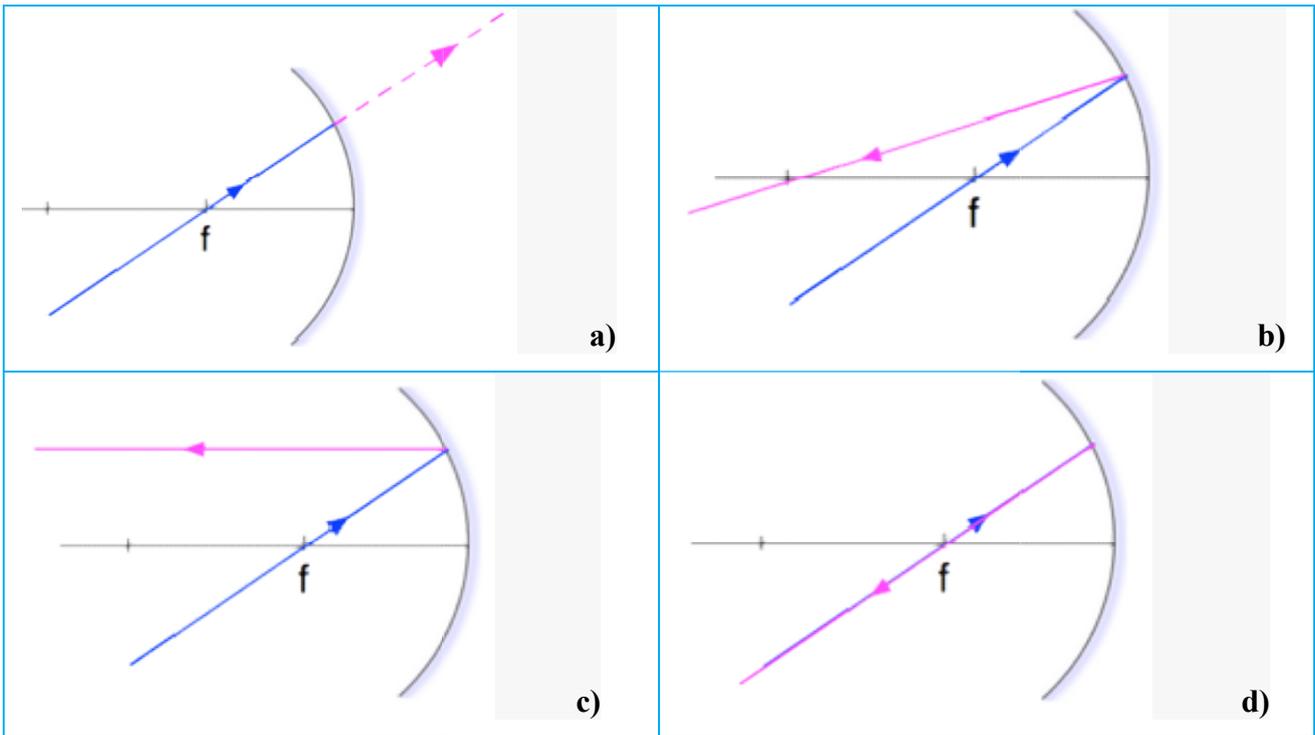
À quelle distance devant le miroir devrait-elle placer son visage ?

- a) 10 cm
- b) 30 cm
- c) 45 cm
- d) 15 cm
- e) 20 cm

10. Un rayon lumineux frappe la surface d'un miroir concave comme indiqué sur le schéma.



Lequel des schémas suivants représentent le rayon réfléchi ?



11. Laquelle des déclarations suivantes est incorrecte?

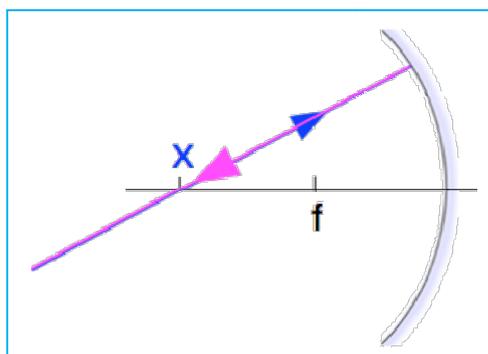
- a) Un miroir concave forme une image de la même taille que l'objet si l'objet est placé au centre de courbure.
- b) Un miroir convexe forme toujours une image virtuelle d'un objet réel.
- c) L'image formée par un miroir concave peut être virtuelle, droite et diminuée.
- d) L'image formée par un miroir convexe est toujours droite et diminuée.
- e) Toutes les images réelles formées par un miroir concave sont inversées.

12. Un objet est placé à 60 cm d'un miroir sphérique convexe. Si le miroir forme une image virtuelle à 20 cm du miroir, quelle est la magnitude du rayon de courbure du miroir ?

- a) 15 cm
- b) 120 cm
- c) 30 cm
- d) 7.5 cm
- e) 60 cm

13. Nommez X.

- a) Rayon de courbure
- b) Foyer
- c) Centre de courbure



d) Pôle

14. Une image virtuelle est formée à 10,0 cm le long de l'axe principal à partir d'un miroir convexe de distance focale de -15,0 cm.

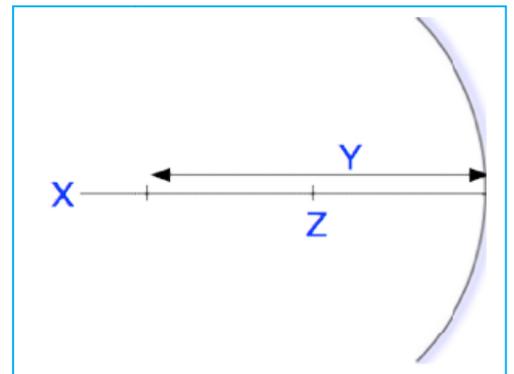
Quelle est la distance de l'objet par rapport au miroir ?

- a) 30 cm
- b) 6 cm
- c) 10 cm
- d) 12,4 cm

15. Le schéma montre un miroir concave.

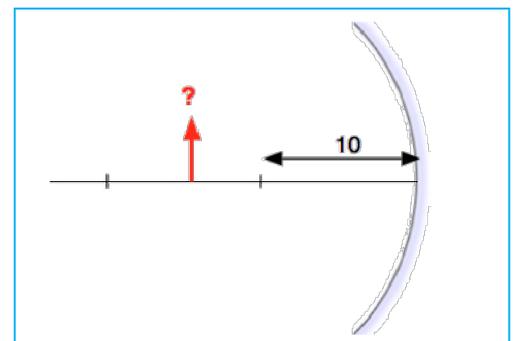
Identifiez les parties étiquetées.

- a) X = axe principal, Y = centre de courbure, Z = foyer
- b) X = pôle, Y = rayon de courbure, Z = foyer
- c) X = rayon de courbure, Y = foyer, Z = centre de courbure
- d) X = axe principal, Y = rayon de courbure, Z = foyer



16. À quelle distance devant un miroir concave de distance focale de 10 cm placerez-vous une épingle de 2 cm afin d'obtenir une image droite de 4 cm de hauteur ?

- a) 10 cm
- b) 15 cm
- c) 25 cm
- d) 30 cm
- e) 5 cm



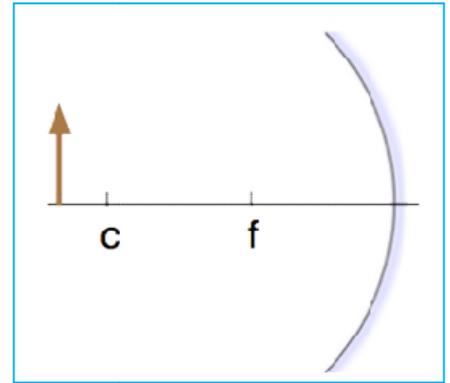
17. La distance focale d'un miroir sphérique est approximativement égale à

- a) le rayon de courbure
- b) la moitié du rayon de courbure
- c) le quart du rayon de courbure
- d) quatre fois le rayon de courbure
- e) deux fois le rayon de courbure

18. Le schéma montre un objet placé devant un miroir concave.

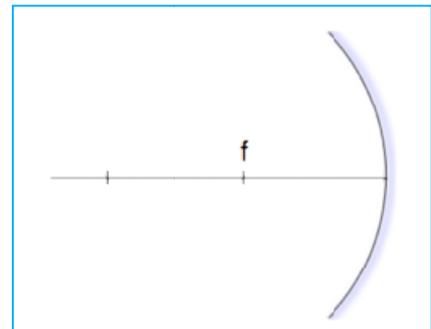
Où sera formée son image ?

- a) À C
- b) Entre C et f
- c) Entre f et le miroir
- d) À f
- e) À gauche de C



19. Un miroir concave forme une image virtuelle d'un objet réel lorsque l'objet se trouve :

- a) à l'extérieur du centre de courbure
- b) au centre de courbure
- c) entre le centre de courbure et le foyer
- d) à l'intérieur du foyer
- e) au foyer



20. Quelle condition est nécessaire pour qu'une image réelle se forme dans un miroir concave ?

- a) Objet à l'extérieur du foyer
- b) Objet plus grand que son image
- c) Objet plus petit que son image
- d) Objet à l'intérieur du foyer

**Réponses:** 1.a) - 2. b) - 3. e) - 4. d) - 5. a) - 6. d) - 7. a) - 8. c) - 9. c) - 10. c), 11. c) - 12. e) - 13. c) - 14. a) - 15. d) - 16. b) - 17. b) - 18. b) - 19.d) - 20. a),

### Exercices corrigés

#### Exercice 1:

On recouvre une portion de sphère d'une couche métallique de façon à en faire un miroir sphérique réfléchissant des deux côtés à la fois. Si le rayon de courbure est de 0,96 m, quelle est la longueur focale de chaque côté de ce miroir ?

**Corrigé**

La longueur focale est de  $+0,48$  m du côté concave et de  $-0,48$  m du côté convexe puisque, dans un miroir sphérique, la longueur focale est toujours égale à la moitié du rayon de courbure

**Exercice 2:**

Le diamètre d'une sphère recouverte d'une substance réfléchissante est de  $33,6$  cm. Quelle est sa longueur focale ?

**Corrigé**

La longueur focale est de  $-8,40$  cm, soit 4 fois moins que le diamètre

**Exercice 3:**

Dans un miroir sphérique, les rayons parallèles ne sont pas réfléchis de façon parallèle. Obéissent-ils à la loi de la réflexion ? Expliquez votre réponse

**Corrigé**

Oui. Comme la surface du miroir est courbe, les normales diffèrent d'un endroit à un autre. Chaque rayon lumineux obéit à la loi de la réflexion en fonction de sa propre normale

**Exercice 4:**

Fatima utilise un miroir au cours d'une séance de laboratoire. Elle place un objet à  $30$  cm de ce miroir et obtient une image réelle à  $20$  cm du miroir.

- a) Quel type de miroir utilise-t-elle ? Expliquez votre réponse
- b) Quelle est la longueur focale de ce miroir ?
- c) Quel est le grandissement de l'image ?

**Corrigé**

- a) Un miroir convexe donne toujours une image virtuelle. L'image étant réelle, Fatima utilise donc un miroir concave
- b)  $f = 12$  cm
- c) Le grandissement de l'image est de  $-0,67$

**Exercice 5: Miroir sphérique convexe**

On considère un miroir sphérique convexe, de centre C, de sommet S de rayon de courbure  $R = \overline{SC} = 30 \text{ cm}$  et un objet  $\overline{AB}$  de hauteur 1 cm

1. Donner la position du foyer F.
2. Déterminer l'image  $\overline{A'B'}$  de  $\overline{AB}$  en précisant sa position, sa nature, son sens et sa taille dans les différents cas suivants :  $\overline{SC} = -30 \text{ cm}$ ,  $\overline{SA} = 20 \text{ cm}$ ,  
Préciser dans chaque cas la nature de l'objet. Faire la construction de l'image.

**Solution:**

1. Le foyer F du miroir se trouve au milieu du segment [SC] et

$$\overline{SF} = 15 \text{ cm}$$

2. La position de A' est obtenue à partir de la formule de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SF}}$$

d'où :

$$\overline{SA'} = \frac{\overline{SF} \overline{SA}}{\overline{SA} - \overline{SF}}$$

et le grandissement est donné par :

$$\gamma = - \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

a.  $\overline{SA} = -30 \text{ cm}$

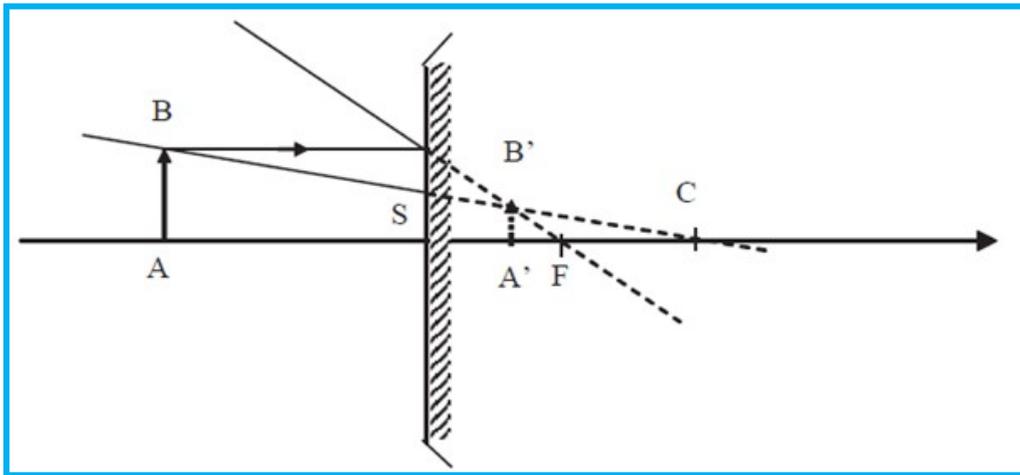
On trouve:

$$\overline{SA'} = 10 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{1}{3}$$

$$\overline{A'B'} = 0.33 \text{ cm}$$

L'image est virtuelle, droite et plus petite que l'objet.

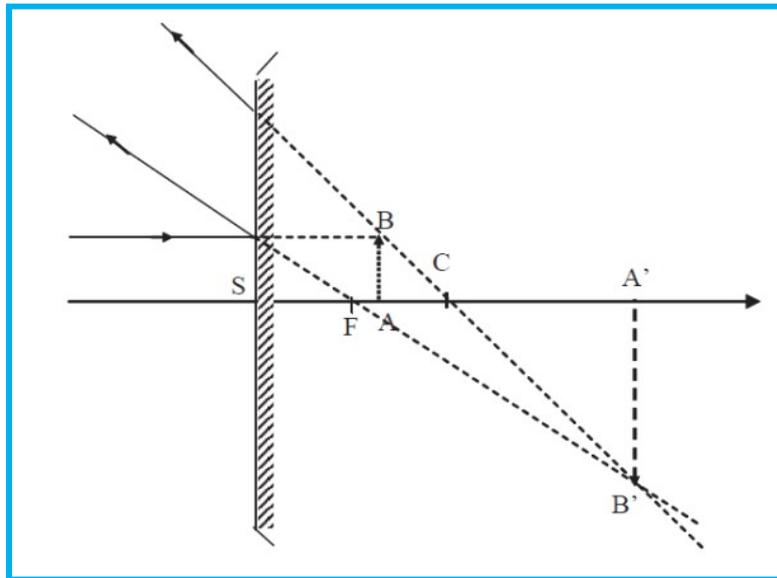


b.  $\overline{SA} = 20 \text{ cm}$

On trouve:

$\overline{SA'} = 60 \text{ cm}$   
 $\gamma = -3$   
 $\overline{A'B'} = -3 \text{ cm}$

L'objet et l'image sont virtuels. L'image est renversée et trois fois plus grande que l'objet.



**Exercice 6: Miroir sphérique concave**

On considère un miroir sphérique concave, de centre C, de sommet S de rayon de courbure  $R = \overline{SC} = -30 \text{ cm}$  et un objet AB de hauteur 1 cm.

1. Donner la position du foyer F.

2. Déterminer l'image  $\overline{A'B'}$  de  $\overline{AB}$  en précisant sa position, sa nature, son sens et sa taille dans les différents cas suivants :  $\overline{SA} = -60 \text{ cm}$ ,  $\overline{SA} = -20 \text{ cm}$ ,  $\overline{SA} = 10 \text{ cm}$ ,  
Préciser dans chaque cas la nature de l'objet. Faire la construction de l'image dans les trois cas.

### Solution

1. Le foyer F du miroir se trouve au milieu du segment [SC] et:

$$\overline{SF} = 15 \text{ cm}$$

2. La position de A' est obtenue à partir de la formule de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SF}}$$

D'où

$$\overline{SA'} = \frac{\overline{SF} \overline{SA}}{\overline{SA} - \overline{SF}}$$

et le grandissement est donné par :

$$\gamma = - \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

a.  $\overline{SA} = 60 \text{ cm}$

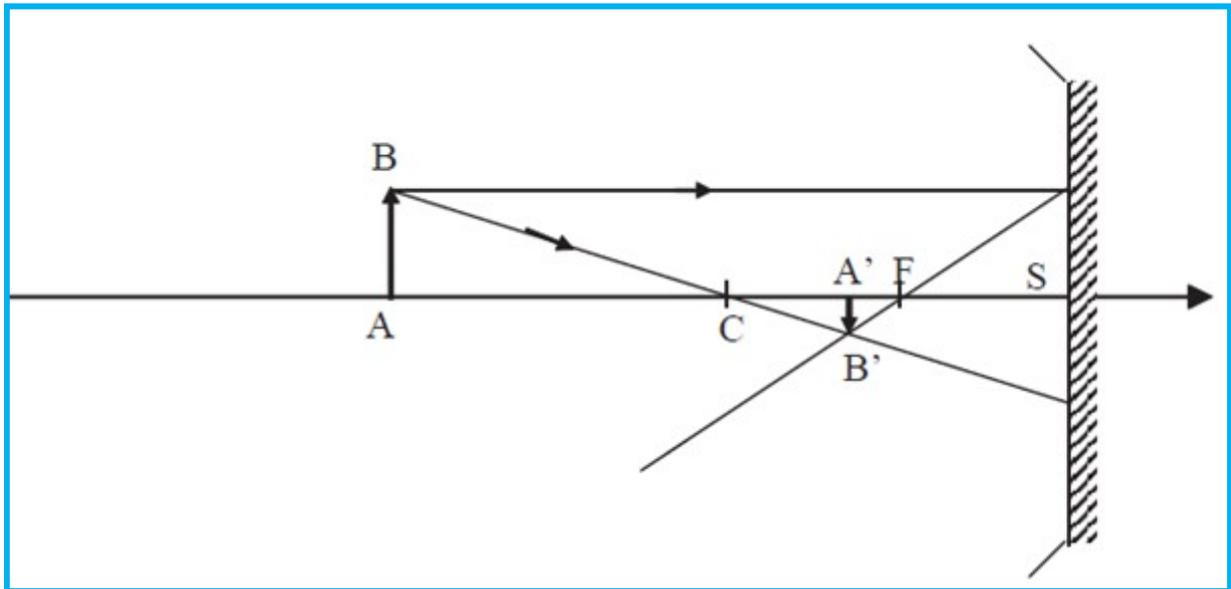
On trouve:

$$\overline{SA'} = 20 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{1}{3}$$

$$\overline{A'B'} = 0.33 \text{ cm}$$

L'image et l'objet sont réels. L'image est renversée et trois fois plus petite que l'objet.

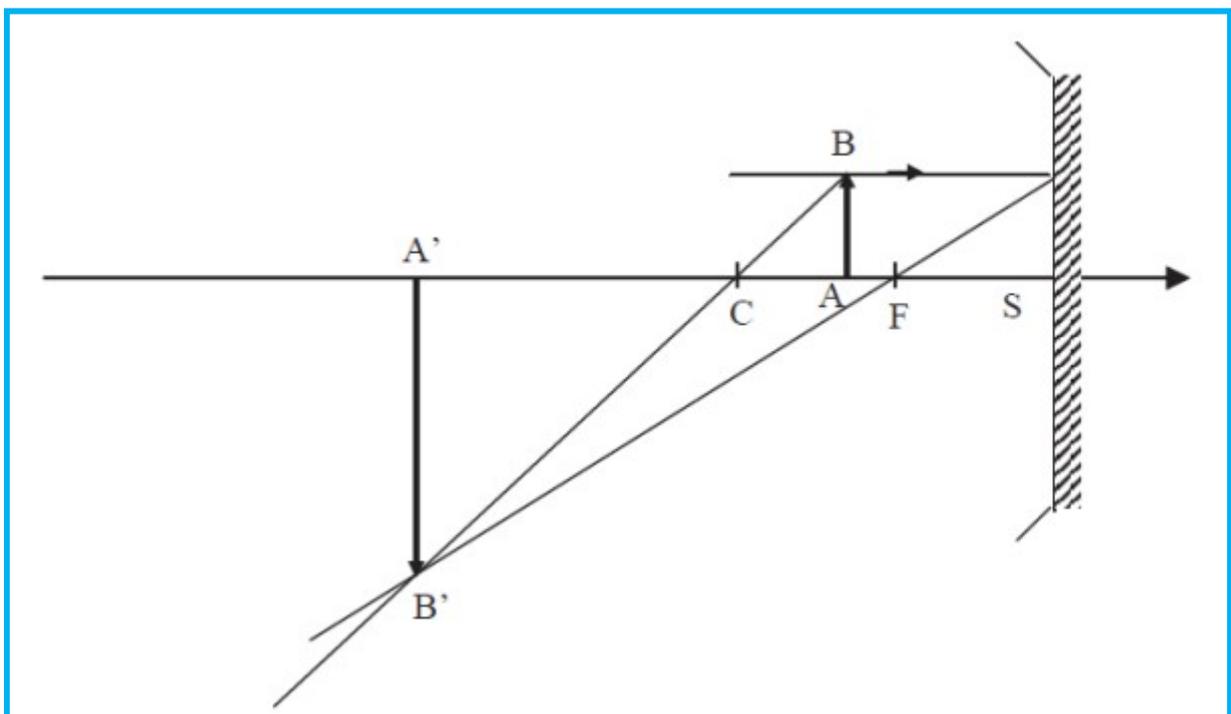


b.  $\overline{SA} = -20 \text{ cm}$

On trouve:

$\overline{SA'} = -60 \text{ cm}$   
 $\gamma = 3$   
 $\overline{A'B'} = 3 \text{ cm}$

L'image et l'objet sont réels. L'image est renversée et trois fois plus grande que l'objet.



c.  $\overline{SA} = 10 \text{ cm}$ . L'objet est dans ce cas virtuel.

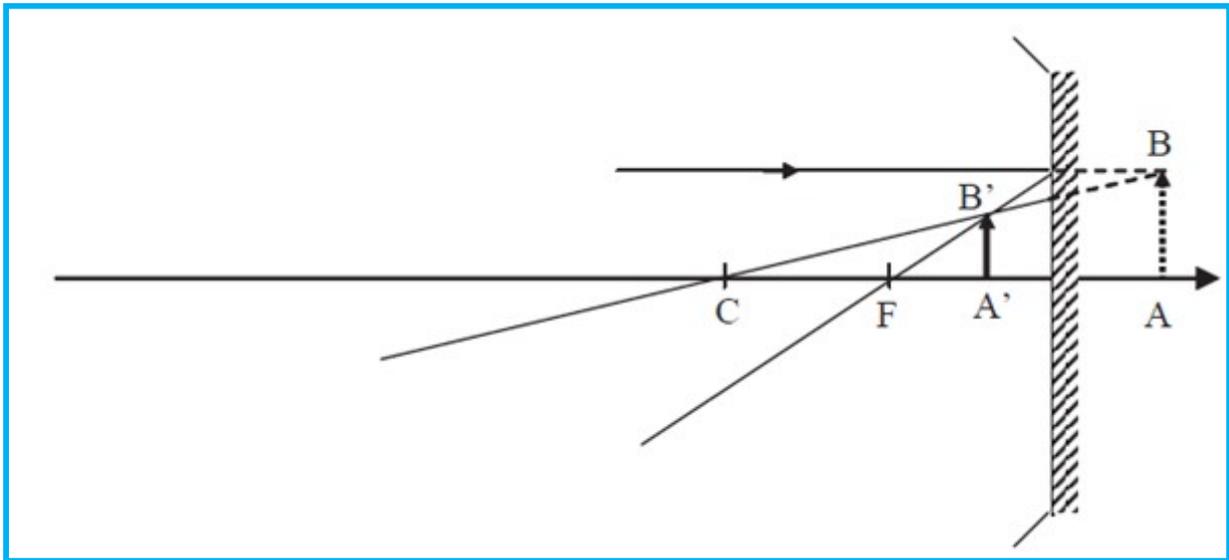
On trouve:

$$\overline{SA'} = -6 \text{ cm}$$

$$\gamma = 0.6$$

$$\overline{A'B'} = 6 \text{ cm}$$

L'image est donc réelle et de même sens que l'objet.



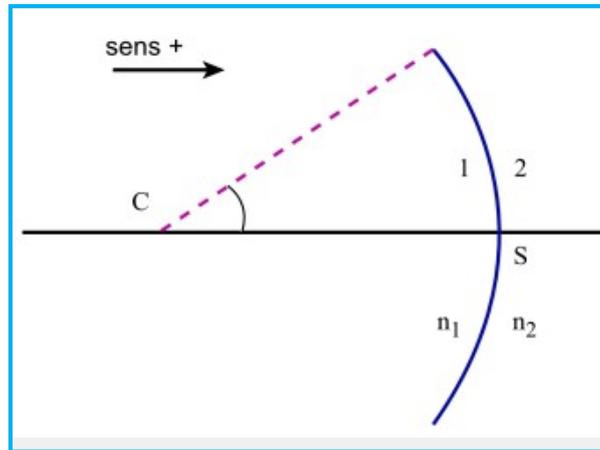
# Chapitre IV

## Dioptre sphérique



**IV. Dioptre sphérique:**

**IV.1. Dioptre sphérique dans l'approximation de Gaus:**



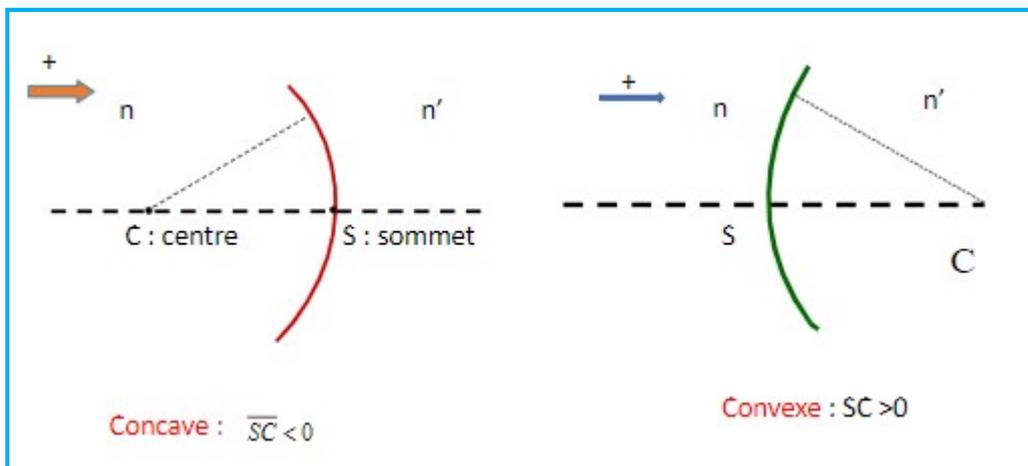
**Figure VI.1:** Dioptre sphérique

**Définition**

Un dioptre sphérique est un ensemble constitué de deux milieux transparents, homogènes et isotropes, d'indices différents  $n_1$  et  $n_2$  séparés par une surface sphérique réfringente.

Du fait des conditions de Gauss, le dioptre est en fait limité à une calotte sphérique de sommet S et de dimension petite devant le rayon de courbure.

**Convention de signes:**



**Figure IV.2:** Convention de signes dans un dioptre sphérique

Le Dioptre sphérique est caractérisé par :

- Le centre C de la sphère appelé centre de dioptre
- Le point S appelé sommet du dioptre.
- L'axe optique, l'axe de symétrie de révolution du dioptre, passant par les points C et S.
- Le rayon de la sphère  $R = \overline{SC}$ , appelé le rayon de courbure
- pour un dioptre sphérique concave  $\overline{SC} < 0$
- pour un dioptre sphérique convexe  $\overline{SC}, > 0$ .

#### Convention de signe dans un dioptre sphérique

**Rappelons que sauf mention explicite, on considérait dans la suite les conventions suivantes :**

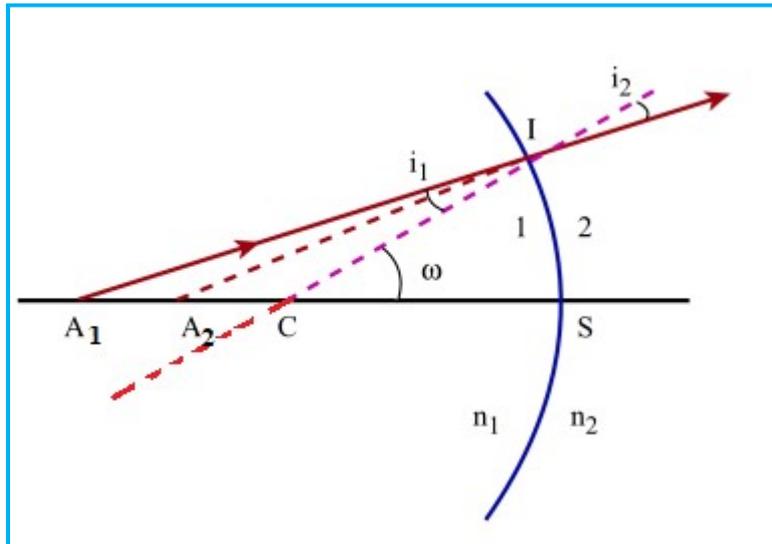
- **La lumière incidente se déplace de la gauche vers la droite;**
- **L'origine des coordonnées cartésiennes est le sommet S de la surface sphérique;**
- **Une surface sphérique concave a un rayon de courbure  $R = \overline{SC} < 0$ ;**
- **Une surface sphérique convexe a un rayon de courbure  $R = \overline{SC} > 0$ ;**
- **La position  $p = \overline{SA_1}$  de l'objet est positive quand l'objet est placé à droite du sommet, négative quand l'objet est à gauche du sommet;**
- **La position  $q = \overline{SA_2}$  de l'image est positive quand l'image est placée à droite du sommet, négative quand l'image est à gauche du sommet.**

### IV.2. Stigmatisme approché:

- Le dioptre sphérique n'est rigoureusement stigmatique que pour les points de sa surface et de son centre.
- Il y'a stigmatisme approché pour tout point de l'espace qui n'envoie sur le dioptre sphérique qu'un pinceau lumineux dont le rayon moyen lui est normal.
- 

### IV.3. Image d'un point situé sur l'axe optique dans les conditions de Gauss:

- Dioptre sphérique entre les milieux d'indice  $n_1$  et  $n_2$  (Figure IV.3).
- Rayon émis de  $A_1$  situé sur l'axe optique, arrivant à I avec angle  $i_1$  par rapport à la normale (N).
- Réfraction de ce rayon selon la loi de Snell-Descartes pour former l'image  $A_2$  sur l'axe optique prolongement du rayon situé, dans le milieu d'indice  $n_2$ .
- Approximation de Gauss : stigmatisme pour tous les points sur l'axe optique.
- Chaque point  $A_1$  a une image  $A_2$ , avec une relation indépendante de l'inclinaison des rayons



**Figure IV.3:** Réfraction sur un dioptrique sphérique divergent ( $n_2 < n_1$ )

Toute la suite de la démonstration est basée sur cette formule de géométrie valable dans un triangle quelconque (qu'on appelle parfois « Pythagore généralisé », et qu'on suppose connue):

$$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma}$$

Utilisons cette relation dans la figure IV.3

Dans le triangle  $IA_2C$ , on a la relation:  $\frac{IA_2}{\sin(\pi-\omega)} = \frac{CA_2}{\sin i_2}$

Dans le triangle  $IA_1C$ , on a la relation:  $\frac{IA_1}{\sin(\pi-\omega)} = \frac{CA_1}{\sin i_1}$

Avec:  $\sin(\pi - \omega) = \sin \omega$

On peut en déduire une première relation intermédiaire:  $\frac{CA_1}{IA \sin i_1} = \frac{CA_2}{IA' \sin i_2}$

Hors la relation de Snell-Descartes sur la réfraction s'écrit:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

D'où, en l'injectant dans l'équation encadrée (et en mettant les valeurs algébriques):

$$n_1 \frac{CA_1}{IA_1} = n_2 \frac{CA_2}{IA_2}$$

IV.4. Equation de conjugaison

IV.4.1. Formule de conjugaison avec **origine au centre**

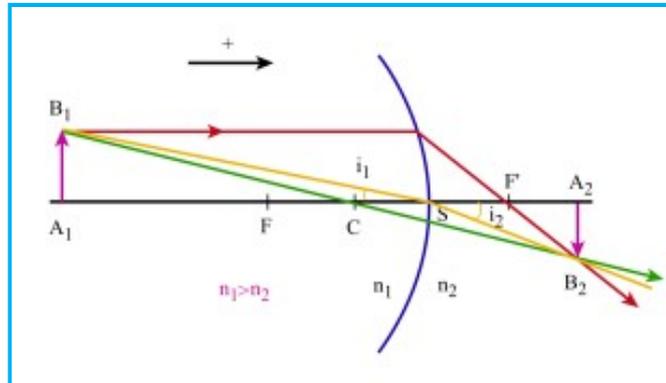


Figure IV.4: Réfraction sur un dioptre sphérique divergent avec origine au centre ( $n_2 < n_1$ )

En reprenant la relation :

$$n_1 \frac{\overline{CA_1}}{\overline{SA_1}} = n_2 \frac{\overline{CA_2}}{\overline{SA_2}}$$

On peut écrire:

$$n_1 \frac{\overline{SA_2}}{\overline{CA_2}} = n_2 \frac{\overline{SA_1}}{\overline{CA_1}}$$

Sachant que:

$$\overline{SA_1} = \overline{SC} + \overline{CA_1}$$

$$\overline{SA_2} = \overline{SC} + \overline{CA_2}$$

On en déduit la formule de conjugaison:

$$\frac{n_1}{\overline{CA_2}} - \frac{n_2}{\overline{CA_1}} = \frac{n_1 - n_2}{\overline{CS}} = V$$

En appliquant le théorème de Thalès aux triangles  $CA_1B_1$  et  $CA_2B_2$  on obtient :

**Le grandissement:**

$$\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{CA_2}}{\overline{CA_1}}$$

IV.4.2. Formule de conjugaison avec **origine au sommet**

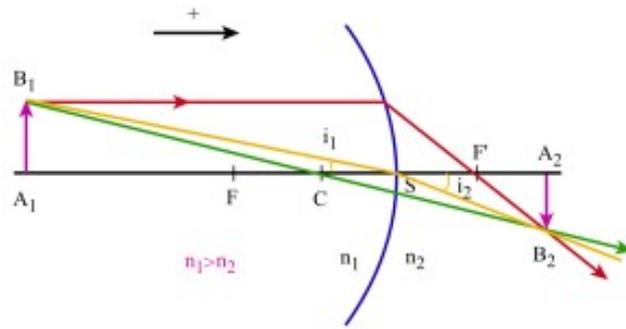


Figure IV.5: Réfraction sur un dioptre sphérique divergent avec origine au sommet ( $n_2 < n_1$ )

En reprenant la relation :  $n_1 \frac{\overline{CA_1}}{\overline{SA_1}} = n_2 \frac{\overline{CA_2}}{\overline{SA_2}}$

On peut écrire la formule de conjugaison sous la forme:

$$\frac{n_1}{\overline{SA_1}} - \frac{n_2}{\overline{SA_2}} = \frac{n_1 - n_2}{\overline{SC}} = V$$

Si l'on considère les triangles  $SA_1B_1$  et  $SA_2B_2$  on a :

$$\tan i_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{SA_1}} \quad \text{et} \quad \tan i_2 = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{SA_2}}$$

On en déduit alors :

$$\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\tan i_2}{\tan i_1} \times \frac{\overline{SA_2}}{\overline{SA_1}}$$

Comme nous nous situons dans l'approximation de Gauss, nous avons

$$\tan i_1 \approx \sin i_1 = i_1 \quad \text{et} \quad \tan i_2 \approx \sin i_2 = i_2$$

$$\text{D'autre part: } n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

D'où le **grandissement**:

$$\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{\overline{SA_2}}{\overline{SA_1}}$$

IV.4.3. Formule de conjugaison avec **origines aux foyers**

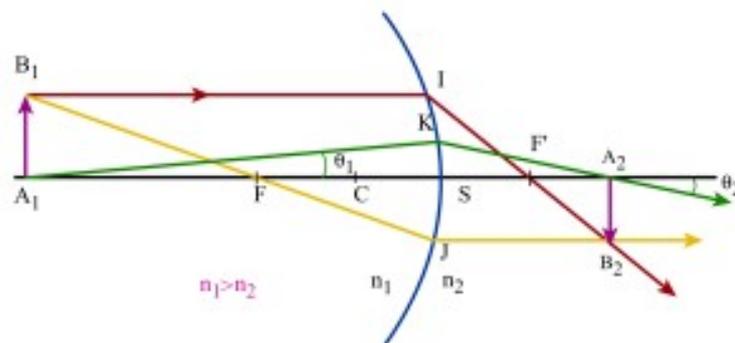


Figure IV.6: Réfraction sur un dioptre sphérique divergent avec origine au sommet ( $n_2 < n_1$ )

En se plaçant dans l'approximation de Gauss,  $SI = A_1B_1$  et  $SJ = A_2B_2$ .

En appliquant le théorème de Thalès aux triangles  $FA_1B_1$  et  $F'SJ$ , puis aux triangles  $F'A_2B_2$  et  $F'SI$  :

$$\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{FS}}{\overline{FA_1}} = \frac{\overline{F'A_2}}{\overline{F'S}}$$

On en déduit:

**La formule de conjugaison**

$$\overline{FA_1} \cdot \overline{F'A_2} = \overline{SF} \cdot \overline{SF'} = f \cdot f'$$

**Le grandissement:**

$$\gamma = \frac{f}{\overline{FA_1}} = \frac{\overline{F'A_2}}{f'}$$

### En résumé

Dioptre sphérique avec **origine le centre** du dioptre on a:

**Formule de conjugaison:**  $\frac{n_1}{\overline{CA_2}} - \frac{n_2}{\overline{CA_1}} = \frac{n_1 - n_2}{\overline{CS}}$

**Grandissement:**  $\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{CA_2}}{\overline{CA_1}}$

Dioptre sphérique avec **origine le sommet** du dioptre on a:

**Formule de conjugaison:**  $\frac{n_1}{\overline{SA_1}} - \frac{n_2}{\overline{SA_2}} = \frac{n_1 - n_2}{\overline{SC}}$

**Grandissement:**  $\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{\overline{SA_2}}{\overline{SA_1}}$

Dioptre sphérique avec **origines aux foyers** du dioptre on a:

**Formule de conjugaison:**  $\overline{FA_1} \cdot \overline{F'A_2} = \overline{SF} \cdot \overline{SF'} = f \cdot f'$

**Grandissement:**  $\gamma = \frac{f}{\overline{FA_1}} = \frac{\overline{F'A_2}}{f'}$

IV.5. Foyers du dioptre sphérique

IV.5.1. Foyer objet F :

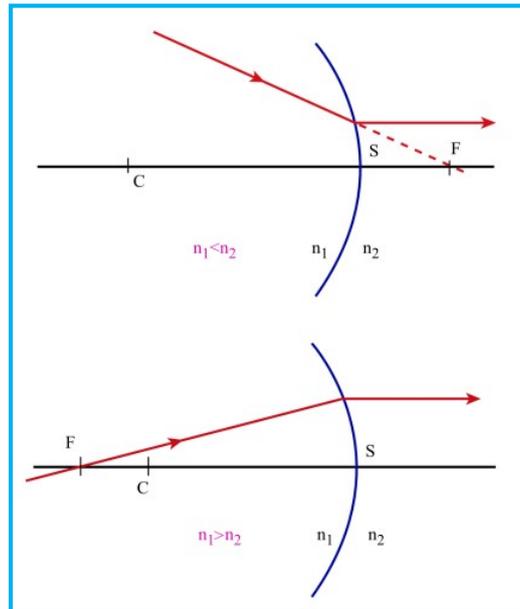


Figure IV.7: Foyer objet F

est le point objet d'une image formée à l'infini, La distance focale objet  $f$  est la mesure algébrique  $\overline{SF}$ .

$$\overline{SF} = \frac{n_1 \overline{SC}}{n_2 - n_1} = -\frac{n_1}{V}$$

IV.5.2. Foyer image F' ;

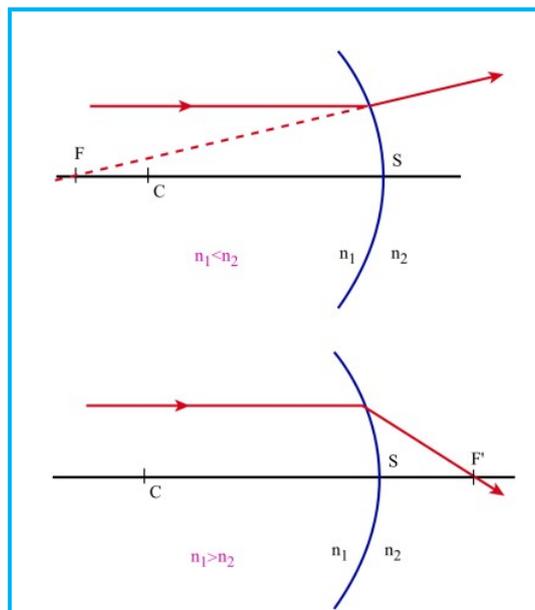


Figure IV.8: Foyer image F'

est le point image d'un objet situé à l'infini. La distance focale image  $f'$  est la mesure algébrique  $\overline{SF'}$ .

$$\overline{SF'} = \frac{n_2 \overline{SC}}{n_2 - n_1} = \frac{n_2}{V}$$

Nous remarquons que:

$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = -\frac{n_2}{n_1} < 0$$

$\overline{SF}$  et  $\overline{SF'}$  sont de signes contraires, F et F' appartiennent à deux milieux différents.

Et donc:

$$\overline{SF} + \overline{SF'} = \overline{SC}$$

**IV.6. Dioptre convergent, dioptre divergent:**

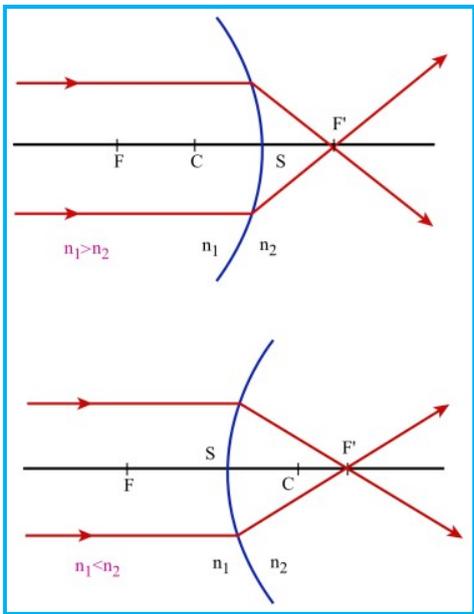
Nous représentons la réfraction d'un faisceau de rayons parallèles à l'axe du dioptre suivant que le dioptre est convexe ou concave et que  $n_1$  est supérieur ou inférieur à  $n_2$ .

On définit la vergence d'un dioptre par la relation :

$$V = \frac{n_2 - n_1}{SC}$$

Avec :  $V$  est la **vergence** ou la puissance du dioptre (unité : Dioptrie ( $\delta$ ) =  $m^{-1}$ ).

**IV.6.1. Dioptre convergent**



**Figure IV.9:** Dioptre convergent

Un dioptre sera convergent si le foyer image est réel.

Le dioptre sera **convergent** si sa vergence est positive c'est-à-dire **si le centre de courbure C est situé dans le milieu d'indice de réfraction le plus élevé.**

IV.6.2. Dioptre divergent

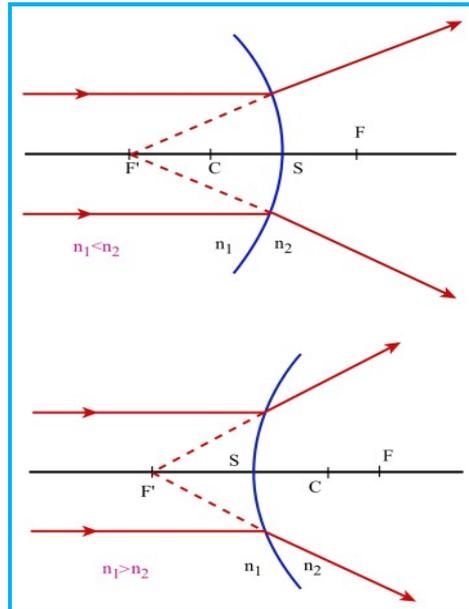


Figure IV.10: Dioptre divergent

Un dioptre sera **divergent** si le **foyer image** est virtuel ; le centre de courbure C est situé dans le milieu d'indice de réfraction le moins élevé.

**Remarque :**

- Si  $V > 0$  : Dioptre convergent
- Si  $V < 0$  : Dioptre divergent

IV.7. **Grandissement  $\gamma$  avec origine au sommet:**

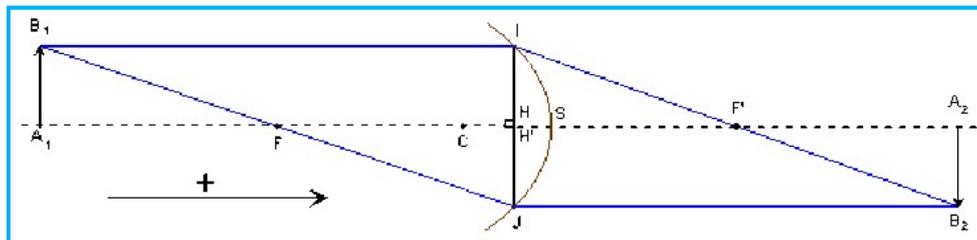


Figure IV.11: Grandissement d'un objet

On a:

$$\tan i \approx i = \frac{\overline{AB}}{\overline{SA}} \quad \text{et} \quad \tan r \approx r = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SA'}}$$

D'après la loi de Snell-Descartes de la relation;  $n_1 i = n_2 r$

On établit l'expression du grandissement:

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{n_1}{n_2} \frac{SA'}{SA}$$

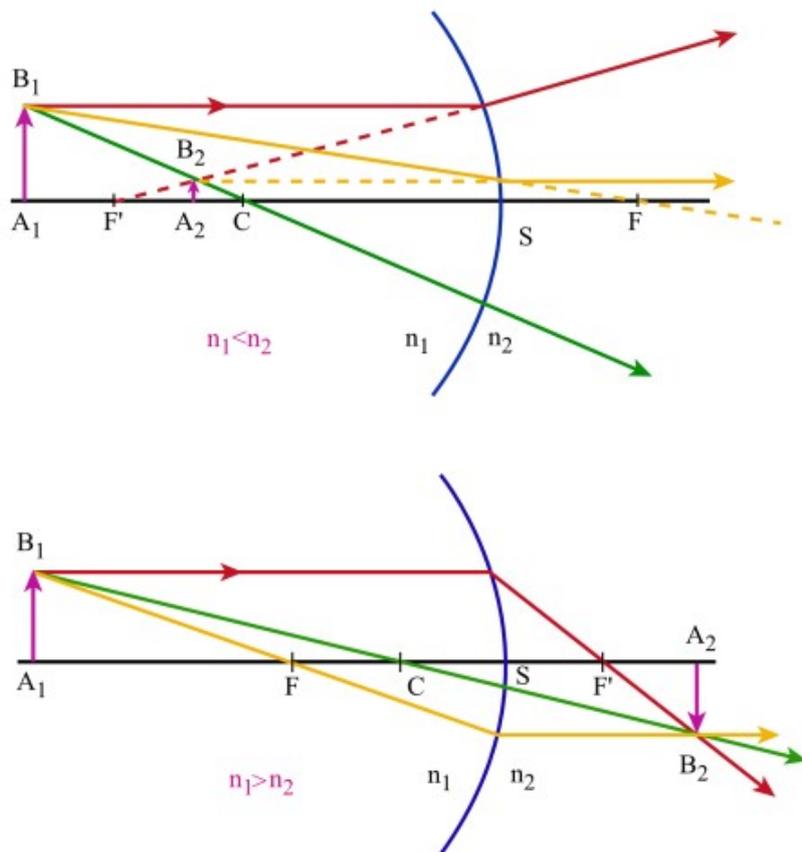
- Si  $\gamma > 0$  l'image est droite (elle a le même sens que l'objet).
- Si  $\gamma < 0$  l'image est renversée (sens inverse).
- Si  $|\gamma| > 1$  l'image est plus grande que l'objet.
- Si  $|\gamma| < 1$  l'image est plus petite que l'objet.
- Si  $\gamma = 1$  l'image et l'objet ont la même taille.

**IV.8. Construction géométrique de l'image**

Le dioptrique sphérique donnera d'un objet  $A_1B_1$  une image  $A_2B_2$ , dans les conditions de Gauss,

- si l'objet est peu étendu
- s'il est situé dans un plan perpendiculaire à l'axe optique.

Cherchons l'image d'un objet  $A_1B_1$  plan et perpendiculaire à l'axe principal du dioptrique: elle est, dans l'approximation de Gauss, perpendiculaire à l'axe principal et il suffit de déterminer l'image de  $B_1$  puisque l'image de  $A_1$  est située sur l'axe principal.



**Figure IV.12:** Construction géométrique de l'image

Nous utiliserons pour faire cette construction 3 rayons particuliers :

- Un rayon passant par le centre du dioptre et qui n'est pas dévié à la traversée de celui-ci
- Un rayon issu de  $B_1$  et passant par le foyer objet  $F$  : il est réfracté suivant une parallèle à l'axe principal
- Un rayon issu de  $B_1$  et parallèle à l'axe principal : il est réfracté suivant un rayon qui passe par le foyer image  $F'$ .

**Les caractéristiques de l'image :**

**La nature de l'image :**

- Dire si elle est réelle ou virtuelle.
- Dire si elle est droite ou renversée :
- Dire si elle est agrandie, réduite ou de même taille que l'objet

## QCM

**Cocher la bonne réponse :**

1. Qu'est-ce qu'un dioptre sphérique ?

- a) Un dioptre avec une surface plate
- b) Un dioptre avec une surface courbe
- c) Un dioptre sans distance focale
- d) Un dioptre avec un trou au centre

2. Quelle est la caractéristique principale d'un dioptre concave ?

- a) Il converge la lumière
- b) Il diverge la lumière
- c) Il réfléchit la lumière

3. Quel type de dioptre sphérique a un centre plus épais et des bords plus fins ?

- a) Dioptre convexe
- b) Dioptre concave
- c) Dioptre biconvexe
- d) Dioptre plan-concave

4. Pour un dioptre sphérique, le point où les rayons lumineux parallèles se rencontrent ou semblent se rencontrer après réfraction est appelé :
- a) Point focal
  - b) Centre de courbure
  - c) Axe optique
5. La distance entre le centre de courbure et le point focal pour un dioptre sphérique est appelée :
- a) Longueur focale
  - b) Distance focale
  - c) Distance de l'objet
6. Quelle est la différence entre un dioptre concave et un dioptre convexe ?
- a) Le dioptre concave converge la lumière, tandis que le dioptre convexe la diverge.
  - b) Le dioptre concave diverge la lumière, tandis que le dioptre convexe la converge.
  - c) Il n'y a pas de différence.
7. Un dioptre sphérique est composé de :
- a) Deux surfaces courbes
  - b) Une surface courbe et une surface plane
  - c) Deux surfaces planes
8. Quel est le nom donné à la droite passant par le centre de courbure et le sommet d'un dioptre sphérique ?
- a) Axe optique
  - b) Ligne de foyer
  - c) Plan focal
9. Si un objet est placé sur l'axe optique à une distance inférieure à la distance focale d'un dioptre convergent, l'image formée sera :
- a) Réelle, inversée et agrandie
  - b) Virtuelle, droite et agrandie
  - c) Virtuelle, droite et réduite
- 10 Le point de rencontre des rayons lumineux réfléchis par un dioptre sphérique est appelé:
- a) Foyer
  - b) Centre de courbure

c) Sommet

11. Quelle est l'unité du grandissement  $\gamma$  ?

a) mètre (m)

b) Dioptre( $\delta$ )

c) sans unité

12. La vergence d'un dioptre est mesurée en :

a) Dioptries ( $\delta$ )

b) Mètres (m)

c) Kilogrammes (kg)

13. Pour un dioptre concave, le point focal est situé :

a) Du même côté que l'objet

b) Du même côté que la source de lumière incidente

c) Du côté opposé à l'objet

14. Un dioptre convexe d'indice  $n_i$  est convergent dans l'air. Plongé dans l'eau d'indice  $n = 4/3$ , il devient divergent lorsque:

a)  $n_i < n$ .

b)  $n_i > n$ ;

c)  $n_i = n$ ;

15. Dans un dioptre sphérique, l'un des foyers peut-il être confondu avec la centre de courbure?

a) Oui, si  $n_o = n_i$ ;

b) Oui, si  $V > 0$ ;

c) Jamais

16. Les couples de points  $(A_o, A_i)$  d'un dioptre sphérique peuvent-ils être confondus?

a) Jamais;

b) En deux points

c) Toujours;

17. Les couples de points  $(A_o, A_i)$  d'un miroir sphérique peuvent-ils être confondus?

- a) Jamais;
- b) Toujours;
- c) Cela dépend de la nature de l'image

18. Un miroir sphérique donne d'un objet  $A_o$ , une image  $A_i$  placée à mi-chemin entre le sommet du miroir et l'objet.

- a)  $p_o = \frac{1}{2}R$ ;
- b)  $p_o = R$ ;
- c)  $p_o = \frac{3}{2}R$

19. Un miroir sphérique donne d'un objet réel une image droite, deux fois plus grande.

- a) Le miroir est obligatoirement divergent
- b) Le miroir peut être convergent ou divergent;
- c) Le miroir est obligatoirement convergent.

20. Un miroir sphérique donne d'un objet réel une image inversée, deux fois plus grande.

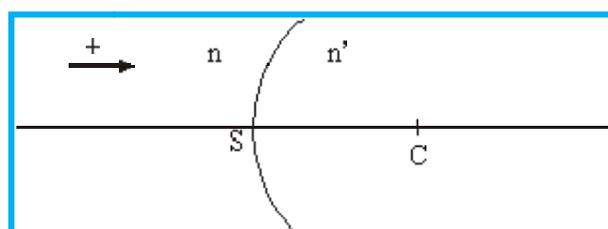
- a) Le miroir est obligatoirement divergent;
- b) Le miroir peut être convergent ou divergent;
- c) Le miroir est obligatoirement convergent.

**Réponses:** 1. b) - 2. b) - 3. c) - 4. a) - 5. b) - 6. b) - 7. b) - 8. a) - 9. b) - 10. a) - 11. c) - 12. a) - 13. b) - 14. a) - 15. c) - 16. b) - 17. c) - 18. c) - 19. c) - 20. c).

### Exercices corrigés

#### Exercices 1:

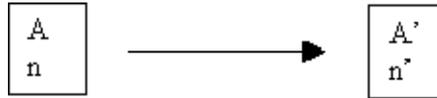
Un dioptre sphérique de centre C, de sommet S, de rayon de courbure égal à 10cm sépare l'air d'indice  $n=1$  (espace objet) et un milieu d'indice  $n'=4/3$  (espace image). Sa face convexe est tournée du côté de l'air.



1. Trouver la position des foyers F et F' de ce dioptre.
2. Trouver la position d'un objet réel AB perpendiculaire à SC et de son image A'B' pour le grandissement linéaire  $\gamma=+2$ .
3. Tracer la marche d'un faisceau de rayons issus du point B de l'objet.

**Solution:**

1. Position des foyers du dioptre



La formule de conjugaison d'un dioptre sphérique avec origine au sommet est

$$\frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA} = \frac{n'-n}{SC} \quad (1)$$

Si l'image se trouve en F', foyer image du dioptre, l'objet est positionné en  $-\infty$

$$\overline{SA'} = -\infty \text{ et } \overline{SA'} = \overline{SF'}$$

Soit, en remplaçant dans l'équation (1)

$$\overline{SF'} = \frac{n'}{n'-n} \overline{SC}.$$

$$\overline{SF'} = \frac{n'}{n'-n} \overline{SC}.$$

De la même manière, si l'objet se trouve en F, foyer objet du dioptre, l'image est positionnée en  $+\infty$

$$\overline{SA'} = +\infty \text{ et } \overline{SA} = \overline{SF}$$

Soit, en remplaçant dans l'équation (1)

$$\overline{SF} = -\frac{n}{n'-n} \overline{SC}.$$

**Application Numérique**

$$\overline{SF} = -30 \text{ cm}$$

$$\overline{SF'} = 40 \text{ cm}$$

2. Position de AB et A'B'

La formule de grandissement avec origine au sommet est:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n}{n'} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \quad (2)$$

De l'équation (2), on a:

$$\frac{\overline{SA'}}{n'} = \frac{\gamma}{n} \overline{SA}$$

d'où en inversant cette équation:  $\frac{n'}{\overline{SA'}} = \frac{1}{\gamma} \times \frac{n}{\overline{SA}}$  (3)

A partir de l'équation (1), on obtient:

$$\frac{n'}{\overline{SA'}} = \frac{n'-n}{\overline{SC}} + \frac{n}{\overline{SA}}$$

et en remplaçant ceci dans l'équation (3), on

Obtient:

$$\frac{n'-n}{\overline{SC}} + \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{1}{\gamma} \times \frac{n}{\overline{SA}}$$

Soit

$$\frac{n}{\overline{SA}} \left( \frac{1}{\gamma} - 1 \right) = \frac{n'-n}{\overline{SC}}$$

D'où:

$$\overline{SA} = \frac{n\overline{SC}}{n'-n} \times \frac{1-\gamma}{\gamma}$$

De la même manière on obtient:

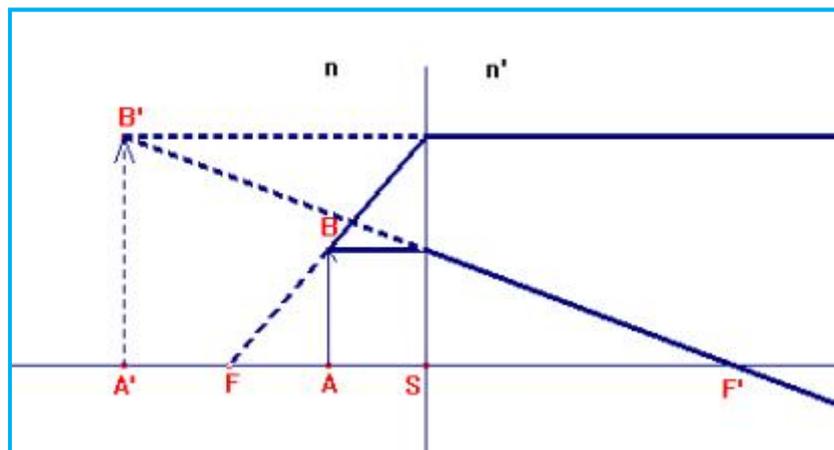
$$\overline{SA'} = \frac{n'\overline{SC}(1-\gamma)}{n'-n}$$

Application numérique:

$$\overline{SA} = -15 \text{ cm}$$

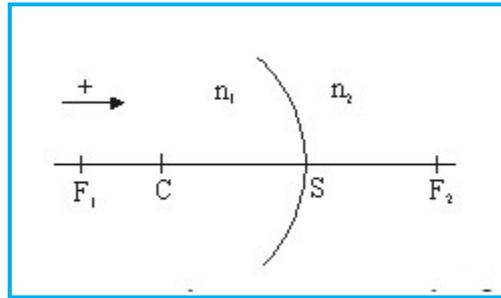
$$\overline{SA'} = -40 \text{ cm}$$

### 3. Marche d'un faisceau lumineux



A est le milieu de FS. L'image A'B' est virtuelle.

**Exercice 2:**



1. Soit un dioptre sphérique convergent, de sommet S, de centre C, de foyers F et F' séparant 2 milieux d'indices n et n'.
  - a. Rappeler la définition de la vergence.
  - b. A quelle condition sur n et n' le dioptre est-il effectivement convergent sur la figure.
  - c. Quel est le foyer image?
2. Un petit objet réel AB est situé entre  $-\infty$  et le foyer objet F.
  - a. Rappeler les formules de conjugaison avec origine au sommet et au centre.
  - b. Construire l'image A'B' et retrouver les formules de grandissement (origines au sommet, au centre et aux foyers). En déduire la formule de Newton.
3. Ce petit objet AB, perpendiculaire à l'axe principal, se déplace de  $-\infty$  à  $+\infty$ . Construire les images correspondantes. L'espace objet peut être décomposé en 3 zones. En déduire les zones correspondantes de l'espace image. Indiquer, dans chaque cas, la nature de l'image.

**Solution:**

1. a. La formule de conjugaison du cours:

$$\frac{n_2}{SA'} = \frac{n_1}{SA} = \frac{n_2 - n_1}{SC} = V$$

devient

$$\frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA} = \frac{n' - n}{SC}$$

La vergence est par définition:

$$V = \frac{n' - n}{SC}$$

1. b. Sur la figure  $\overline{SC} < 0$ .

Le dioptre est convergent si

$$V > 0 \text{ et donc si } n > n'$$

1. c. Le foyer image est  $F'$  : c'est l'image réelle d'un point à l'infini sur l'axe, c'est à dire d'un point qui envoie des rayons parallèles à l'axe optique.

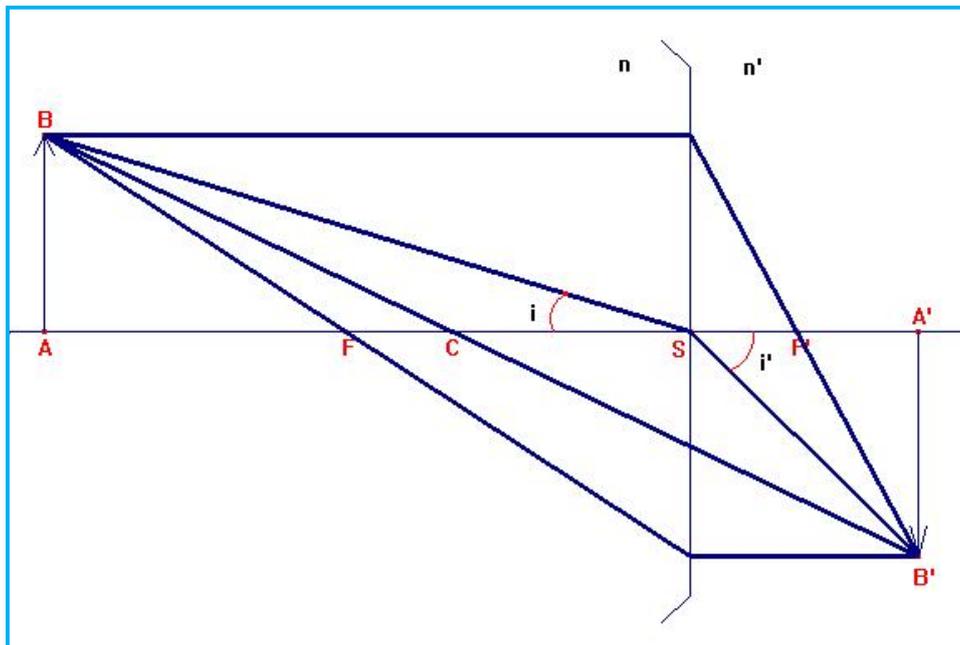
Quand les foyers image et objet et le centre d'un dioptre sont donnés on peut tracer 3 rayons connus :

- Le rayon issu de B et parallèle à l'axe optique émerge du dioptre en coupant l'axe optique au foyer image du dioptre.
- Le rayon issu de B passant par le foyer objet du dioptre émerge du dioptre en étant parallèle à l'axe optique.
- Le rayon issu de B et passant par le centre du dioptre émerge du dioptre en ne changeant pas de direction.

Les 3 rayons tracés se coupent en un même point (conditions de Gauss), ce point est l'image de B par le dioptre. Un petit objet plan perpendiculaire à l'axe optique du dioptre donne une image, elle aussi, perpendiculaire à l'axe optique : l'image de A est donc à l'intersection de l'axe optique et de sa perpendiculaire passant par B.

Nous nous plaçons dans le cadre de l'approximation de Gauss (angles faibles autour de l'axe optique), nous pouvons sur la figure assimiler la trace de la face courbe du dioptre à celle de son plan tangent (segment de droite aux 2 brisures indiquant le sens de la courbure).

De plus, le rayon issu de B passant par S fait un angle par rapport à l'axe optique, ce rayon émerge du dioptre en passant par le point  $B'$  et en faisant un angle  $i'$  par rapport à l'axe optique.



**N.B:** Sur la figure, pour qu'elle soit lisible, on a dilaté les dimensions perpendiculairement à l'axe optique. Sur cette figure les angles que forment les rayons avec l'axe optique sont donc beaucoup plus grands qu'en réalité. On peut donc utiliser les approximations  $\tan(i) \approx i$  et  $\tan(i') \approx i'$  pour le raisonnement.

**2. a.** Formules de conjugaisons:

Les rayons envoyés sur le dioptre par l'objet A arrivent dans le milieu d'indice n.

Les rayons qui contribuent à la formation de l'image A' de A émergent dans le milieu d'indice n'.

**Origine au sommet:**

$$\frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA} = \frac{n' - n}{SC}$$

**Origine au centre:**

$$\frac{n}{CA'} - \frac{n'}{CA} = \frac{n - n'}{CS}$$

**2.b.** Formules de grandissement:**Origine au sommet:**

$$\tan(i) = \frac{\overline{AB}}{SA} \quad \text{et} \quad \tan(i') = \frac{\overline{A'B'}}{SA'}$$

Comme nous considérons l'approximation de Gauss

$$\tan(i) \approx i \quad \text{et} \quad \tan(i') \approx i'$$

donc

$$i = \frac{\overline{AB}}{SA} \quad \text{et} \quad i' = \frac{\overline{A'B'}}{SA'}$$

De plus grâce aux lois de Descartes, nous pouvons écrire:

$$n \sin(i) = n' \sin(i')$$

mais pour les mêmes raisons

$$\sin(i) \approx i \quad \text{et} \quad \sin(i') \approx i'$$

nous obtenons donc:

$$n i = n' i'$$

Soit

$$n \frac{\overline{AB}}{SA} = n' \frac{\overline{A'B'}}{SA'}$$

et finalement:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n}{n'} \times \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

**Origine au centre**

D'après le théorème de Thalès dans les triangles CAB et CA'B', nous pouvons écrire:

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

Origine aux foyers

$$\overline{AB} = \overline{SI} \text{ et } \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SI}}$$

d'après le théorème de Thalès dans les triangles A'B'F' et F'SI nous pouvons écrire :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SI}} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{F'S}}$$

$$\overline{A'B'} = \overline{SJ} \text{ et } \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{SJ}}{\overline{AB}}$$

D'après le théorème de Thalès dans les triangles ABF et FSJ nous pouvons écrire:

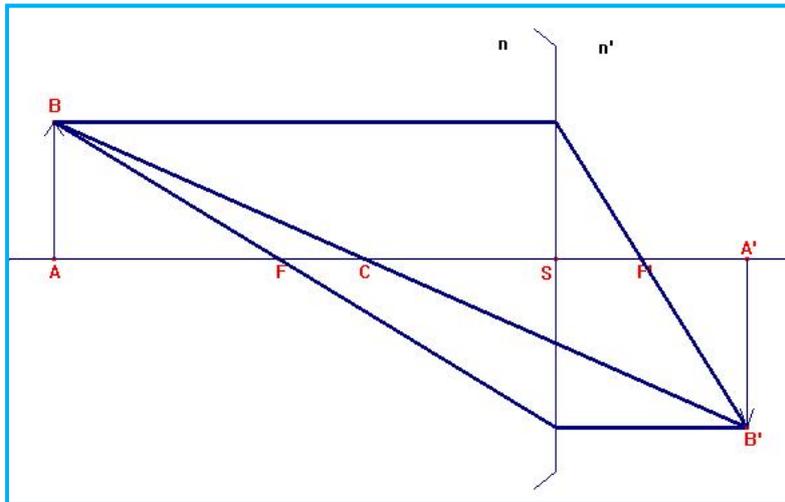
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{SJ}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FS}}{\overline{FA}}$$

On en déduit la formule de Newton:

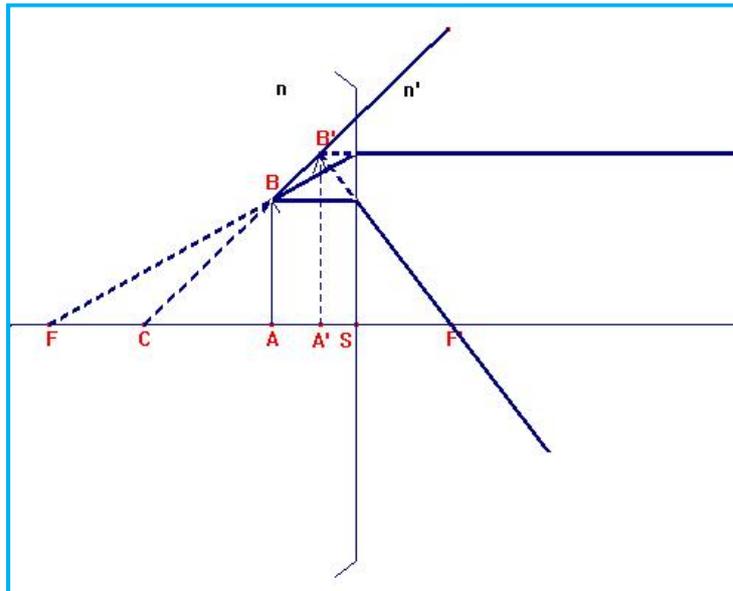
$$\overline{F'A'} \times \overline{FA} = \overline{F'S} \times \overline{FS}$$

3.

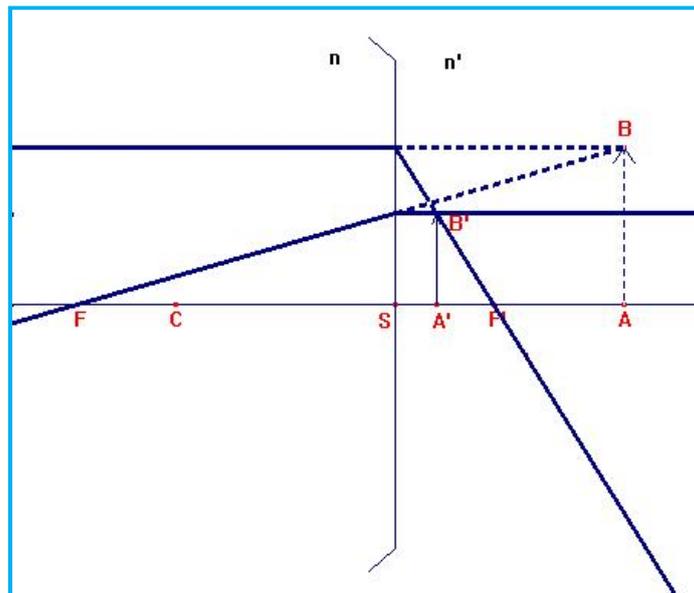
1<sup>er</sup> Cas:  $A \in ]-\infty, F[$ , l'objet est réel et l'image est réelle.



2<sup>ème</sup> cas:  $A \in [F, S]$ , l'objet est réel, l'image est virtuelle:

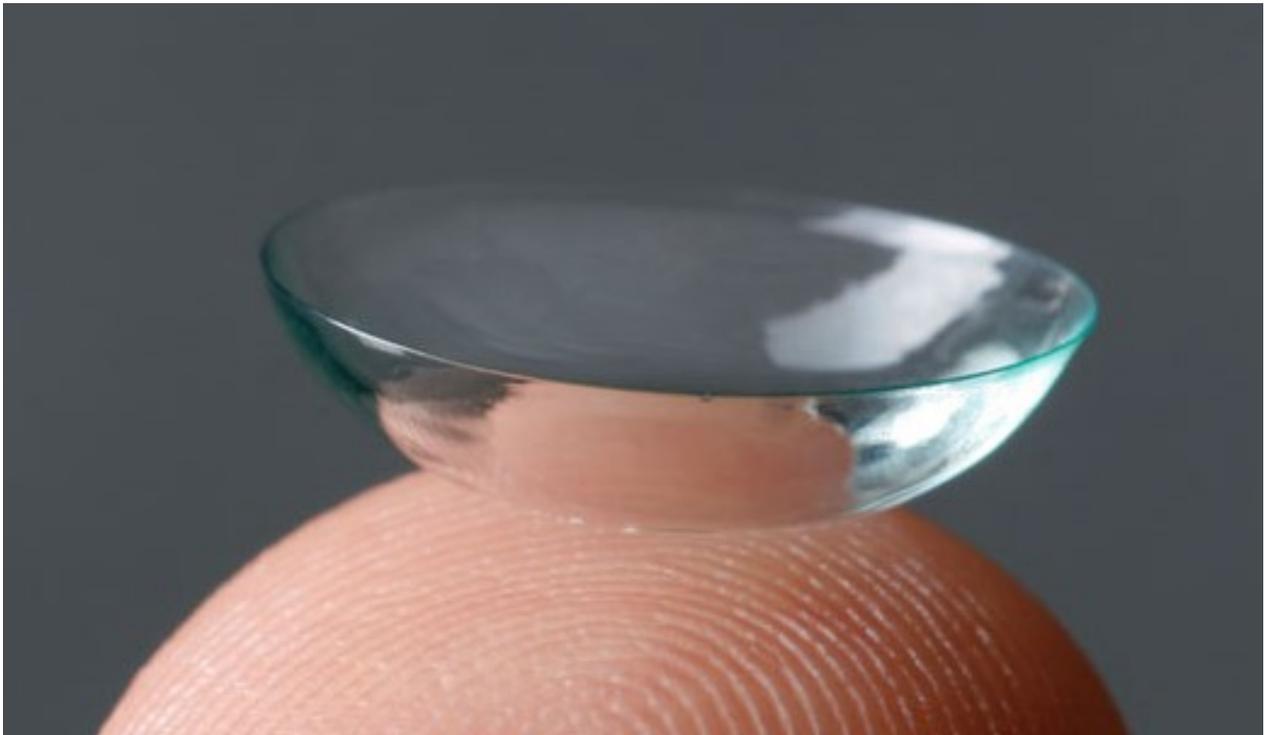


3<sup>ème</sup> cas :  $A \in [ S, +\infty[$ , l'objet est virtuel, l'image est réelle:



# Chapitre V

## Lentilles minces



## V. Les lentilles minces

### V.1. Les lentilles minces- Définition :

Une lentille est un milieu transparent et homogène (verre ou plastique) rigide, limitée par deux faces lisses sphériques, ou l'une est sphérique et l'autre est plane, dont l'épaisseur au centre est différente de celle aux bords.

Les lentilles sont présentes dans les appareils d'optique les plus courants comme les lunettes, les microscopes, appareil photo, les jumelles. Loupe, Télescope .....

Dans notre cours, nous nous limiterons à l'étude des lentilles dites minces. C'est le cas des lentilles dont le rayon de courbure est (très) grand par rapport à l'épaisseur. Si on appelle  $R_1$ ;  $R_2$  les rayons de courbure des deux dioptries,  $C_1$ ;  $C_2$  leurs centres respectifs et  $e$  l'épaisseur de la lentille, alors toute lentille est mince à condition que:

$$e \ll R_1, \quad e \ll R_2, \quad e \ll |R_1 - R_2|$$

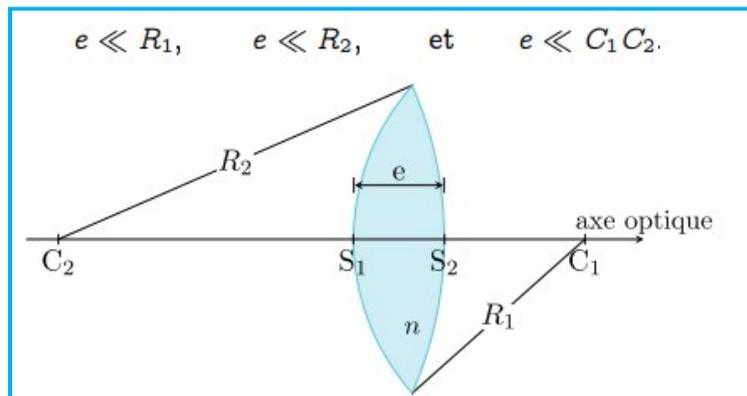


Figure V.1: Schéma d'une lentille mince

### V.2. Types de lentilles

On distingue deux familles de lentilles :

1. **Les lentilles convergentes** sont plus épaisses au centre et minces aux bords
2. **Les lentilles divergentes** sont plus minces au centre, et bords épais

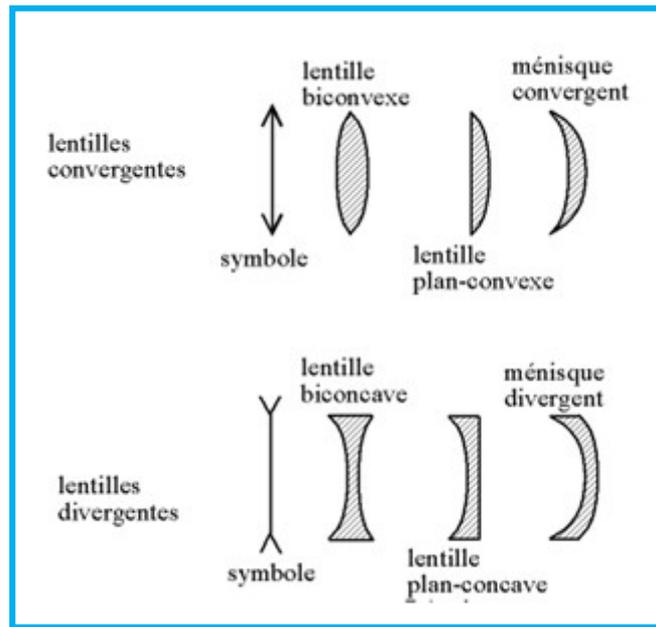


Figure V.2: Différents types de lentilles minces

**V.3.Points particuliers et grandeurs caractéristiques:**

Les lentilles sphériques, comme les miroirs sphériques, ne sont pas des systèmes optiques rigoureusement stigmatiques et aplanétiques. Comme pour le miroir, on peut montrer que des rayons arrivant parallèles sur toute la hauteur de la lentille ne convergent pas en un seul point. Cependant, si les lentilles sont utilisées dans les conditions de Gauss définies dans le chapitre précédent, on parle de stigmatisme et aplanétisme approchés. on pourra alors définir la notions de foyers.

**V.3.1. Centre optique**

On appelle centre optique de la lentille, noté O, le point de l'axe optique de la lentille par lequel passe le rayon réfracté correspondant à un rayon incident dont le rayon émergent correspondant lui est parallèle.

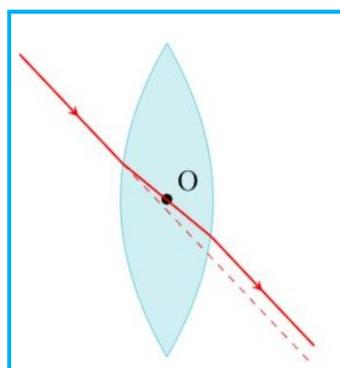


Figure V.3: Centre optique

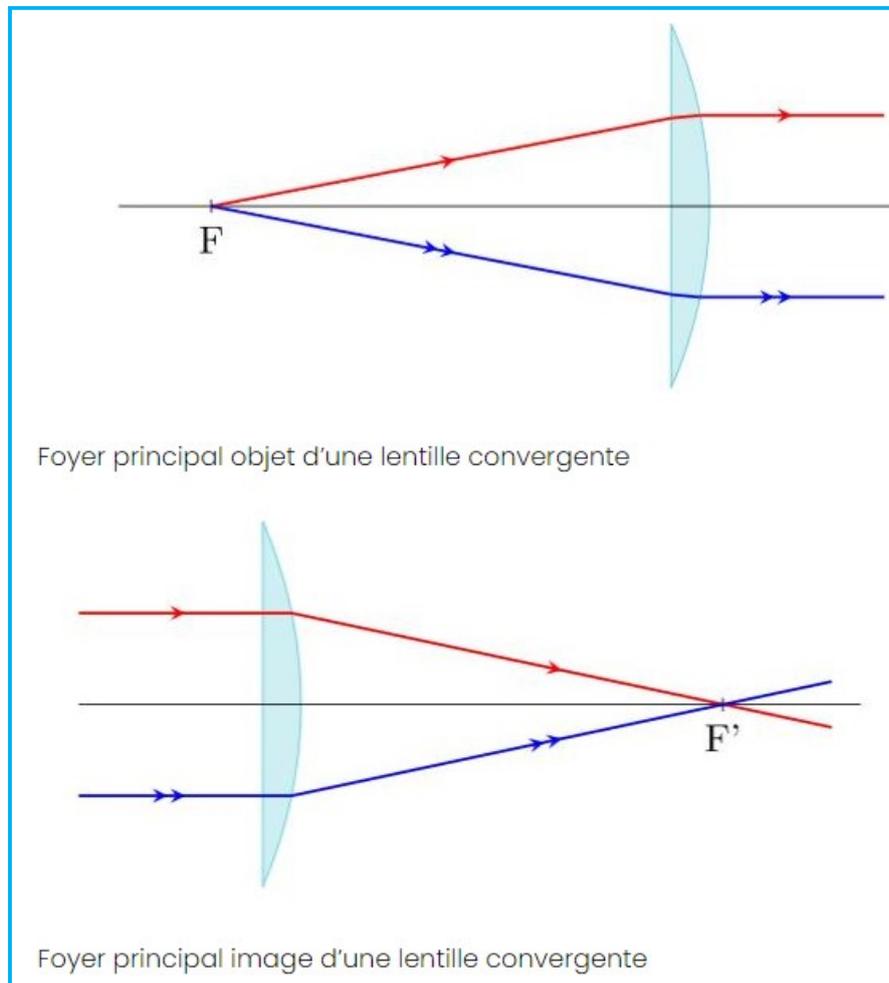
### V.3.2. Foyers

#### Cas d'une lentille convergente

Une lentille convergente comporte deux foyers, appelés foyer principal objet et foyer principal image :

- Tout rayon incident passant par F, foyer principal objet, émerge parallèle à l'axe optique. Ce foyer a donc son image à l'infini ;
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par F', foyer principal image. Ce foyer est donc l'image d'un objet à l'infini ;

Ces foyers sont symétriques par rapport au centre optique de la lentille.



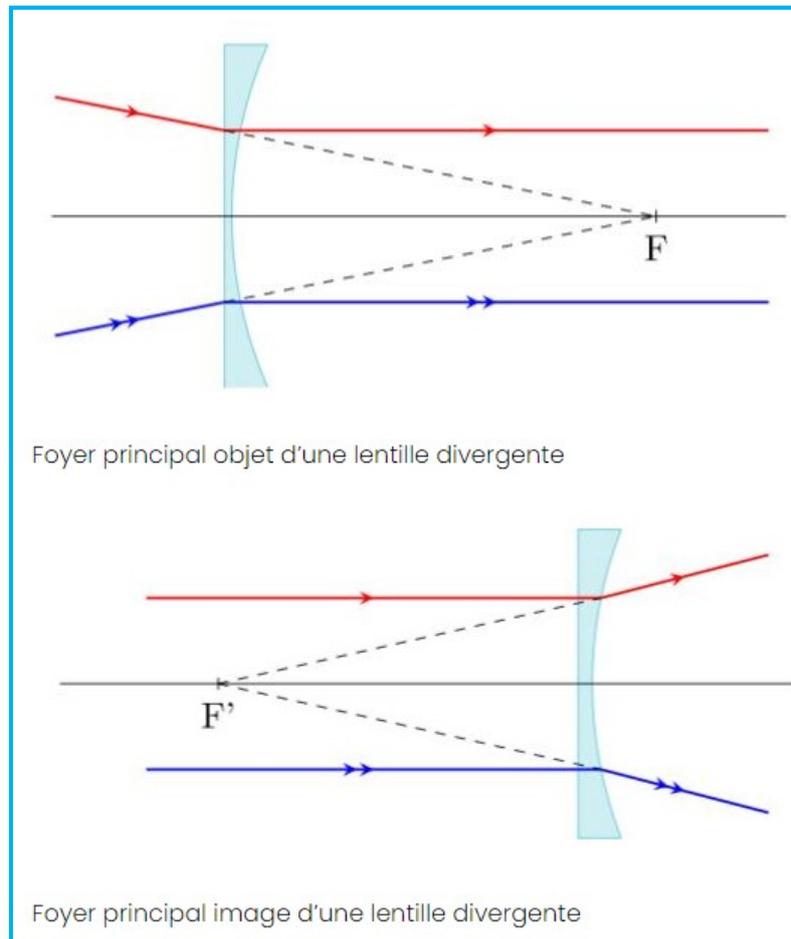
**Figure V.4:** Foyer principal objet et foyer principal image d'une lentille convergente

#### Cas d'une lentille divergente

Une lentille divergente comporte aussi deux foyers, dont les positions sont inversées par rapport à ceux de la lentille convergente :

- Tout rayon incident dont le prolongement passe par  $F$ , foyer principal objet, émerge parallèle à l'axe optique ;
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de façon à ce que leur prolongement passe par  $F'$  ;

Ces foyers sont également symétriques par rapport au centre optique de la lentille



**Figure V.5:** Foyer principal objet et foyer principal image d'une lentille divergente

## V.4. Distance focale, vergence:

### V.4.1. Distance focale image:

On appelle distance focale image la distance séparant le centre de la lentille au foyer image. On la note  $f'$ . C'est une quantité algébrique, c'est-à-dire qu'on la compte positivement dans le sens de propagation de la lumière.

- $f'$  est positive dans le cas d'une lentille convergente
- $f'$  est négative dans le cas d'une lentille divergente.

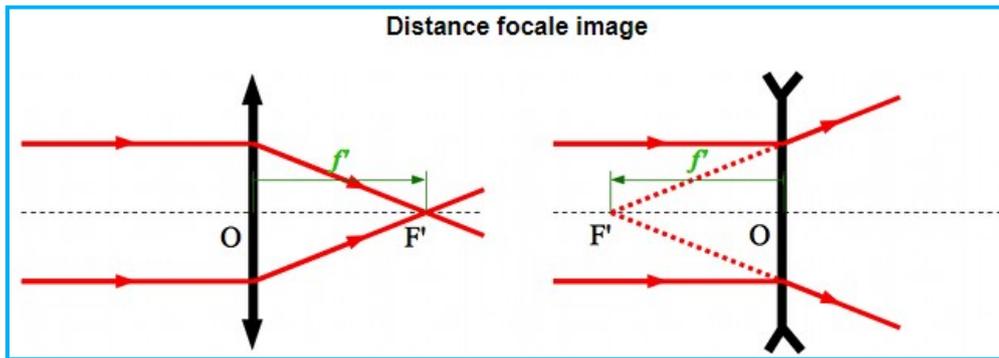


Figure V.6: Distance focale image d'une lentille convergente et d'une lentille divergente

#### V.4.2. Distance focale objet:

De la même manière, on définit la distance focale objet comme étant la distance séparant le centre de la lentille et le foyer principal objet. Les deux foyers  $F$  et  $F'$  étant symétriques par rapport au centre  $O$ , on obtient:  $f = f'$ .

- $f$  est négative dans le cas d'une lentille convergente
- $f$  est positive dans le cas d'une lentille divergente.

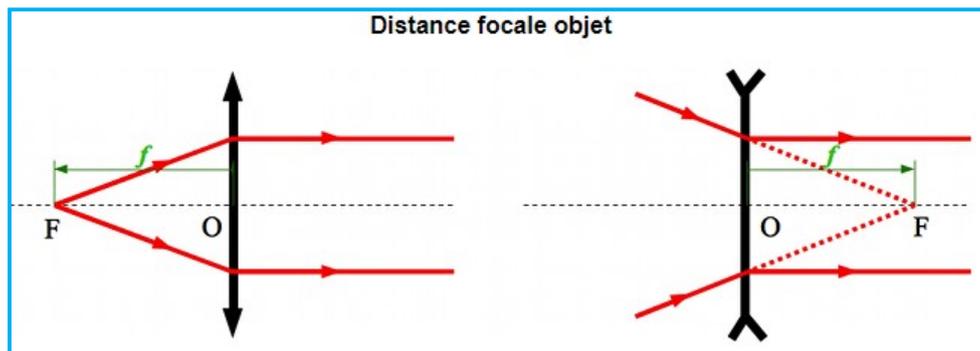


Figure V.7: Distance focale objet d'une lentille convergente et d'une lentille divergente

#### V.4.3. Vergence:

On définit la vergence comme étant l'inverse de la distance focale image.

$$V = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f}$$

Elle s'exprime en  $m^{-1}$  ou encore en dioptrie (noté  $\delta$ ). Par exemple, une lentille divergente de distance focale  $f' = -10$  cm (correction pour une myopie sévère) possède une vergence de  $-10 \delta$ . C'est le nombre annoncé dans les ordonnances pour les lunettes.

## V.5. Propriétés des rayons passant par les foyers, rayons utiles

### V.5.1. Les rayons principaux dans une lentille convergente

Lorsqu'un objet se situe devant une lentille convergente, il y a trois rayons principaux qui peuvent être utilisés pour déterminer la position de l'image.

1. Un rayon parallèle à l'axe principal est dévié par la lentille en passant par le foyer image (foyer principal).
2. Un rayon passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.
3. Un rayon passant par le foyer objet (foyer secondaire) est dévié parallèlement à l'axe principal.

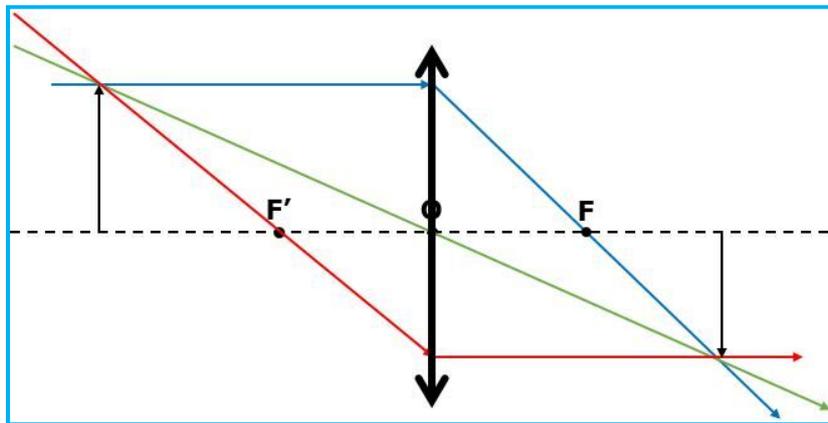


Figure V.8: Les rayons principaux dans une lentille convergente

### V.5.2. Les rayons principaux dans une lentille divergente

Lorsqu'un objet se situe devant une lentille divergente, il y a trois rayons principaux qui peuvent être utilisés pour déterminer la position de l'image.

1. Un rayon parallèle à l'axe principal est dévié par la lentille en semblant provenir du foyer image (foyer principal).
2. Un rayon passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.
3. Un rayon dirigé vers le foyer objet (foyer secondaire) est dévié parallèlement à l'axe principal.

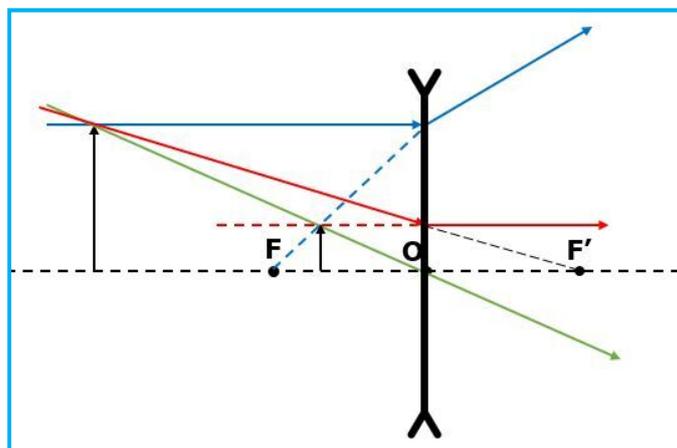


Figure V.9: Les rayons principaux dans une lentille divergente

## V.6. Relations de grandissement et de conjugaison:

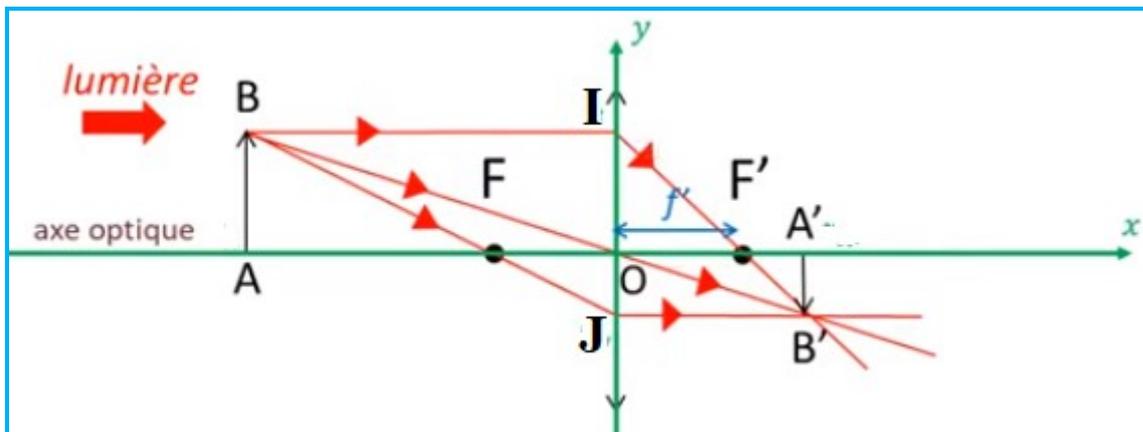
### V.6.1. Relation du grandissement

Considérons une lentille L dont on connaît les caractéristiques, L ( $f$ , F, F') et un objet AB de petite taille perpendiculaire à l'axe optique.

A étant sur l'axe, A' l'est aussi. De plus, l'image est perpendiculaire à l'axe optique. Par conséquent, déterminer B' permet d'obtenir A'B'. Pour cela, on utilise deux rayons dont on connaît la marche dans la lentille:

- le rayon (BO) qui traverse la lentille sans déviation,
- le rayon parallèle à l'axe optique qui émerge en passant par le foyer principal image F'.

A titre de vérification, il est possible de tracer le rayon passant par le foyer objet qui émerge parallèle à l'axe et doit couper les deux autres en B'.



**Figure V.10:** Construction géométrique de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente

On remarque que:

- les triangles OAB et OA'B'
- les triangles F'OI et F'A'B'
- les triangles FAB et FOJ

Sont tous semblables deux à deux. On peut donc écrire l'égalité des rapports:

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

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{OJ}}{\overline{FO}}$$

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{F'A'}} = \frac{\overline{OI}}{\overline{F'O}}$$

Soit les grandissements (en remarquant que):

$$\overline{OI} = \overline{AB} \quad \text{et} \quad \overline{OJ} = \overline{A'B'}$$

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

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$$

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$$

On appelle **grandissement** le rapport algébrique

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

Le **grandissement** est sans dimension. Il exprime le rapport d'homothétie de l'image et de l'objet.

Il permet de définir la taille et le sens de l'image.

- Si  $\gamma < 0$ , l'image est renversée (par rapport à l'objet).
- Si  $\gamma > 0$ , l'image est droite (par rapport à l'objet).
- Si  $|\gamma| > 1$ , l'image est plus grande que l'objet.
- Si  $|\gamma| < 1$ , l'image est plus petite que l'objet.

### V.6.2. Relations de conjugaison (origine au foyer)

En égalisant les deux dernières relations

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$$

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$$

Il vient directement

$$\overline{FO} = -\overline{F'O} = f'$$

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

On peut aussi égaler les deux premières et utiliser la relation:

$$\overline{FA} = \overline{FO} + \overline{OA}$$

$$\overline{OA'}(\overline{FO} + \overline{OA}) = \overline{FO} \times \overline{OA}$$

$$\overline{FO} \times \overline{OA} - \overline{OA'} \times \overline{FO} = \overline{OA'} \times \overline{OA}$$

En divisant par  $\overline{OA} \times \overline{OA'} \times \overline{FO}$ ,

Il vient la relation:

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

La relation de conjugaison des lentilles minces avec origine au centre optique de la lentille s'écrit:

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

Cette relation détermine algébriquement la position de l'image en fonction de celle de l'objet et de la distance focale de la lentille.

Elle permet aussi de déterminer la nature de l'image:

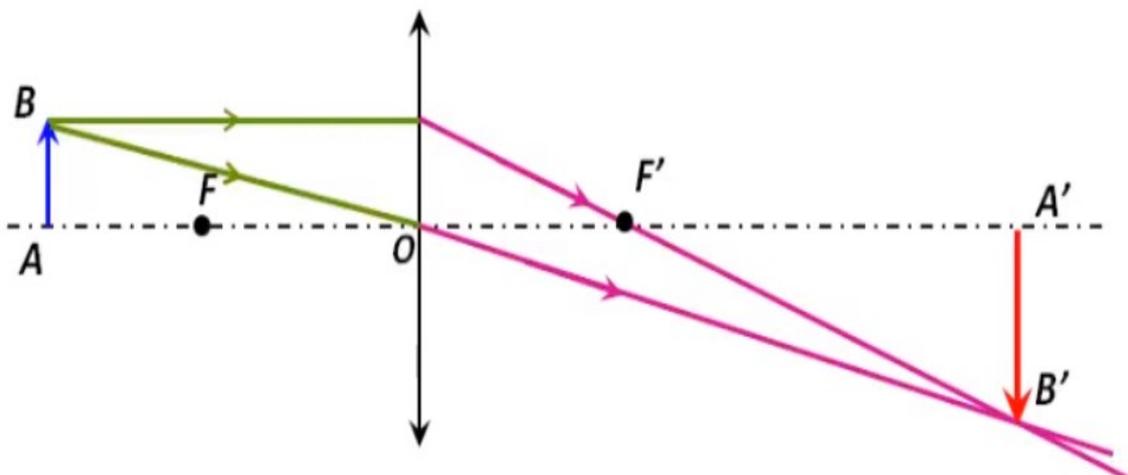
- ✚  $\overline{OA'} > 0$ , l'image est réelle
- ✚  $\overline{OA'} < 0$ , l'image est virtuelle

Il est possible d'établir une relation entre la position de l'objet et de l'image en prenant comme origine des mesures algébriques les foyers et non le centre.

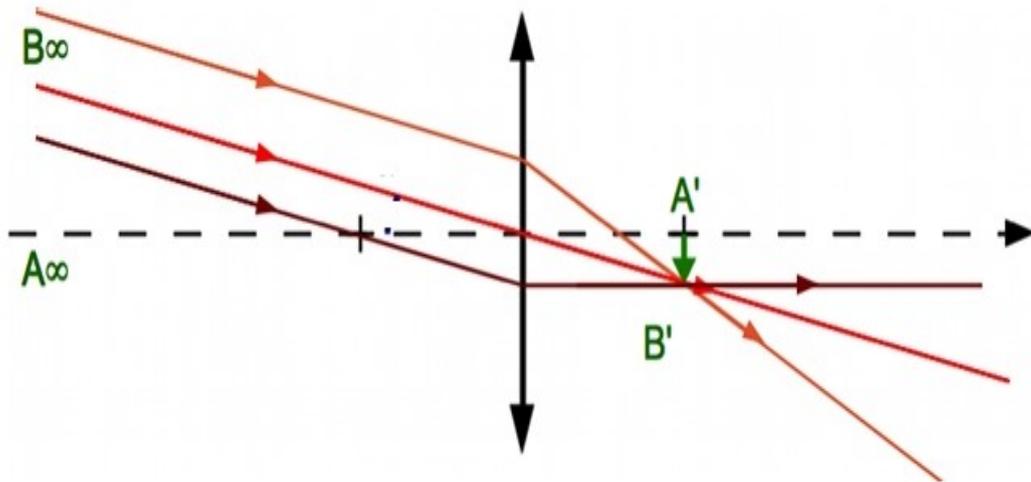
## V.7. Des constructions pour toutes les configurations

### V.7.1. Cas d'une lentille convergente:

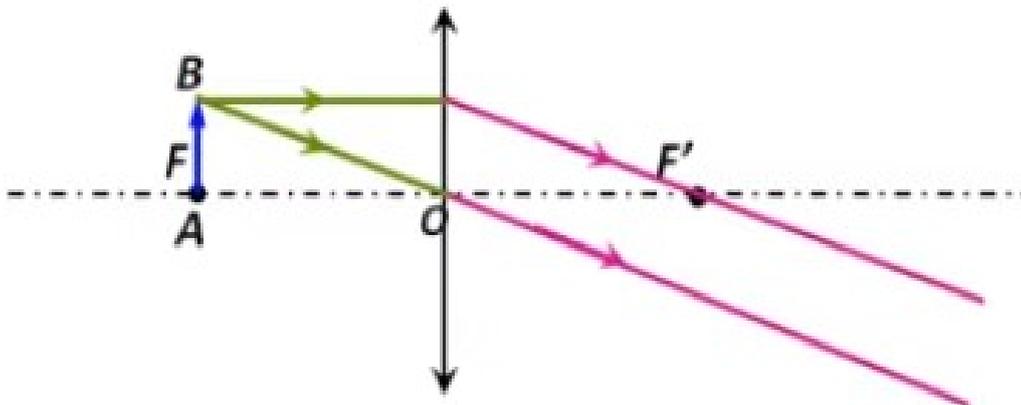
#### 1 Cas: Construction de l'image réelle d'un objet réel situé avant F:



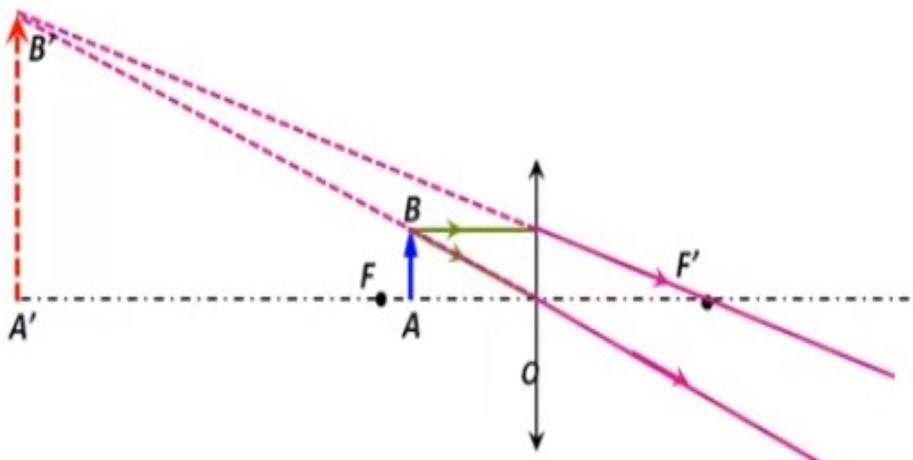
**2 Cas: Construction de l'image réelle d'un objet réel situé l'infini:**



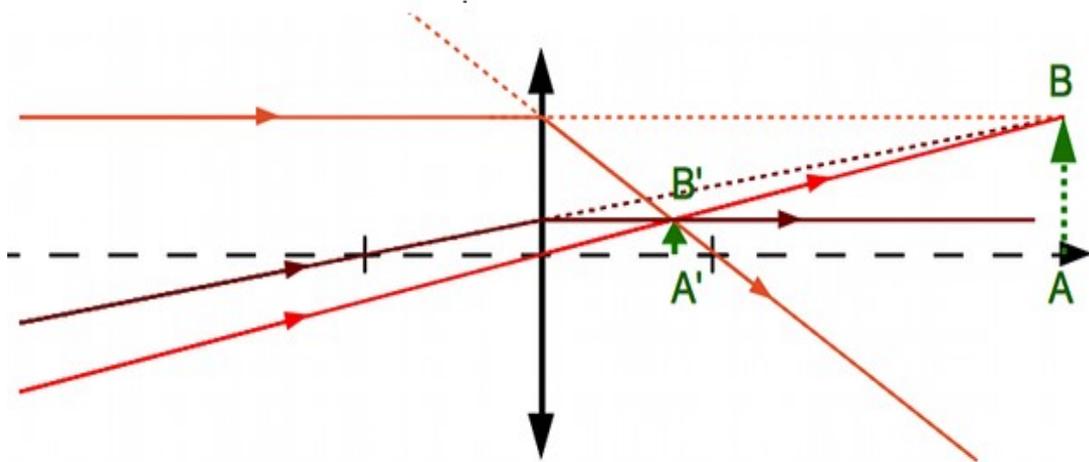
**3 Cas: Construction de l'image réelle d'un objet réel situé sur F:**



**4 Cas: Construction de l'image virtuelle d'un objet réel situé après F:**

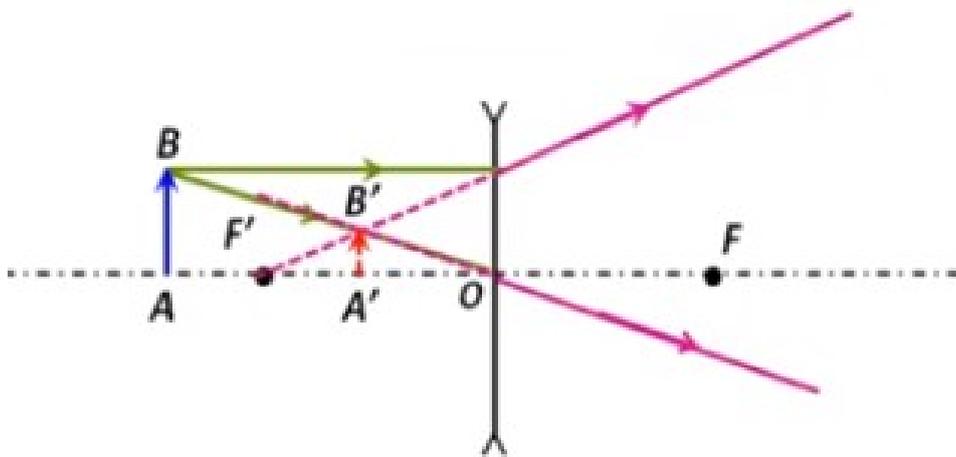


**5 Cas: Construction de l'image réelle d'un objet virtuelle situé après  $F'$ :**

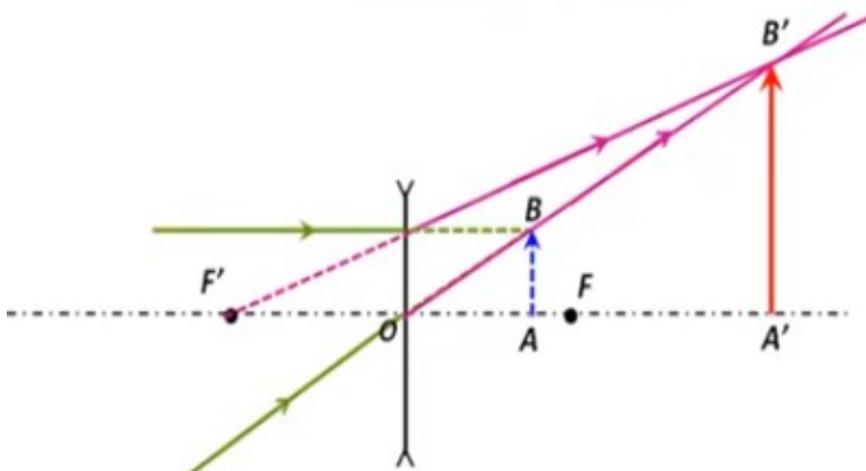


**V.7.2. Cas d'une lentille divergente:**

**1 Cas: Construction de l'image virtuelle d'un objet réel situé avant  $F'$ :**



**2 Cas: Construction de l'image réelle d'un objet virtuel situé avant  $F$ :**





- a) Elle les fait converger en un point focal
- b) Elle les fait diverger
- c) Elle les réfléchit

3. Quel type de lentille est utilisé pour corriger la vision des personnes atteintes de myopie ?

- a) Lentille convergente
- b) Lentille divergente
- c) Lentille plan-concave

4. Le point où les rayons lumineux parallèles se rencontrent après avoir traversé une lentille convergente est appelé :

- a) Point focal
- b) Centre optique
- c) Centre de courbure

5. Quelle est la différence entre une lentille convergente et une lentille divergente ?

- a) La lentille convergente fait converger les rayons, tandis que la lentille divergente les fait diverger.
- b) La lentille convergente fait diverger les rayons, tandis que la lentille divergente les fait converger.
- c) Les deux types de lentilles font converger les rayons.

6. Quel est l'effet d'une lentille convergente sur les rayons lumineux parallèles lorsqu'ils la traversent ?

- a) Ils convergent vers un point focal
- b) Ils restent parallèles
- c) Ils divergent

7. La distance entre le centre optique d'une lentille et son point focal est appelée :

- a) Distance focale
- b) Longueur focale
- c) Rayon focal

8. Quel est le pouvoir d'une lentille convergente avec une distance focale de 10 cm ?

- a) 0,1 dioptrie

- b) 10 dioptries
- c) 0,01 dioptrie

9. Comment appelle-t-on le point de départ des rayons lumineux qui traversent une lentille ?

- a) Point focal
- b) Point principal
- c) Point objet

10. Quel type de lentille est souvent utilisé dans les lunettes pour corriger la vision des personnes atteintes de presbytie ?

- a) Lentille convergente
- b) Lentille divergente
- c) Lentille plan-concave

11. Quel type d'image est formé par une lentille convergente lorsque l'objet est situé entre le foyer et la lentille ?

- a) Virtuelle, droite et agrandie
- b) Réelle, inversée et agrandie
- c) Virtuelle, droite et réduite

12. La distance focale d'une lentille mince est mesurée en :

- a) Dioptries ( $\delta$ )
- b) Mètres (m)
- c) Centimètres (cm)

13. Pour une lentille convergente, la distance focale est généralement :

- a) Positive
- b) Négative
- c) Nulle

14. Où se forme l'image d'un objet réel placé devant une lentille convergente ?

- a) Du même côté que l'objet
- b) Du côté opposé à l'objet
- c) À l'intérieur de la lentille

15. La vergence d'une lentille est mesurée en dioptries ( $\delta$ ). Comment est calculée la vergence d'une lentille convergente ?

- a) En prenant l'inverse de la distance focale en mètres
- b) En multipliant la distance focale par 2
- c) En additionnant la distance focale et la distance de l'objet

16. Comment appelle-t-on le point où les rayons lumineux parallèles semblent se rencontrer après avoir traversé une lentille convergente ?

- a) Point principal
- b) Point objet
- c) Point focal

17. Quelle est la relation entre la distance focale ( $f$ ) d'une lentille convergente et sa vergence ( $V$ ) ?

- a)  $V = \frac{1}{f'}$
- b)  $V = f$
- c)  $V = 2f$

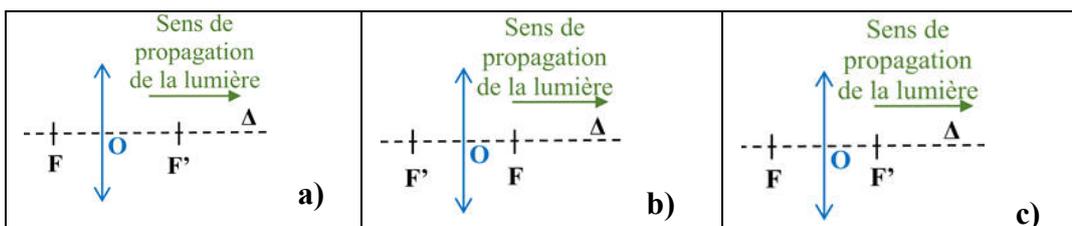
18. Quel type de lentille est utilisé pour disperser la lumière et créer un spectre lumineux ?

- a) Lentille convergente
- b) Lentille divergente
- c) Lentille prismatique

19. La distance focale  $f'$  est la distance entre :

- a) le foyer objet  $F$  et le foyer image  $F'$
- b) le centre optique  $O$  et le foyer image  $F'$
- c) le centre optique  $O$  et le point image  $A'$

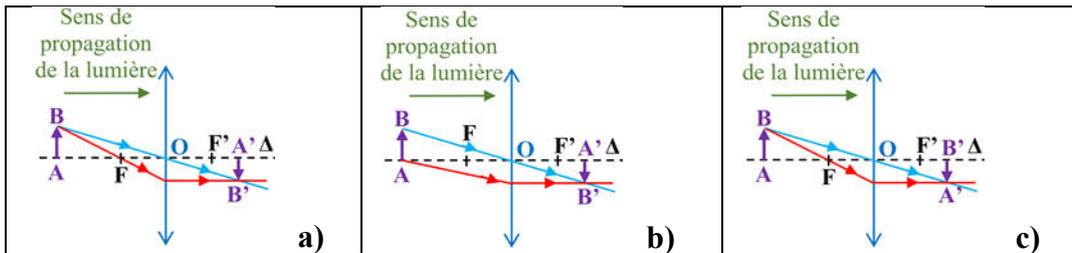
20. Le schéma qui représente correctement une lentille mince convergente est :



21. Un rayon lumineux passant par le foyer objet F de la lentille et qui traverse la lentille mince convergente:

- a) passe par le foyer image F'.
- b) coupe l'axe optique en un autre point que le foyer image F'.
- c) sort de la lentille parallèle à l'axe optique.

22. La construction graphique correcte de l'image A'B' est :



23. A'B' est l'image d'un objet AB par une lentille mince convergente de centre optique O.

Le grandissement a pour valeur absolue

- a)  $|\gamma| = \frac{AB}{A'B'}$
- b)  $|\gamma| = \frac{A'B'}{AB}$
- c)  $|\gamma| = A'B' \times AB$

**Réponses:** 1. b) - 2. a) - 3. b) - 4. a) - 5. a) - 6. a) - 7. a) - 8. a) - 9. c) - 10. a), 11. a) - 12. c) - 13. a) - 14. b) - 15. a) - 16. c) - 17. a) - 18. c) - 19. b) - 20. c) - 21. c) - 22. a) - 23. b).

### Exercices corrigés

#### Exercice 1:

Soit une lentille mince **convergente**, de centre optique O, de foyers F et F'.

1. Rappeler les formules de conjugaison et de grandissement avec origine au centre optique.
2. Construire l'image A'B' d'un objet AB perpendiculaire à l'axe principal situé entre  $-\infty$  et le foyer objet F.
3. Retrouver les formules de grandissement avec origines aux foyers.
4. En déduire la formule de Newton.

Le petit objet AB se déplace de  $-\infty$  à  $+\infty$ .

5. L'espace objet peut être décomposé en 3 zones, construire les images correspondants à un objet placé successivement dans chacune de ces zones. En déduire les zones correspondantes de l'espace image.

Indiquer dans chaque cas la nature de l'image.

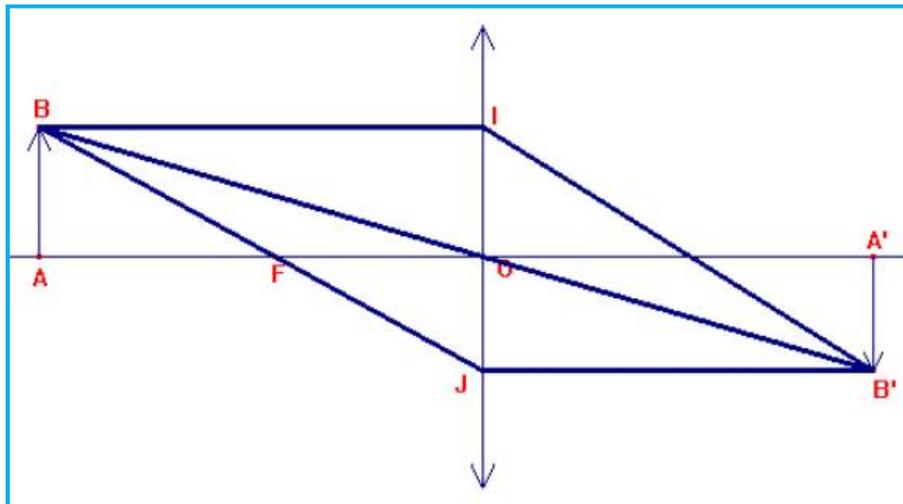
*L'étudiant pourra reprendre cette étude dans le cas d'une lentille divergente.*

### Solution:

1. Formule de conjugaison avec origine au centre optique:

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

2. Construction d'images:



3. Formule de grandissement avec origine au centre optique:

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

Formules de grandissement avec origine aux foyers:

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

en appliquant le théorème de Thalès aux triangles FAB et FOJ, on obtient :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OJ}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$$

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

En appliquant le théorème de Thalès aux triangles  $F'A'B'$  et  $F'OI$ , on obtient :

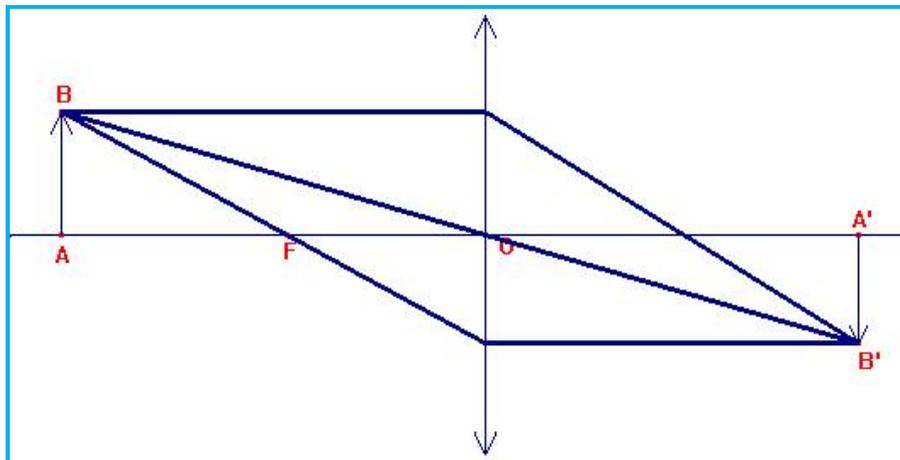
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OI}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{FO}}$$

4. Formule de Newton

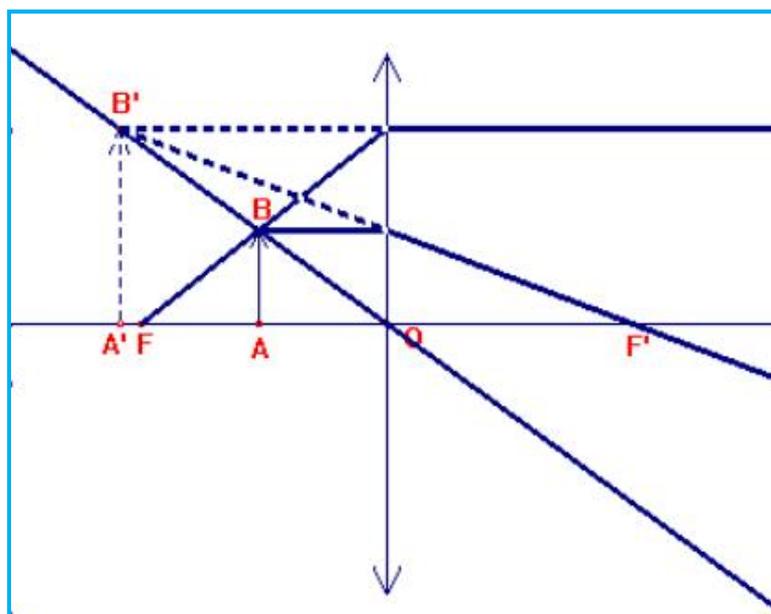
$$\gamma = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{FO}} \Rightarrow \overline{FA} \times \overline{F'A'} = \overline{OF} \times \overline{OF'} = \overline{OF}^2 \quad (\text{Formule de Newton})$$

5.

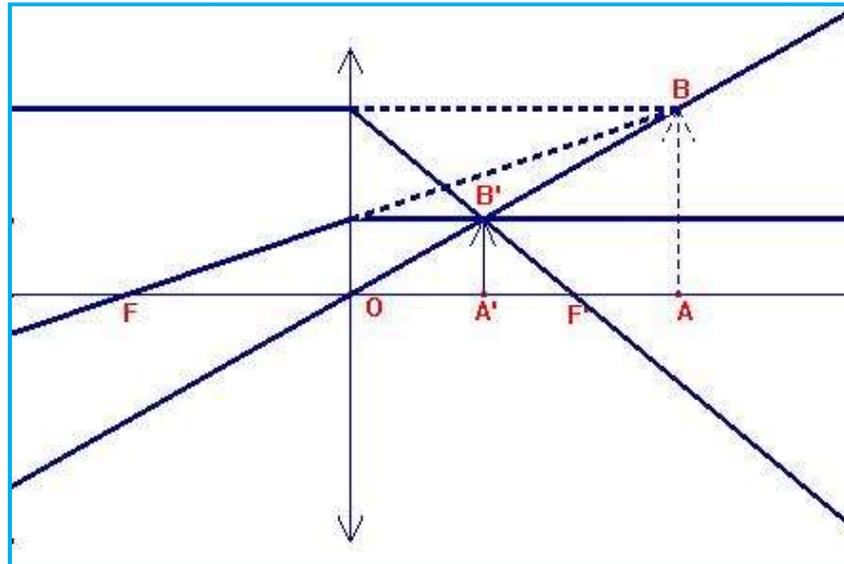
**1<sup>er</sup> Cas :**  $A \in ]-\infty, F]$ , l'objet est réel et l'image est réelle.



**2<sup>ème</sup> Cas :**  $A \in [F, O]$ , l'objet est réel, l'image est virtuelle:

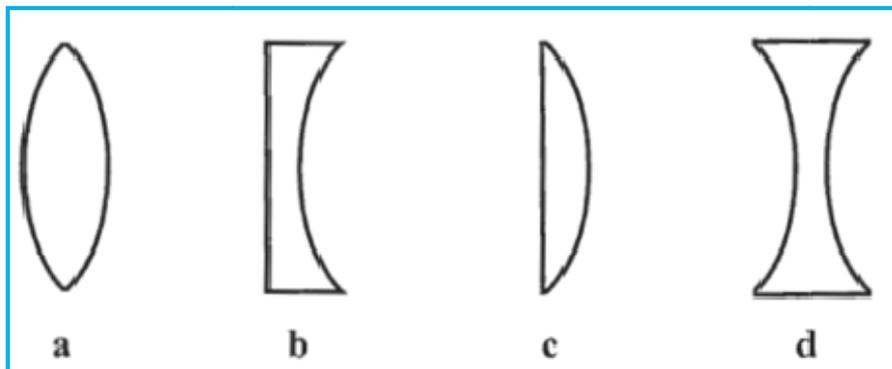


**3<sup>ème</sup> Cas** :  $A \in [O, +\infty[$ , l'objet est virtuel, l'image est réelle:



**Exercice 2:**

1) Parmi les quatre lentilles représentées ci-dessous, déterminer la plus convergente en expliquant le choix.

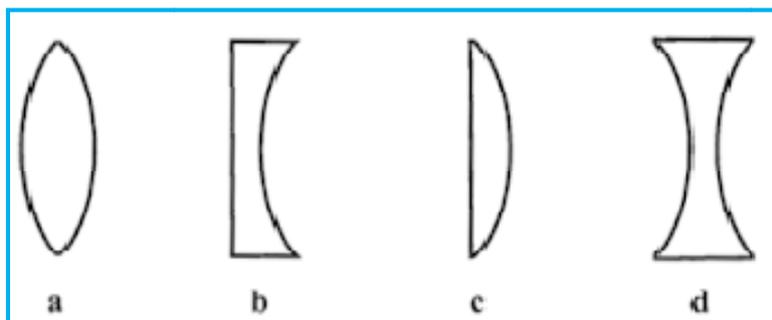


2) Donner le schéma de représentation de la lentille **a** et celui de la lentille **d**.

3) Décrire deux méthodes permettant de reconnaître une lentille convergente.

**Solution:**

1) Quelle est la lentille la plus convergente ?



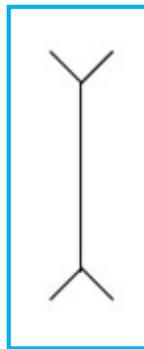
Les lentilles **b** et **d** sont des lentilles **divergentes**. En effet, leurs formes plus épaisses sur les bords qu'en leurs centres montrent qu'il s'agit de lentilles divergente.

Les lentilles **a** et **c** sont bien des lentilles **convergentes** (leurs centres étant plus épais que leurs bords).

Et parmi ces deux lentilles convergentes, c'est celle dont les faces sont les plus courbées qui est **la plus convergente**. Il s'agit donc de **la lentille a**.

2) Schéma de représentation des lentilles b et d :

Comme nous venons de le montrer, les lentilles b et d sont des lentilles divergentes. Leur symbole est donc le suivant :



3) Deux méthodes qui permettent de reconnaître une lentille :

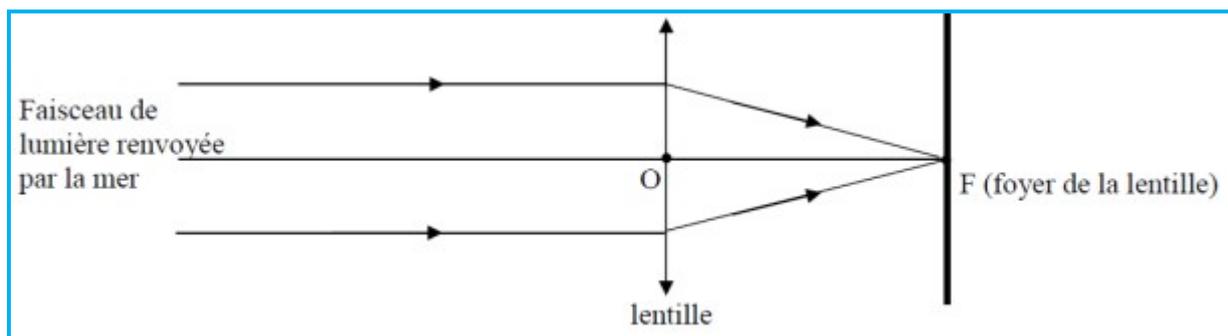
Hormis par l'observation de leurs formes, il existe deux autres méthodes pour déterminer la nature d'une lentille.

- **Par l'observation d'un objet à travers la lentille:** l'image d'un objet proche d'une lentille est plus grande avec une lentille convergente et plus petite avec une lentille divergente.

- **Par l'observation de la déviation d'un faisceau de lumière:** une lentille convergente rend convergent un faisceau de lumière, une lentille divergente le rend divergent.

### Exercice 3:

Le trajet d'un faisceau de lumière renvoyé par la mer pénètre dans l'œil selon le schéma suivant :



1-1) Donner la nature de la lentille représentée ci-dessus.

1-2) Citer un autre type de lentille et donner son schéma de représentation.

1-3) Donner deux méthodes permettant de distinguer les deux types de lentilles.

2-1) Le schéma précédent est réalisé à l'échelle 2. La valeur de la distance focale de la lentille est 2cm.

2-1-1) Faire apparaître cette distance focale sur le schéma.

2-1-2) Retrouver à l'aide de l'échelle du schéma, cette valeur.

2-2) On donne la relation :  $C = \frac{1}{f'}$

2-2-1) Nommer chacune des grandeurs utilisées dans la relation.

2-2-2) Donner le nom et le symbole des unités de ces grandeurs.

2-2-3) Faire le calcul de C et choisir parmi les valeurs suivantes : +50δ ; + 0,5δ ; -50δ celle qui correspond à la lentille précédente.

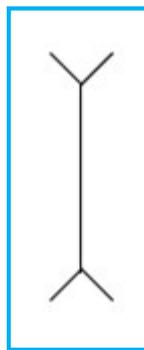
### Solution:

1-1) Nature de la lentille :

Le symbole et le fait que les rayons convergent montrent qu'il s'agit d'une lentille convergente.

1-2) Autres types de lentille :

Il existe également des lentilles divergentes. Le symbole des lentilles divergentes est le suivant :



1-3) Comment les distinguer ?

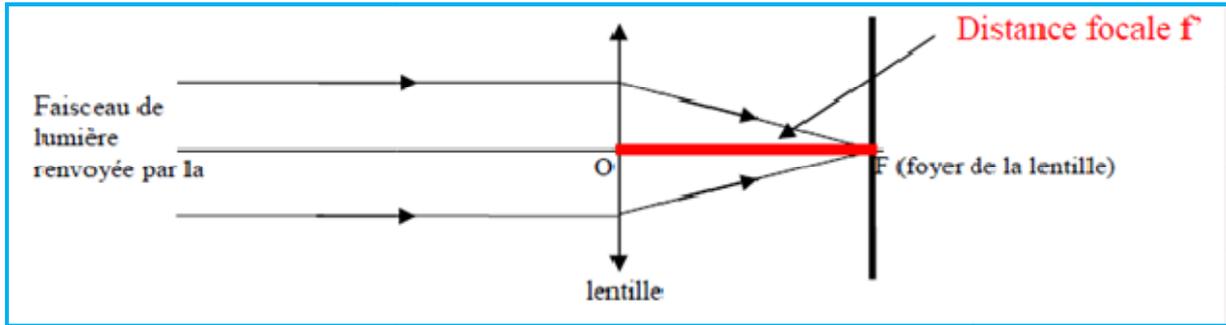
Il existe trois méthodes pour différencier les lentilles convergentes des lentilles divergentes :

**Par l'observation de leur forme:** les lentilles divergentes ont des bords épais et un centre fin, c'est l'inverse pour les lentilles convergentes.

**Par l'observation d'un objet à travers la lentille:** l'image d'un objet proche d'une lentille est plus grande avec une lentille convergente et plus petite avec une lentille divergente.

**Par l'observation de la déviation d'un faisceau de lumière:** une lentille convergente rend convergent un faisceau de lumière, une lentille divergente le rend divergent.

## 2-1-1) Distance focale :



## 2-1-2) Valeur de la distance focale :

Sur le schéma on mesure 4cm pour la distance focale. Sachant que le schéma est à l'échelle 2, on en déduit la valeur de la distance focale  $f' = 2\text{cm}$ .

Vergence :

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

C'est la vergence

$f'$  est la distance focale

## 2-2-2) Unités :

La vergence s'exprime en dioptries ( $\delta$ )

La distance focale s'exprime en mètre (**m**)

## 2-2-3) Calcul de la vergence :

$$C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0.02} = 50\delta$$

$$C = 50\delta$$

C'est positif car la lentille est convergente.

**Exercice 4:**

Un objet lumineux AB de hauteur 1cm, est perpendiculaire à l'axe principal d'une lentille mince de distance focale 20 mm. Afin de localiser l'image A'B' de cet objet AB. On a tracé ci-dessous, deux rayons lumineux issus de l'objet AB.

- 1) S'agit-il d'une lentille convergente ou divergente ? Pourquoi ?
- 2) Quelle relation lie la distance focale et la vergence d'une lentille ? Préciser les unités des différentes grandeurs citées.
- 3) Calculer la vergence de cette lentille.

- 4) Sur le schéma ci-dessous, positionner le foyer image  $F'$  et tracer un autre rayon lumineux issu du point B.
- 5) Déterminer à l'aide du schéma, la position, le sens et la taille de l'image.

### Solution

- 1) Le symbole utilisé est celui d'une lentille convergente. De plus le fait que les rayons convergent confirme bien la nature convergente de la lentille.
- 2) La distance focale  $f'$  et la vergence  $C$  d'une lentille sont liées par la relation :

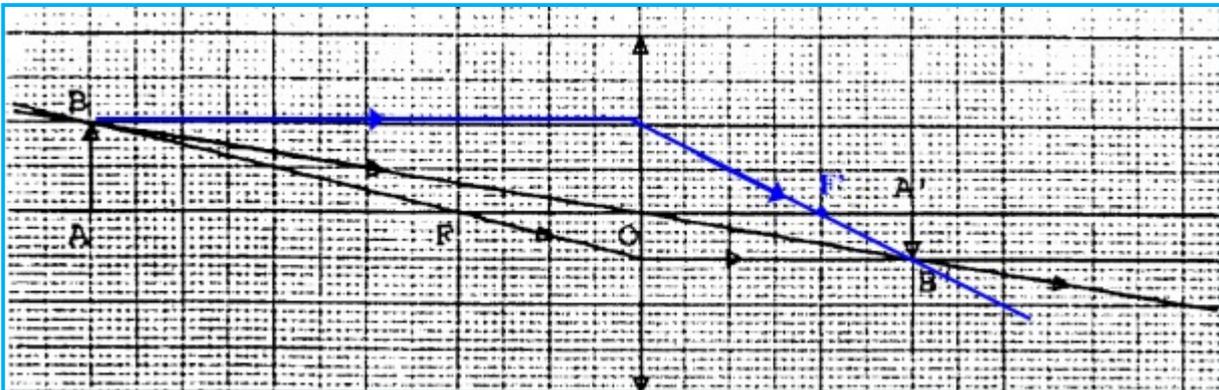
$$C = \frac{1}{f'}$$

- 3) Calcul de la vergence de la lentille :

$$C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0.02} = 50\delta$$

$$C = 50 \delta$$

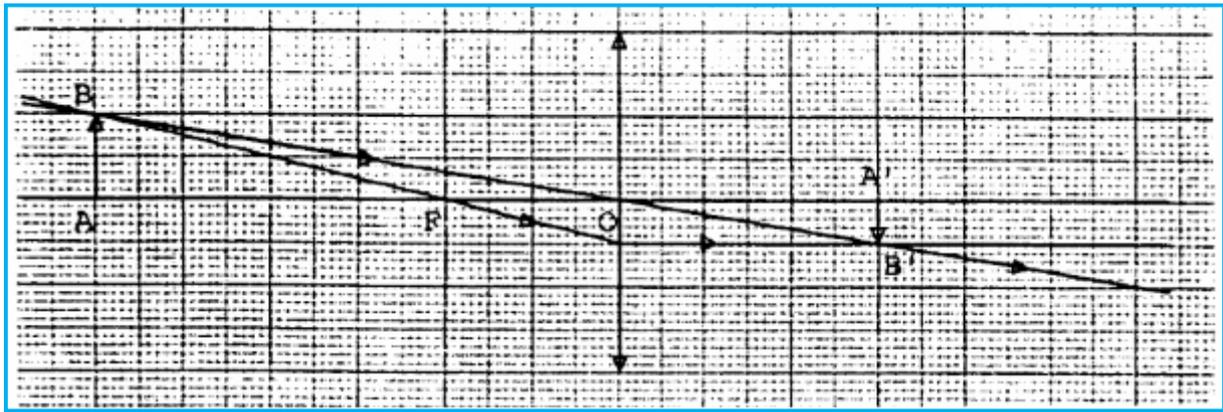
- 4) Schéma :



- 5) Caractéristiques de l'image :

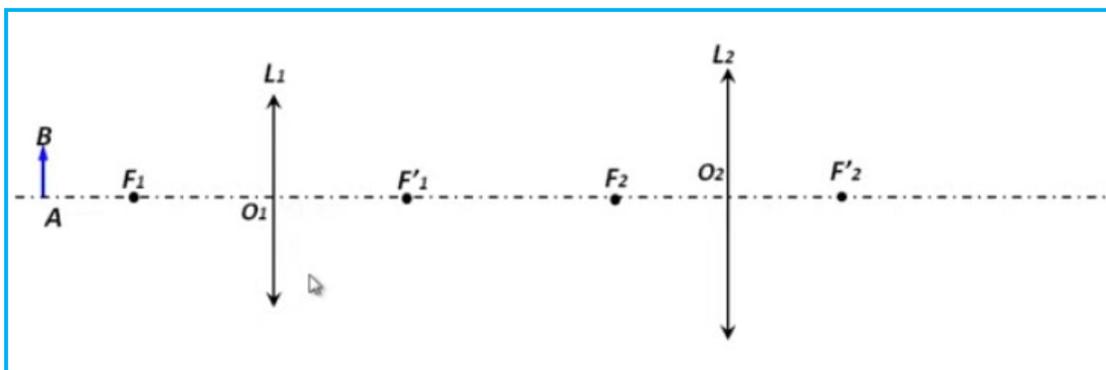
L'image obtenue est :

- ✚ Renversée
- ✚ Située 3cm après le centre optique de la lentille
- ✚ D'une taille de 0,5 cm



**Exercice 5: Association de deux lentilles**

Soit deux lentilles convergentes  $L_1$  et  $L_2$ :



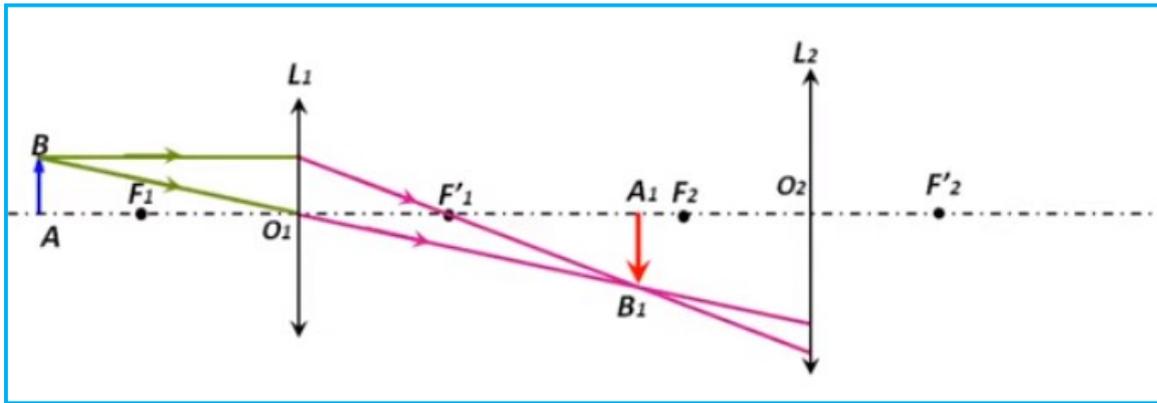
- 1- Déterminer l'image de l'objet AB à travers les deux lentilles ( $L_1$ ) et ( $L_2$ )
- 2- répondre à la même question en remplaçant la lentille ( $L_2$ ) par une lentille divergente
- 3- Déterminer l'image de l'objet AB à travers l'association d'une lentille convergente ( $L_1$ ) et une lentille divergente ( $L_2$ ). L'objet étant positionné au foyer  $F_1$

**Solution:**

1. Construction de l'image de l'objet AB

**Etape 1:**

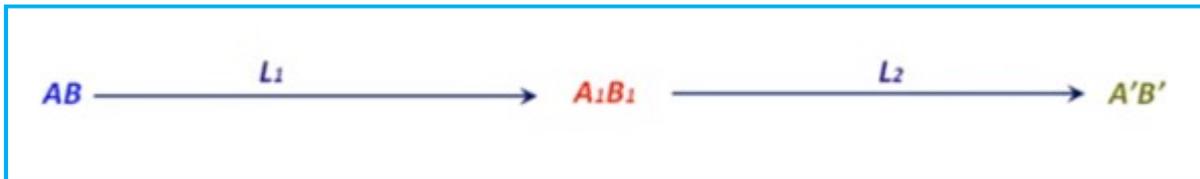
Construction de l'image de AB à travers ( $L_1$ )



$A_1B_1$  est l'image de l'objet  $AB$  à travers la lentille  $L_1$

$A_1B_1$  est un objet pour la lentille  $L_2$

$A'B'$  est l'image de l'objet  $A_1B_1$  à travers la lentille  $L_2$



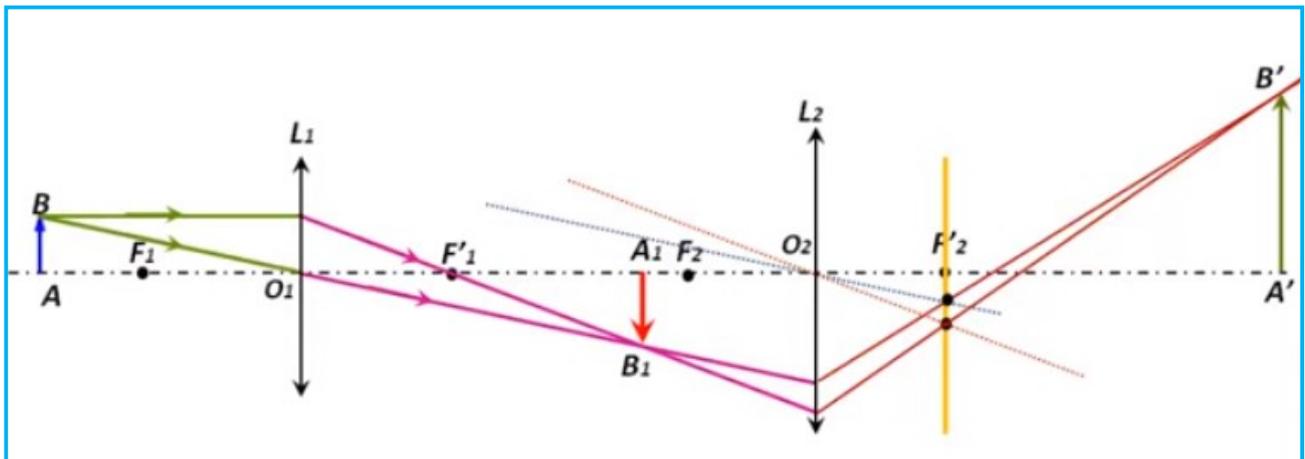
**Etape2:**

Construction de l'image  $A'B'$  de l'objet  $A_1B_1$  à travers la lentille  $L_2$

**1<sup>ère</sup> méthode:** en considérant les axes optiques secondaires

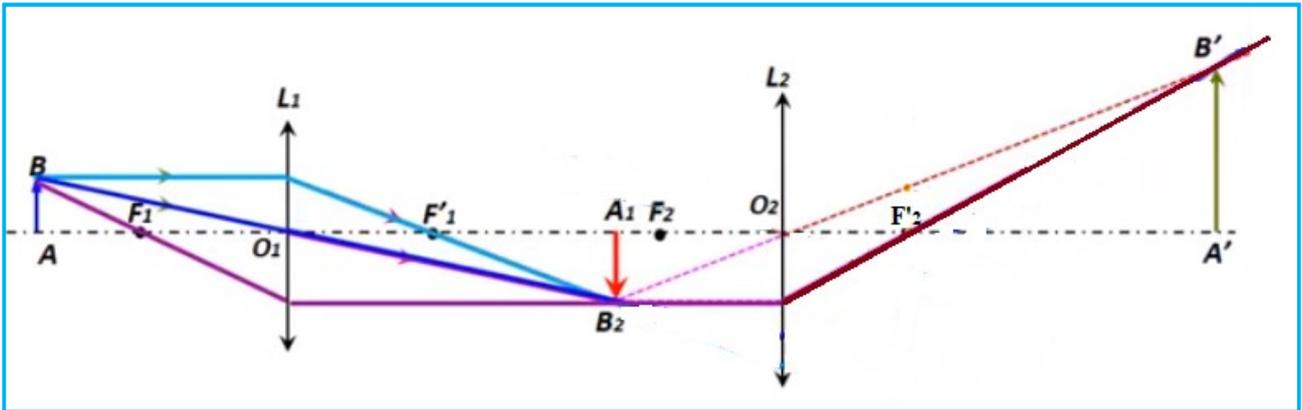
On trace les axes optiques passant par  $O_2$  et parallèle aux rayons incidents (rose) arrivant sur la lentille  $L_2$

Ces deux rayons vont émerger de la lentille  $L_2$  en passant par les deux points d'intersection des deux axes optiques secondaires avec le plan focal ( plan perpendiculaire à l'axe optique principal au point foyer  $F'_2$ )



L'intersection des deux rayons émergents est le point  $B'$  de l'image  $A'B'$ .

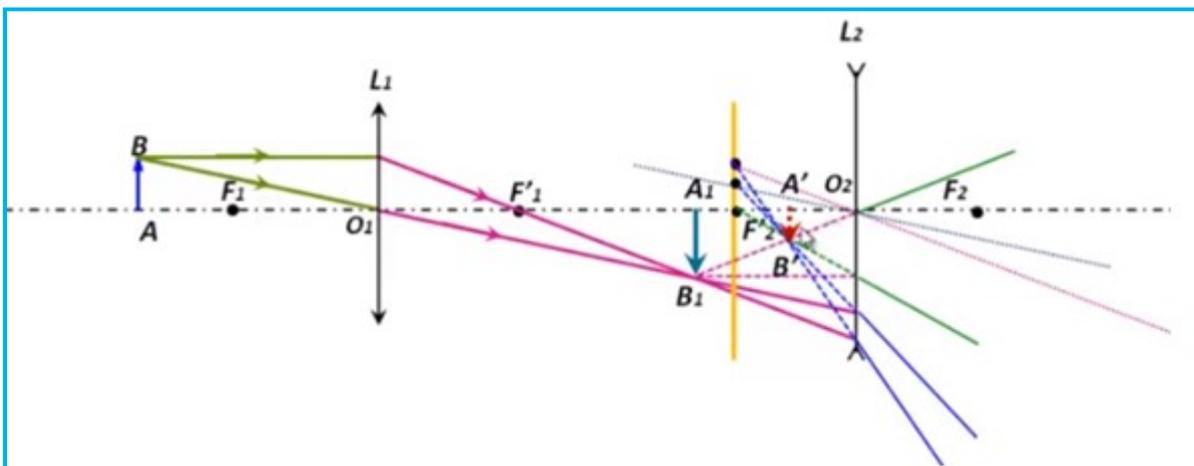
2<sup>ème</sup> méthode: en traçant l'image de  $A_1B_1$  à travers ( $L_2$ )



$A'B'$  est une image pour tout le système optique

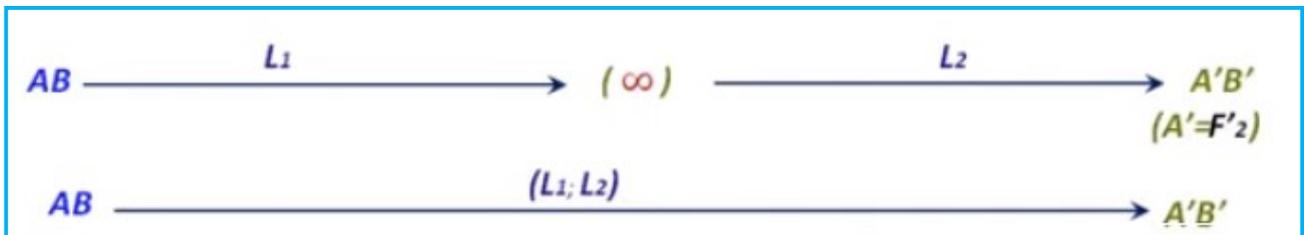
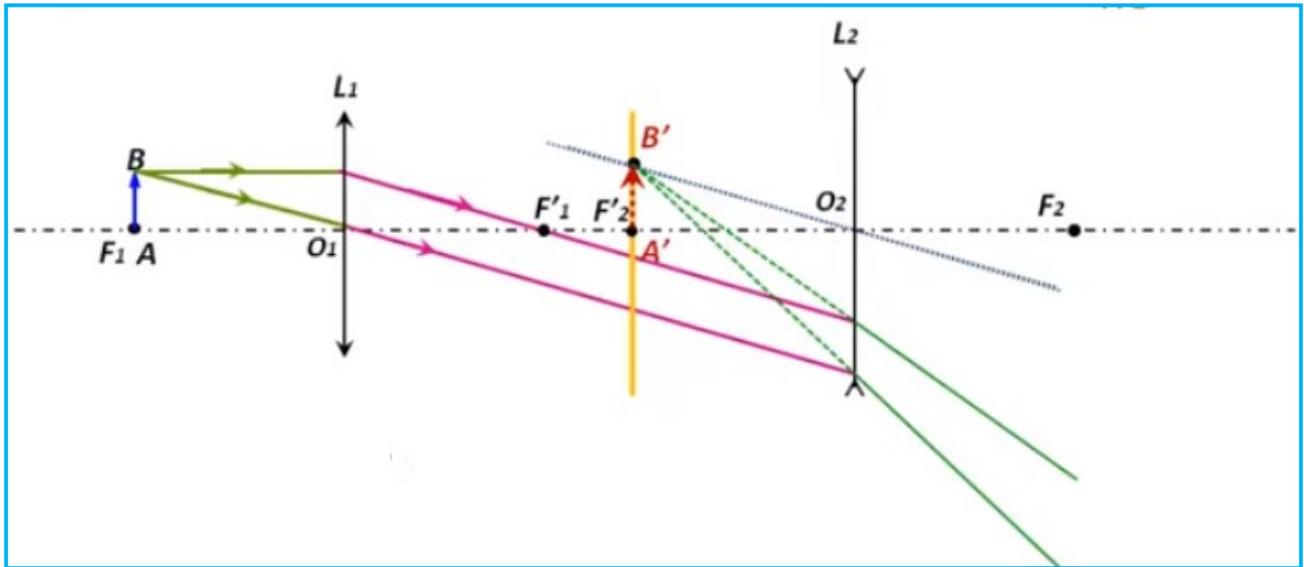


2. Image d'un objet réelle à travers l'association de deux lentilles: ( $L_1$ ) convergente et ( $L_2$ ) divergente



$A'B'$  est l'image de l'objet  $AB$  à travers l'association des deux lentilles ( $L_1$ ) et ( $L_2$ ).

3. L'image de l'objet  $AB$  à travers l'association d'une lentille convergente ( $L_1$ ) et une lentille divergente ( $L_2$ ). L'objet étant positionné au foyer  $F_1$



$A'B'$  est l'image de l'objet  $AB$  situé au point  $F_1$  à travers l'association d'une lentille convergente ( $L_1$ ) et une lentille divergente ( $L_2$ )

# Chapitre VI

## L'oeil



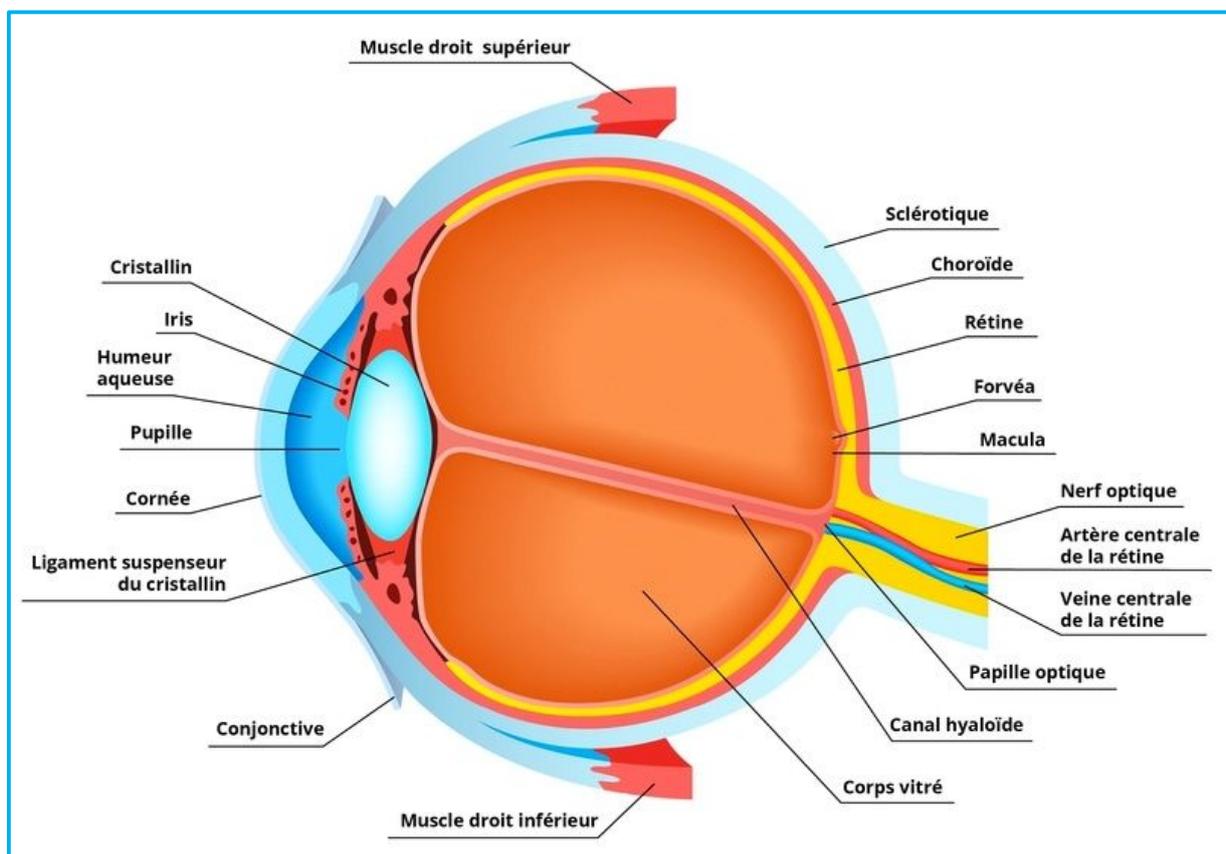
## Chapitre VI: L'œil

### VI.1. L'œil : l'organe de la vision

L'œil est l'organe principal du système visuel, qui capte les images et les transforme en signal électrique vers le nerf optique. Ce signal est ensuite «traduit» par le cerveau, au niveau du cortex visuel, qui nous renvoie l'image traitée et permet ainsi l'interprétation de notre environnement.

La vue chez l'être humain représente la principale source d'information du cerveau sur le monde extérieur : environ 70% des informations passent par la vision.

Le champ visuel humain couvre **environ 220° en horizontal et 140° en vertical**.



**Figure VI.1:** Anatomie de l'œil

L'œil peut se définir comme une **caméra**, la plus complexe et la plus aboutie qui existe. Dans cet organe ultra-perfectionné, chaque élément a son rôle et son importance.

### La cornée : la responsable de l'éclairage

La cornée agit comme une fenêtre par laquelle la lumière pénètre dans l'œil. Elle joue un rôle prépondérant dans la focalisation de la lumière sur la rétine.

### Le cristallin : un rôle de «zoom»

Le cristallin est responsable de la mise au point des objets à différentes distances en ajustant sa courbure. Il peut se bomber pour focaliser les objets proches et s'aplatir en position de repos pour rendre nets les objets éloignés.

### L'iris : la couleur des yeux

L'iris détermine la couleur des yeux en fonction de l'épaisseur et de la concentration en mélanine des lamelles pigmentaires qui le composent. Plus l'éventail est épais et contient de mélanine, plus l'œil est foncé

### L'humeur aqueuse

L'humeur aqueuse est un liquide transparent qui est constamment filtré et renouvelé. Elle joue un rôle crucial avec le corps vitré pour maintenir la pression et la forme du globe oculaire. Principalement composée d'eau, elle contient également de la vitamine C, du glucose, de l'acide lactique et des protéines. Ce liquide est renouvelé environ toutes les 2 à 3 heures

### La pupille: le diaphragme de l'œil

L'expression "La pupille : le diaphragme de l'œil" fait une analogie entre la pupille de l'œil humain et le diaphragme d'un appareil photo. Dans cette comparaison, la pupille est assimilée au diaphragme car elle joue un rôle similaire dans le contrôle de la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil.

Le diaphragme d'un appareil photo permet de réguler l'ouverture de l'objectif, influençant ainsi la quantité de lumière qui atteint le capteur ou la pellicule. De même, la pupille de l'œil s'ouvre ou se ferme pour réguler la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil, ce qui permet à l'œil de s'adapter à différentes conditions d'éclairage. En somme, cette comparaison souligne le rôle fondamental de la pupille dans le processus de vision en contrôlant l'entrée de la lumière dans l'œil

### La rétine : le film photographique

L'expression "La rétine : le film photographique" établit une analogie entre la rétine de l'œil humain et le film photographique. Dans cette comparaison, la rétine est assimilée au film car elle joue un rôle similaire dans la captation et la transmission de l'information visuelle.

Le film photographique est la surface photosensible située à l'intérieur d'un appareil photo qui enregistre les images en réagissant à la lumière. De manière semblable, la rétine de l'œil est la partie sensible à la lumière située à l'arrière de l'œil qui convertit les stimuli lumineux en signaux électriques transmis au cerveau. Ainsi, cette comparaison met en avant la fonction essentielle de la rétine dans le processus de vision en tant que "film" biologique qui capte et transmet les informations visuelles au cerveau. Elle est constituée de centaines de millions de cellules nerveuses photo-réceptrices.

**La couche la plus externe de la rétine** contient des photorécepteurs équipés d'un pigment photosensible. Ce pigment réagit à la lumière en provoquant une modification chimique, convertissant ainsi l'énergie lumineuse en énergie électrique. Le signal électrique ainsi généré est ensuite transmis au cerveau par le biais des cellules ganglionnaires présentes **dans la couche la plus interne de la rétine**. Pour que l'information visuelle puisse être interprétée, elle doit subir un processus de régénération complexe qui implique la participation d'autres types de cellules spécialisées.

#### Les cônes (environ 6-7 millions) :

Ces cellules interprètent les couleurs d'une image en la décomposant en 3 couleurs primaires: le rouge, le bleu et le vert.

#### Les bâtonnets (environ 130 millions) :

ces cellules analysent la lumière. Les bâtonnets sont des cellules sensorielles présentes dans la rétine de l'œil. Ils sont au nombre d'environ 130 millions. Leur principale fonction est d'analyser la lumière. Ces cellules sont responsables de la perception des contrastes et des nuances de luminosité dans l'environnement. Contrairement aux cônes, qui sont également présents dans la rétine et qui sont responsables de la vision des couleurs, les bâtonnets sont plus sensibles à la lumière faible et permettent de voir en conditions de faible luminosité, mais ne permettent pas de distinguer les couleurs.

#### Le nerf optique : la « courroie de distribution »

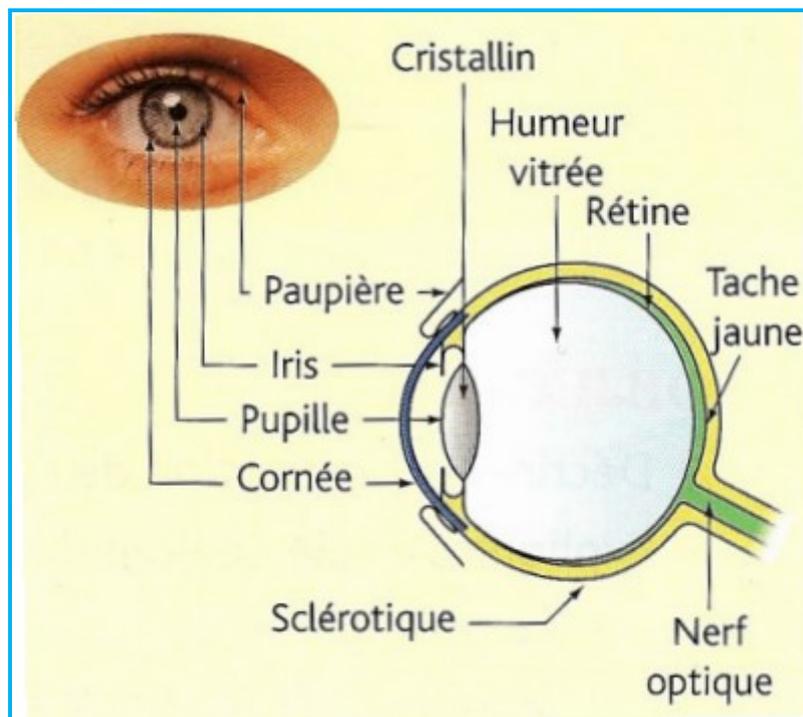
Il **transmet les informations** reçues par les yeux vers le cerveau, au niveau du *cortex visuel*. Il mesure 4 mm de diamètre pour 5 cm de long. C'est lui qui permet au *cerveau* d'**enregistrer**, d'**interpréter** et de **traduire** les images.

L'expression "Le nerf optique : la 'courroie de distribution'" établit une analogie entre le nerf optique et une courroie de distribution. Dans cette comparaison, le nerf optique est assimilé à une courroie de distribution car il joue un rôle crucial dans le transfert d'informations visuelles entre la rétine et le cerveau. Le nerf optique est la structure anatomique qui assure le transfert des signaux

visuels générés par la rétine vers le cerveau, permettant ainsi l'interprétation et la perception des images visuelles

### VI.2.L'œil modèle réduit:

L'œil peut être modélisé par un œil réduit, qui consiste en un **diaphragme (iris)** disposé devant une **lentille convergente (cristallin)**, elle-même placée devant un **écran (la rétine)** recueillant l'image ainsi formée.



**Figure VI.2:** Schéma de l'œil

Pour construire le modèle de l'œil réduit, seuls trois éléments seront conservés : l'iris, le cristallin et la rétine.

→ **L'iris** sera assimilé à **un diaphragme** permettant de faire varier la quantité de lumière incidente en faisant varier son diamètre d'ouverture.

→ **Le cristallin** sera assimilé à **une lentille convergente**.

→ **La rétine**, quant à elle, sera assimilée à **un écran** situé à l'arrière de la lentille où les images se formeront. On représente alors l'œil réduit comme :

### VI.3. Modèle simplifié d'un œil

Pour étudier la vision d'un œil normal, on le modélise par un montage optique convergent. La **distance  $d$**  entre le cristallin et la rétine est **une constante**, valant approximativement **17mm** pour un œil humain.

La distance entre le cristallin et la rétine, également connue sous le nom de longueur focale de l'œil, varie en fonction de plusieurs facteurs, dont la forme de l'œil et l'âge de l'individu. Cependant, cela peut varier légèrement d'une personne à l'autre.

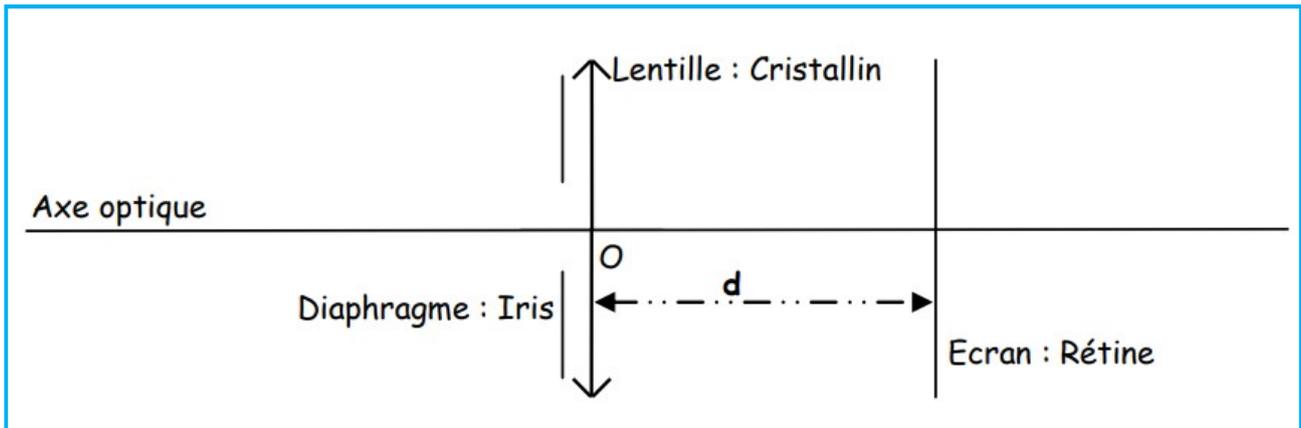


Figure VI.3: Modèle simplifié de l'œil.

### VI.4. Fonctionnement de l'œil.

#### VI.4.1. Formation d'une image sur la rétine :

Pour qu'un objet soit vu nettement, il faut que son image se forme sur la tâche jaune de la rétine centrée sur l'axe optique.

**Deux conditions doivent être remplies :**

- L'objet ne doit pas être trop écarté de l'axe optique de l'œil.
- L'image de l'objet doit se former à une distance constante (égale à 17 mm) du centre optique O.

#### VI.4.2. Vision à l'infini :

Dans l'œil normal (dit emmétrope) au repos, le plan focal image coïncide avec la rétine. L'image de l'objet à l'infini ( $\infty$ ) se forme donc exactement sur la rétine et l'objet est vu nettement (figure VI.3).

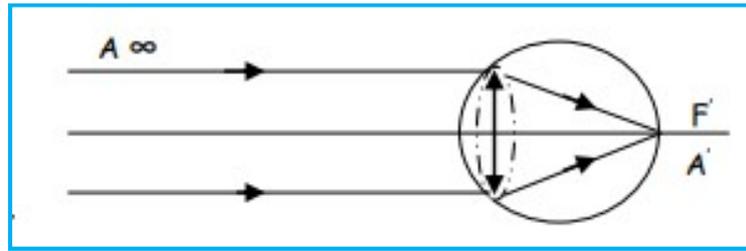


Figure VI.4: L'image de l'objet à l'infini dans l'œil normal au repos

### VI.4.3. Vision rapprochée: l'accommodation.

- L'observation d'un objet rapproché exige un délai et un effort d'adaptation de la vision : On dit que l'œil **accommode**.
- Lorsque l'objet se rapproche de l'œil, en l'**absence d'accommodation**, son image se déplace dans le même sens. Elle se forme donc derrière la rétine et la vision est floue. (figure VI.5)

L'œil doit ramener l'image sur la rétine en augmentant sa convergence. Cela peut se faire grâce à la déformation du cristallin sous l'action des muscles ciliaires.

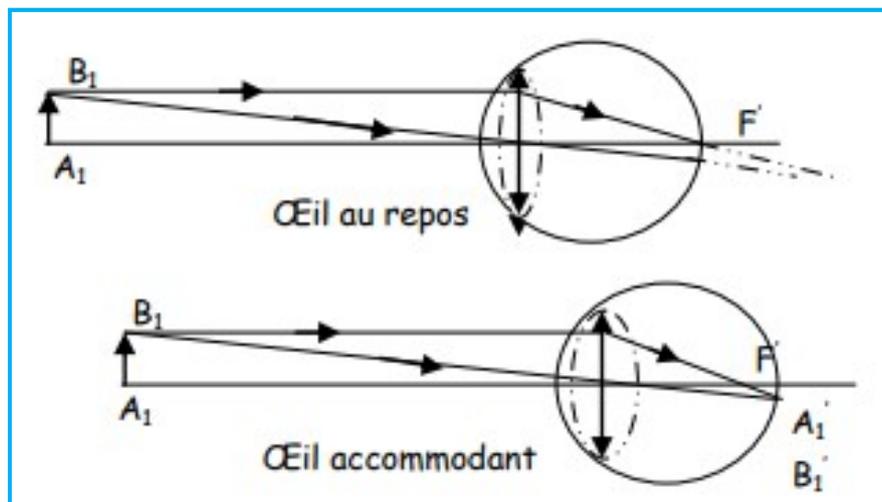


Figure VI.5: Accommodation de l'œil

### VI.4.4. Limites de l'accommodation:

- L'amplitude de l'accommodation de l'œil est limitée par la déformation maximale du cristallin.
- Le point de l'axe optique le plus proche que l'œil peut voir nettement en accommodant au maximum est appelé : le **punctum proximum (PP)**.
- La distance du punctum proximum à l'œil est la distance minimale de vision distincte  $d_m$ . Cette distance est de l'ordre de **25 cm** pour un individu adulte. (figure VI.6)

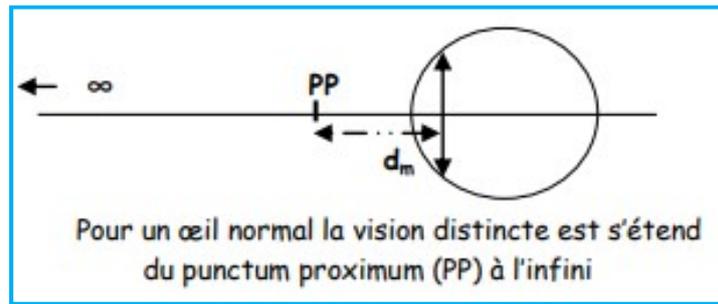


Figure VI.6: Le punctum proximum (PP).

### Synthèse

- L'œil normal au repos a une vision nette des objets éloignés.
- Pour observer des objets rapprochés, l'œil doit **accommoder** en augmentant la vergence du cristallin.
- Pour un œil normal, **la zone d'accommodation** est située entre le punctum proximum (PP) et l'infini  $\infty$

## VI.5. Les défauts de l'œil et leurs corrections

### VI.5.1. Les caractéristiques optiques de l'œil normal

Un **œil normal** est dit **œil emmétrope**. Cela signifie que l'œil est capable de focaliser la lumière correctement sur la rétine lorsqu'elle provient d'un objet situé à l'infini. En d'autres termes, un œil emmétrope a une vision claire à la fois de près et de loin sans avoir besoin de corrections optiques telles que des lunettes ou des lentilles de contact.

Un **œil emmétrope** a son *punctum remotum* (point le plus éloigné vu nettement) **situé à l'infini**. L'œil est donc adapté à la vision de loin sans accommodation.

Le *punctum proximum* (point le plus proche vu nettement) de l'œil emmétrope est **situé à environ 25 cm en avant de la cornée**.

### VI.5.2. Les défauts optiques de l'œil et leurs corrections

Il s'agit le plus souvent de **défauts de sa géométrie** ou d'un **vieillessement du cristallin** qui entraînent une vision floue.

### VI.5.2.1. La myopie

**Un œil myope** est un œil trop grand ou trop puissant ce qui entraîne une convergence des faisceaux lumineux en avant de la rétine. L'image d'un point résultant est donc une tâche floue sur la rétine. En pratique, cela se traduit par une vision nette de près et une vision floue de loin.

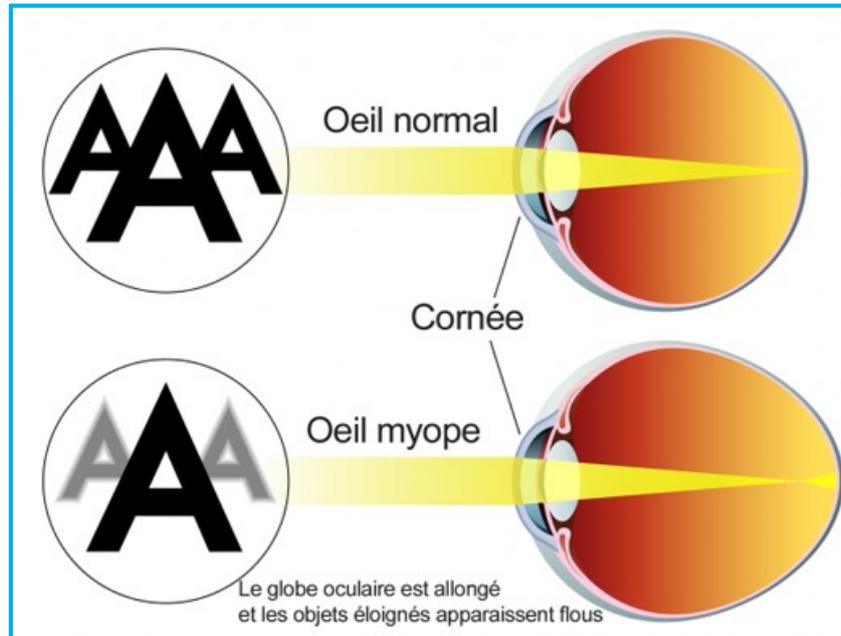


Figure VI.7: Œil myope

**À l'infini**, l'image se forme **avant la rétine** soit par excès de convergence du cristallin ou de la cornée, soit à cause d'un œil trop profond. **Un objet éloigné est donc flou.**

Quand l'objet se rapproche, son image se rapproche de la rétine. Elle se forme sur la rétine lorsque l'objet atteint le *punctum remotum* (PR) qui est le point le plus éloigné que le myope peut voir nettement (le PR de l'œil normal se situe à l'infini).

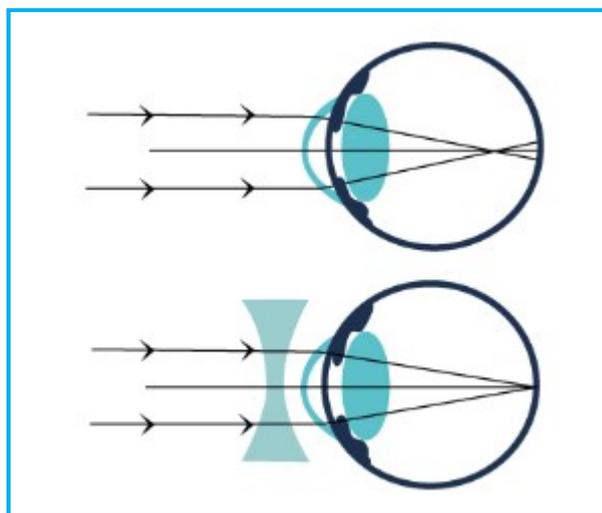


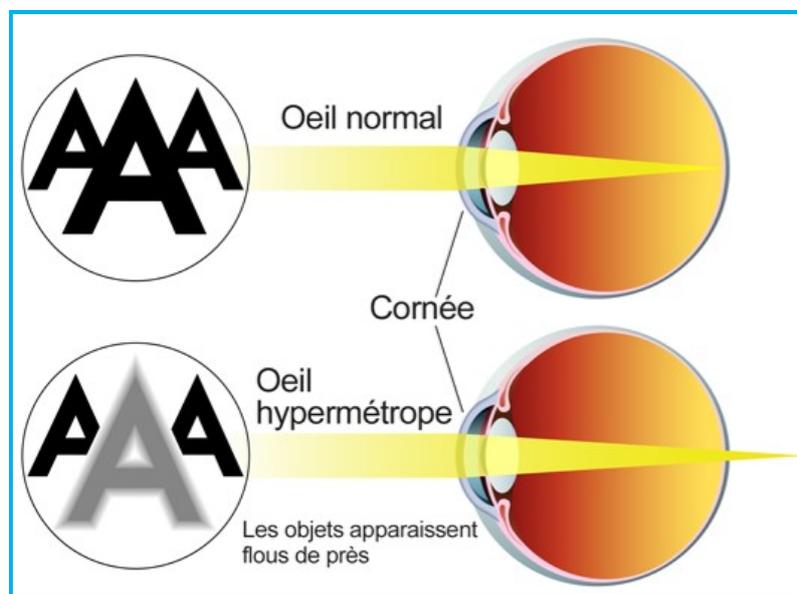
Figure VI.8: La correction de la myopie

**La correction** consiste à placer une lentille **divergente** devant l'œil (lunettes, lentilles cornéennes) ou à **diminuer la courbure** et donc la vergence de la cornée grâce à la chirurgie laser.

### VI.5.2.2.. L'hypermétropie

Un **œil hypermétrope** est un œil trop petit ou pas assez puissant ce qui entraîne une convergence des faisceaux lumineux en arrière de la rétine. L'image d'un point résultant est donc une tâche floue sur la rétine. L'accommodation permet aux jeunes hypermétropes de compenser ce défaut ce qui entraîne une vision nette au prix d'efforts.

Plus l'hypermétropie est forte et plus le patient est âgé, moins ce défaut optique peut être compensé: le patient ne voit parfaitement ni de loin ni de près.



**Figure VI.9:** Œil hypermétrope

**À l'infini**, l'image se forme **derrière la rétine** soit par manque de convergence du cristallin ou de la cornée, soit à cause d'un œil pas assez profond.

L'œil hypermétrope doit **accommoder en permanence** pour que l'image d'un objet éloigné soit nette.

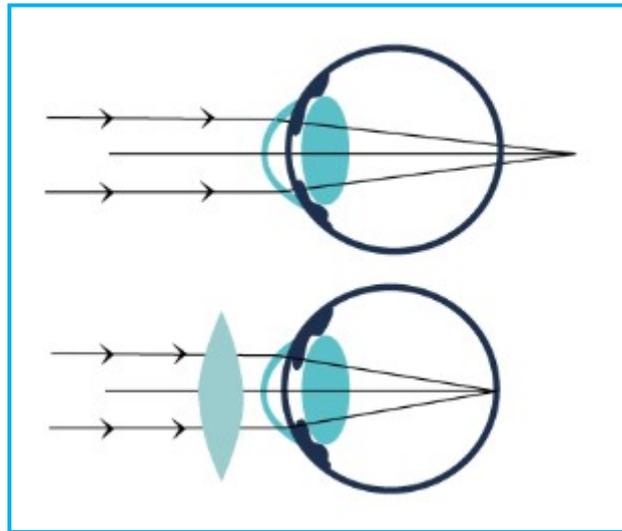


Figure VI.10: La correction de l'hypermétropie

**La correction** consiste à placer une lentille **convergente** devant l'œil (lunettes) ou à **augmenter la courbure** et donc la vergence de la cornée grâce à la chirurgie laser

### VI.5.2.3. La presbytie

Avec l'âge le pouvoir accommodatif décroît, c'est-à-dire que l'œil n'arrive pas à faire la mise au point correctement pour voir de près. Le patient doit éloigner de plus en plus le texte pour pouvoir lire. Ce phénomène qui commence généralement à la quarantaine, se stabilise vers 60 ans. Un traitement laser sur certaines zones de la cornée peut être réalisé. Il va permettre de créer de la multifocalité et ainsi de pouvoir lire à toutes les distances comme avec un verre progressif.

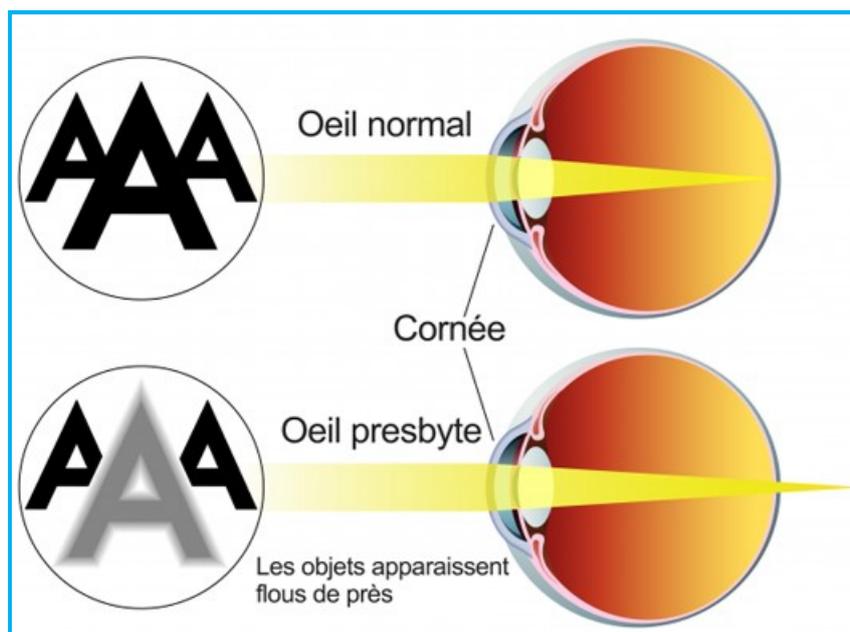
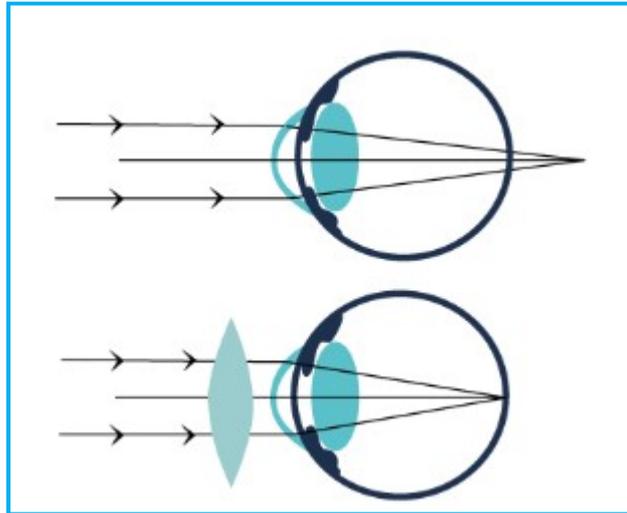


Figure VI.11: Œil presbyte

En vieillissant, le cristallin perd de sa souplesse ce qui provoque une **diminution du pouvoir d'accommodation**.

La vision des objets éloignés est inchangée mais celle des objets rapprochés devient difficile : **le *punctum proximum* s'éloigne**.



**Figure VI.12:** La correction de la presbytie

**La correction** consiste à placer une lentille **convergente** devant l'œil pour **la vision rapprochée**.

Pour que **la vision lointaine** reste correcte il existe **des verres progressifs** qui corrigent fortement la vue en vision de près et ne corrigent pas la vue en vision de loin.

#### VI.5.2.4. L'Astigmatisme

Un œil astigmatique est un œil qui n'est pas parfaitement sphérique (l'œil est plutôt ovale, en ballon de rugby) ce qui entraîne une convergence des faisceaux lumineux sur deux plans différents au lieu d'un seul. L'image d'un point résultant est donc une tâche déformée sur la rétine. En pratique, cela se traduit par une vision floue de près et de loin.

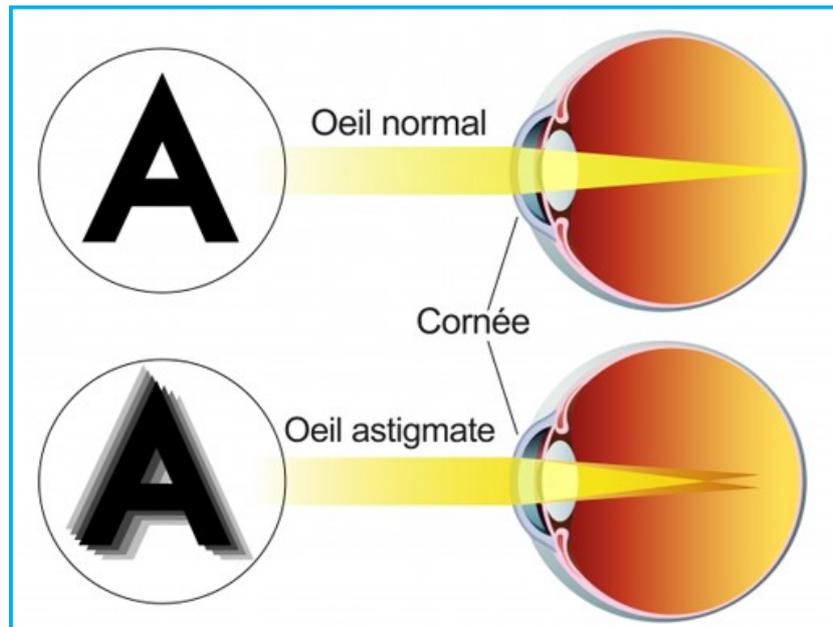


Figure VI.13: Œil astigmaté

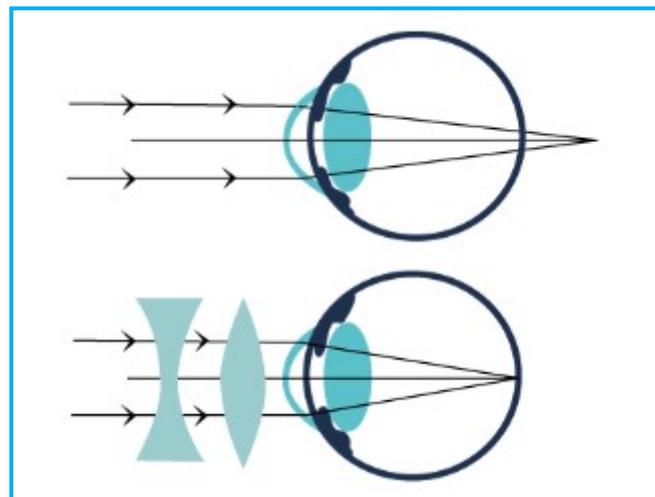


Figure VI.14: La correction de l'astigmatisme

**Pour corriger** l'astigmatisme, nous pourrions donc utiliser des verres correcteurs ou des lentilles de contact spécifique, qui viendront compenser l'une des puissances d'un axe pour le rendre égal à l'autre.

### L'essentiel

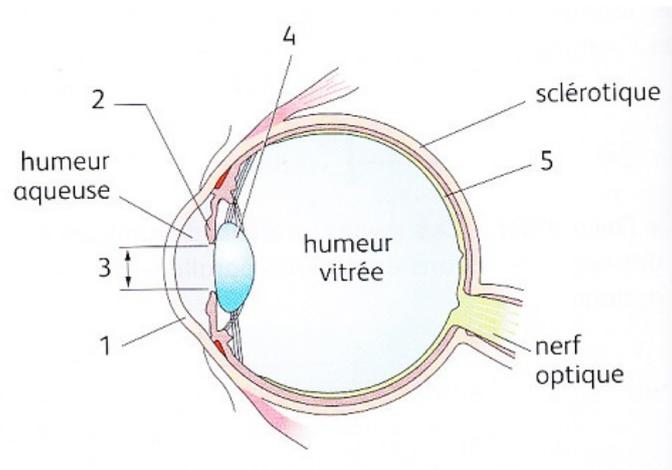
Un **œil myope** est trop convergent, un **œil hypermétrope** ne l'est pas assez et un **œil presbyte** accommode moins bien et un **œil astigmaté** présente une vision déformée ou floue à toutes les distances

Il est important de noter que la plupart de ces problèmes de vision peuvent être corrigés avec des lunettes, des lentilles de contact ou, dans certains cas, par une intervention chirurgicale

## QCM

**Cocher la ou les bonne(s) réponse(s):**

1. Les organes de l'œil représentés par les légendes 2 et 4 du schéma suivant sont respectivement :



- a) l'iris et la rétine
- b) l'iris et le cristallin
- c) le cristallin et la pupille
- d) la cornée et le cristallin

2. Quel est le rôle principal de l'œil en tant qu'instrument optique ?

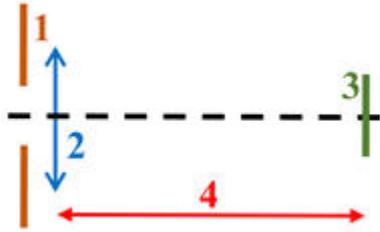
- a) Aider à entendre
- b) Aider à voir
- c) Aider à sentir
- d) Aider à goûter

3. Où se forme l'image dans l'œil ?

- a) Sur la cornée
- b) Sur la rétine
- c) Sur le cristallin
- d) Sur l'iris

- 4.** Quel est le nom de la partie de l'œil qui régule la quantité de lumière qui entre ?
- a) L'iris
  - b) La cornée
  - c) La pupille
  - d) La rétine
- 5.** Quelle partie de l'œil est responsable de la mise au point de l'image ?
- a) La cornée
  - b) La pupille
  - c) Le cristallin
  - d) L'iris
- 6.** Quelle est la fonction de la rétine dans l'œil ?
- a) Convertir la lumière en signaux électriques
  - b) Réguler la quantité de lumière qui entre
  - c) Contrôler la taille de la pupille
  - d) Focaliser la lumière sur la cornée
- 7.** Quel est le rôle de la cornée dans l'œil ?
- a) Aider à ajuster la mise au point
  - b) Contrôler la quantité de lumière qui entre
  - c) Convertir la lumière en signaux électriques
  - d) Faire converger la lumière vers la rétine
- 8** Lequel des organes suivants de l'œil n'est pas transparent ?
- a) La cornée
  - b) le cristallin
  - c) l'humeur vitrée
  - d) la rétine
- 9** - Un œil peut être modélisé par :
- a) une lentille convergente, un diaphragme et un écran
  - b) une lentille divergente, un diaphragme et un écran
  - c) une source lumineuse, une lentille convergente et un écran
  - d) une source lumineuse, une lentille divergente et un écran

10- La bonne légende du modèle de l'œil réduit ci-dessous est :



a) :

1 : écran

2 : rétine

3 : distance centre optique-écran

4 : lentille mince convergente

b) :

1 : écran

2 : diaphragme

3 : lentille mince convergente

4 : distance centre optique-écran

c) :

1 : diaphragme

2 : lentille mince convergente

3 : écran

4 : distance centre optique-écran

11. L'accommodation permet :

a) à l'œil de s'adapter à la luminosité ambiante

b) à l'iris de se déformer

c) à l'œil d'avoir une vision nette pour différentes positions d'un objet pas trop proche de l'œil

d) à l'œil de former une image sur la rétine

12. Quand l'œil accommode :

a) la distance entre le cristallin et la rétine varie

b) Le cristallin se déforme et se bombe

c) la distance focale de l'œil augmente

**d)** la distance focale de l'œil diminue

**13.** Quel terme désigne la capacité de l'œil à ajuster la mise au point ?

- a)** L'accommodation
- b)** L'adaptation
- c)** La pupille
- d)** La réfraction

**14.** Comment se produit l'accommodation de l'œil lorsque l'on regarde un objet proche ?

- a)** Le cristallin s'aplatit
- b)** Le cristallin se bombe
- c)** Le cristallin reste inchangé

**15.** Quelle est la fonction principale du cristallin dans le phénomène d'accommodation ?

- a)** Il contrôle la quantité de lumière qui entre dans l'œil
- b)** Il aide à focaliser la lumière sur la rétine en changeant de forme
- c)** Il régule la taille de la pupille

**16.** À quelle distance l'œil est-il en état de repos (sans accommodation) ?

- a)** À l'infini (objets très éloignés)
- b)** À une distance moyenne
- c)** À bout de bras (objets très proches)

**17.** Quelle condition de vision est associée à la difficulté à voir de près ?

- a)** Myopie
- b)** Hypermétropie
- c)** Presbytie
- d)** Astigmatisme

**18.** Quelle condition de vision est associée à la difficulté à voir de loin ?

- a)** Myopie
- b)** Hypermétropie
- c)** Presbytie
- d)** Astigmatisme

**19.** Qu'est-ce qui permet à l'œil de s'adapter à différentes distances de vision ?

- a) Le cristallin
- b) La cornée
- c) La pupille
- d) L'iris

**20.** Quelle condition de vision est souvent associée au vieillissement et à la difficulté de mise au point ?

- a) Myopie
- b) Hypermétropie
- c) Presbytie
- d) Astigmatisme

**21.** Quel trouble de la vision est associé à une incapacité à effectuer correctement l'accommodation ?

- a) La myopie
- b) L'hypermétropie
- c) La presbytie

**22.** Comment évolue la capacité d'accommodation de l'œil avec l'âge ?

- a) Elle diminue progressivement
- b) Elle augmente progressivement
- c) Elle reste constante

**23.** Quel phénomène accompagne l'accommodation pour assurer une vision claire à différentes distances ?

- a) La convergence des yeux
- b) La miosis (réduction de la taille de la pupille)
- c) La réfraction de la lumière

**24.** Pourquoi les enfants sont-ils souvent capables de voir clairement à différentes distances sans besoin de lunettes ?

- a) Parce que leurs yeux ont une forme particulière
- b) Parce que leurs muscles ciliaires sont plus forts
- c) Parce que la souplesse du cristallin permet une meilleure accommodation

**Réponses;** 1.b) – 2.b) - 3. b) - 4. a) - 5. c) - 6. a)- 7. a) – 8.d) – 9.a)- 10.c) – 11.c), d) – 12.d) - 13. a) -14. b) – 15. b) – 16. a) – 17. a) -18. b) - 19. a) -20.d)- 21. c) - 22. a) - 23. b) - 24. a),

## Exercices corrigés

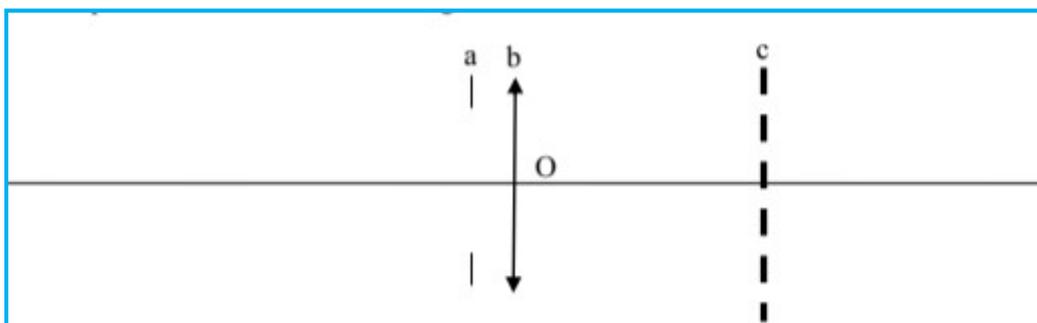
### Exercice 1

L'œil réel est modélisé par trois éléments.

- 1.1. Citer les trois éléments qui constituent l'œil réduit.
- 1.2. Quels sont les constituants de l'œil qui correspondent à ces trois éléments ?
- 1.3. Quel est le rôle de chaque élément ?
- 1.4. Schématiser un œil réduit avec ces trois éléments sans oublier de le légénder.

### Solution

- 1.1 L'œil réduit est constitué d'un diaphragme, d'une lentille convergente et d'un écran.
- 1.2 Les constituants de l'œil sont respectivement l'iris, le cristallin et la rétine.
- 1.3 L'iris permet de réguler la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil, le cristallin est une lentille convergente qui permet de former une image de l'objet visualisé, la rétine se comporte comme un écran sur lequel se forme l'image.
- 1.4 En physique on peut utiliser un modèle simplifié de l'œil que l'on appelle l'œil réduit qui est constitué comme on l'a vu précédemment :
  - d'un diaphragme (a),
  - d'une lentille convergente (b) de distance focale variable,
  - d'un écran (c) sur lequel doit se former une image nette.



### Exercice 2: Correction hypermétropie

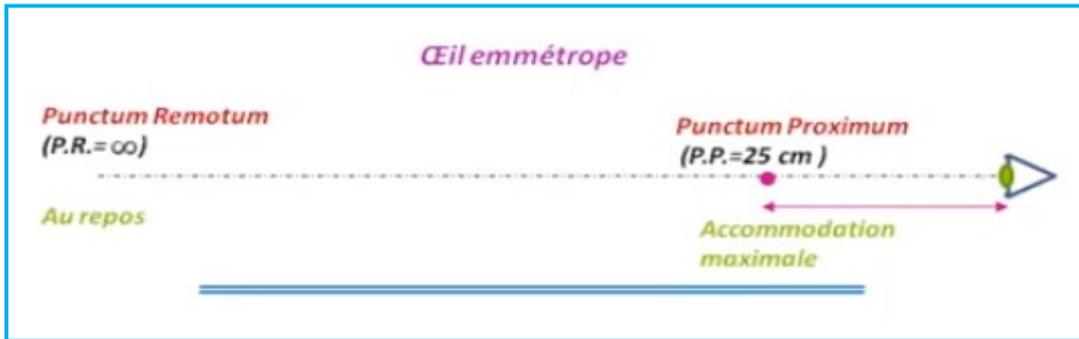
Un œil hypermétrope est caractérisé par son *punctum proximum* (PP) égal à 45 cm.

Déterminer le type et la distance focale des lentilles que doit porter cette personne pour qu'elle voie nettement à 25 cm et ce dans chacun des deux cas suivants :

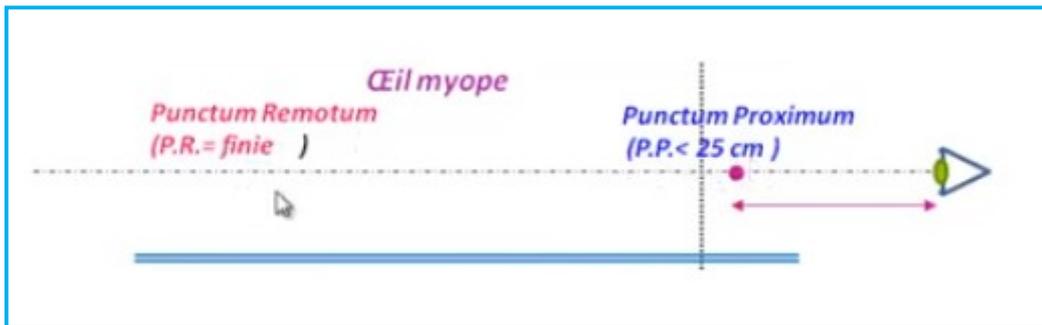
1. On néglige la distance qui sépare ces lentilles des cristallins.
2. On suppose que la distance qui sépare ces lentilles au cristallin vaut 1 cm

**Solution:**

1. Pour un œil normale ( œil emmétrope) le *punctum proximum* (PP) vaut 25 cm

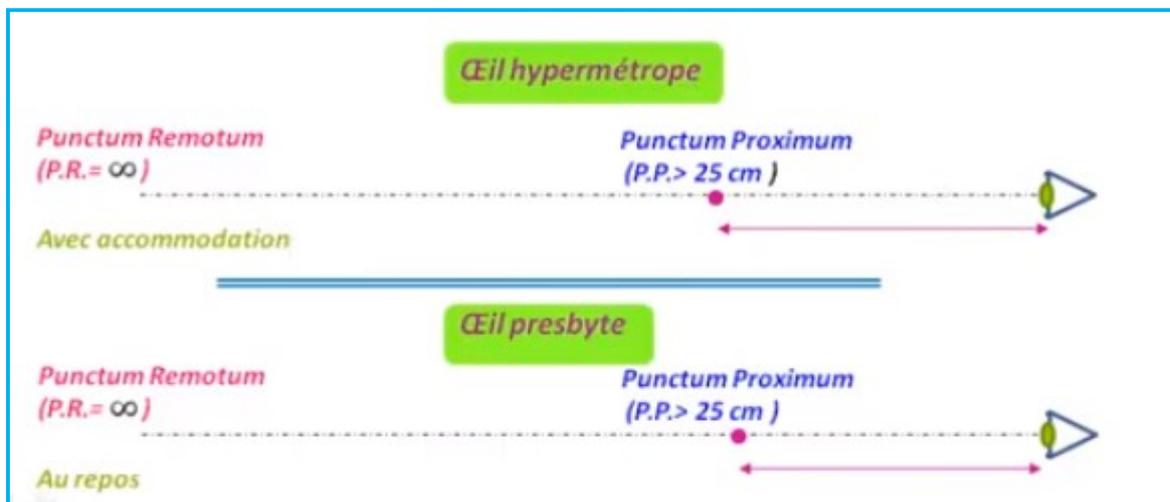


2. Pour un œil myope le *punctum proximum* (PP) < 25 cm

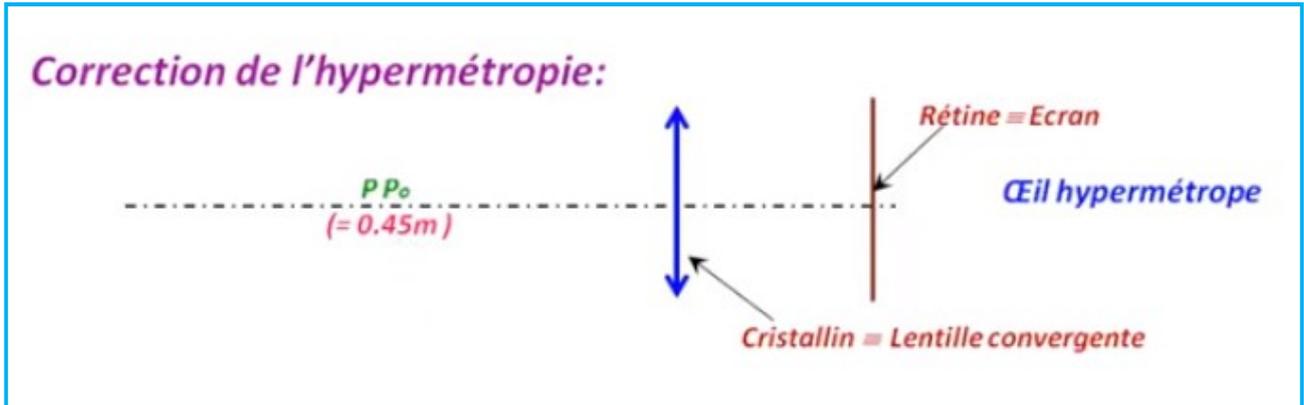


3. Dans notre cas le *punctum proximum* (PP) vaut 45 cm

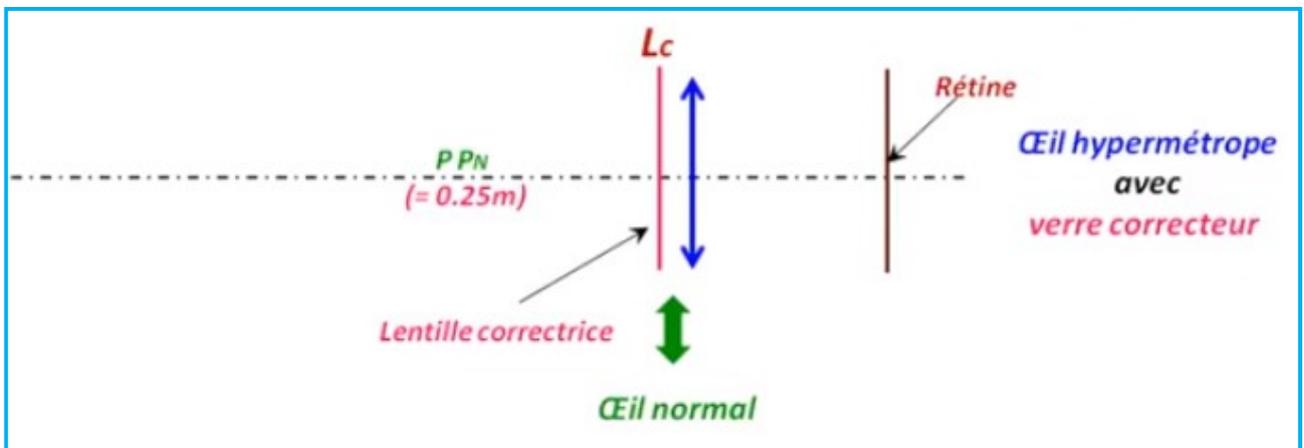
$$(PP) > 25 \text{ cm} \Rightarrow \begin{cases} \text{Hypermetropie} \\ \text{Presbytie} \end{cases}$$



L'énoncé a précisé que c'est une hypermétropie



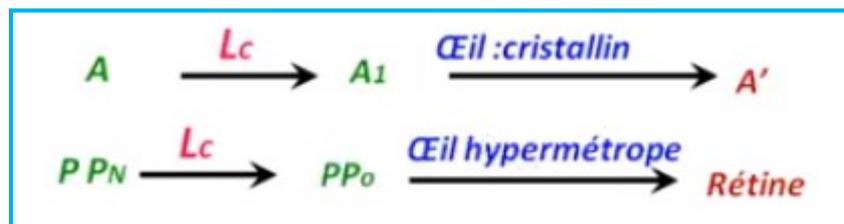
On va ajouter une lentille correctrice devant le cristallin pour ramener le (PP) à 25 cm



Les objets placés devant la lentille correctrice, leurs images vont être obtenues de la façon suivante:

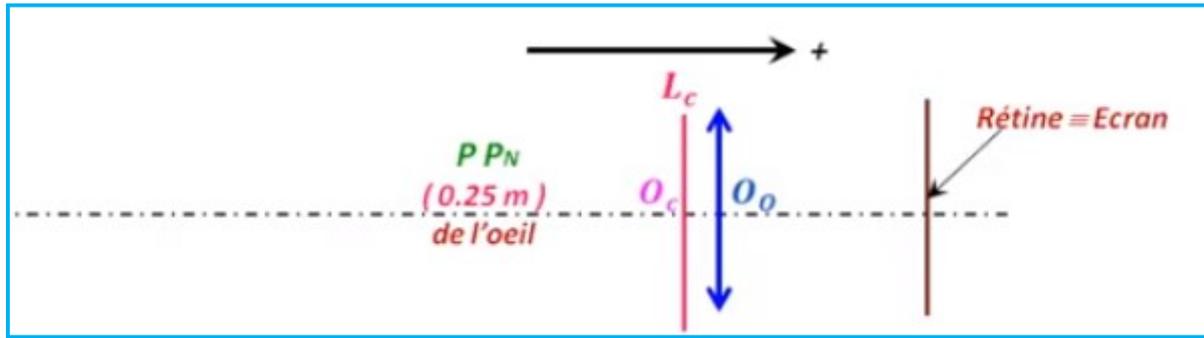
On doit déterminer le type de la lentille correctrice  $L_c$

La lentille  $L_c$  et la lentille convergente, les images obtenues par cette association sont acquises de la façon suivante:



$PP_N$  *punctum proximum* pour œil normal

$PP_O$  *punctum proximum* pour œil hypermétrope



Oc: centre optique de la lentille correctrice Lc

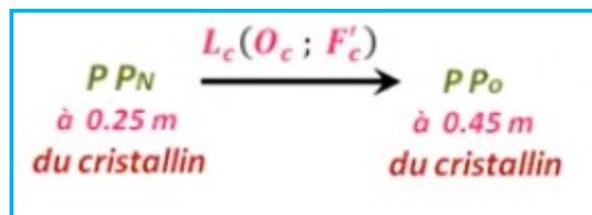
Oo est le centre optique de la lentille convergente

On va appliquer la relation de conjugaison qui relie la position de l'objet avec celle de l'image obtenu par Lc.

La position de l'objet est au point PPN et celle de son image est au point PPO.



On aura par l'application de la formule de conjugaison:



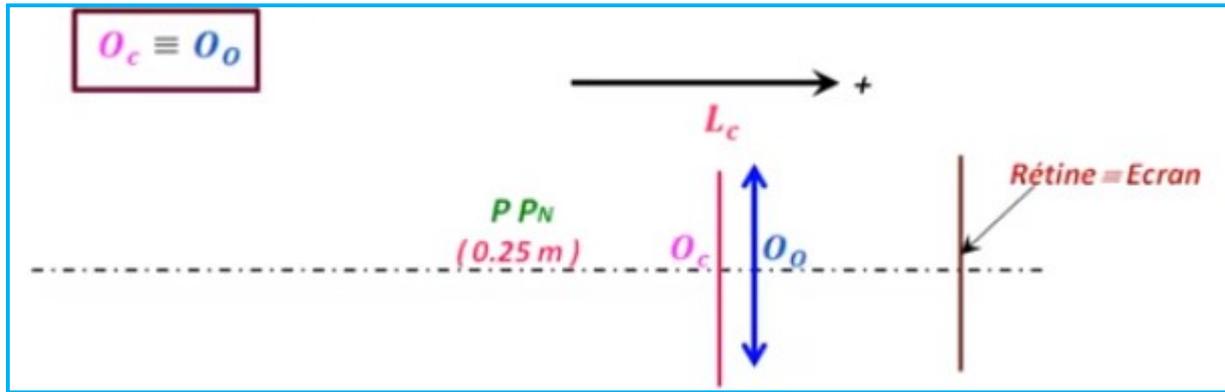
$$\frac{1}{O_c F'_c} = \frac{1}{O_c P P_o} - \frac{1}{O_c P P_N}$$

PP<sub>N</sub> point désignant la position de l'objet

PP<sub>O</sub> point désignant la position de l'image donnée par Lc

Pour déterminer les caractéristiques de la lentille correctrice, on doit déterminer  $\overline{O_c F'_c}$

**1er cas:** On néglige la distance qui sépare la lentille correctrice  $L_c$  du cristallin



$$\overline{O_c P P_o} = \overline{O_o P P_o} = -45 \text{ cm}$$

$$\overline{O_c P P_N} = \overline{O_o P P_N} = -25 \text{ cm}$$

A partir de la relation:

$$\frac{1}{\overline{O_c F'_c}} = \frac{1}{\overline{O_c P P_o}} - \frac{1}{\overline{O_c P P_N}}$$

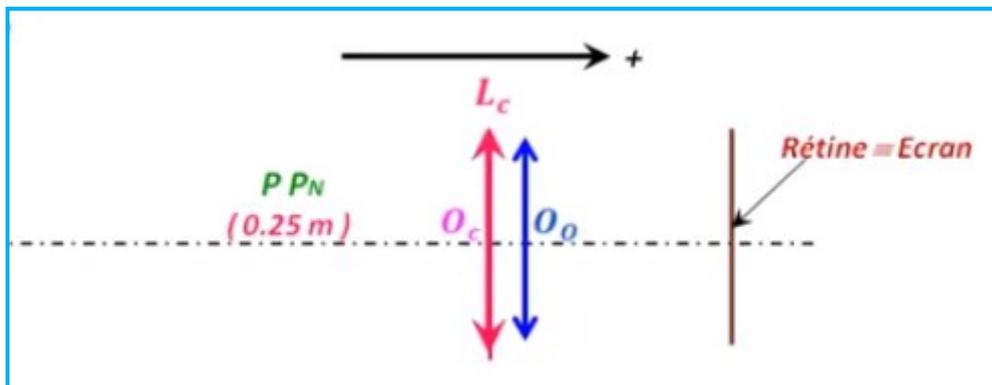
On en déduit:

$$\overline{O_c F'_c} = \frac{\overline{O_c P P_N} \times \overline{O_c P P_o}}{\overline{O_c P P_N} - \overline{O_c P P_o}}$$

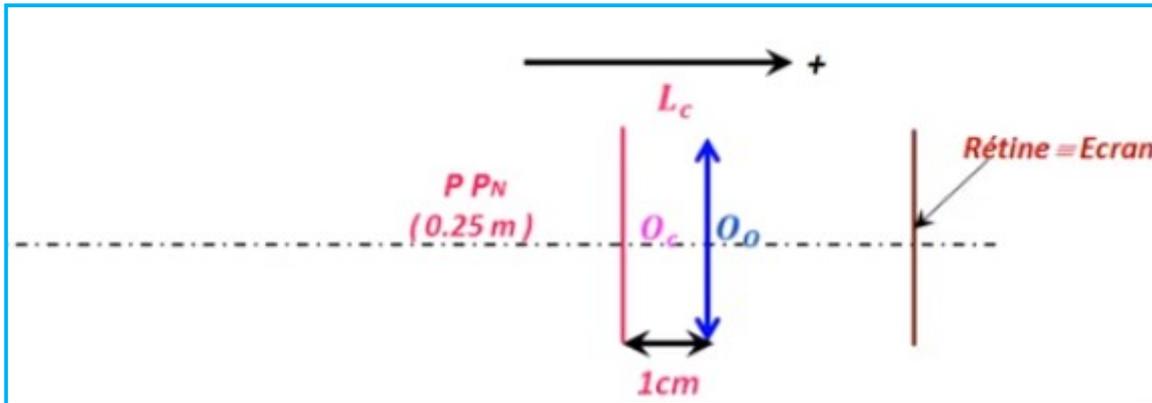
$$\overline{O_c F'_c} = \frac{(-25) \times (-45)}{(-25) - (-45)} = 56.25 \text{ cm}$$

$$\overline{O_c F'_c} > 0 \Rightarrow L_c \text{ est convergente}$$

Schéma:



2<sup>ème</sup> cas: On suppose que la distance qui sépare ces lentilles au cristallin vaut 1 cm



$$\overline{O_c P P_o} = \overline{O_c O_o} + \overline{O_o P P_o} = 1 - 45 = -44 \text{ cm}$$

$$\overline{O_c P P_N} = \overline{O_c O_o} + \overline{O_o P P_N} = 1 - 25 = -24 \text{ cm}$$

A partir de la relation:

$$\frac{1}{\overline{O_c F'_c}} = \frac{1}{\overline{O_c P P_o}} - \frac{1}{\overline{O_c P P_N}}$$

On en déduit:

$$\overline{O_c F'_c} = \frac{\overline{O_c P P_N} \times \overline{O_c P P_o}}{\overline{O_c P P_N} - \overline{O_c P P_o}}$$

$$\overline{O_c F'_c} = \frac{(-24) \times (-44)}{(-24) - (-44)} = 52.8 \text{ cm}$$

$$\overline{O_c F'_c} > 0 \Rightarrow L_c \text{ est convergente}$$

**Références:**

1. Cours de physique, optique géométrique Jimmy Roussel femto-physique edition 2021
2. Tout en fiches, exercices et méthodes d'optique géométrique, Licence, Santé, Prépas, Capes Michaël Fromager Dunod 2023
3. Optique géométrique Dr. Ayadi Aicha, Université des frères Mentouri Constantine 2018/2019
4. Optique géométrique Polycopié de Cours Dr. Sid Ahmed Beldjilali USTO-MB Année universitaire : 2015/2016
5. Cours d'Optique Géométrique Laurent Labonté:  
[http://users.polytech.unice.fr/~labonte/documents/Optique/cours\\_optique.pdf](http://users.polytech.unice.fr/~labonte/documents/Optique/cours_optique.pdf)

**Site web de référence:**

1. <http://www.youtube.com/watch?v=dckvoph10p4>
2. <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/mnoptigeo.html>
3. <http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo/co/optigeo.html>