

1^{ère} année de Licence – Semestre 1

Parcours Physique Chimie – Sciences Pour l'Ingénieur – Sciences Physiques Anglais
– Mathématiques Physique Chimie

FASCICULE D'OPTIQUE GEOMETRIQUE : COURS, TP ET TD



Année universitaire 2022/2023

Table des matières

Introduction.....	1
Suggestions bibliographiques	1
PARTIE COURS.....	3
Plan du cours	4
Structure logique du cours d'optique géométrique.....	4
Chapitre 1 : Optique géométrique : hypothèses et lois de Descartes.....	5
Chapitre 2 : Traversée de dioptries successifs	9
Chapitre 3 : Dioptries sphériques et relation de conjugaison.....	11
Chapitre 4 : Les lentilles minces.....	19
Chapitre 5 : Introduction aux instruments d'optique	25
PARTIE TP	29
Travaux pratiques : Observations de divers phénomènes optiques	31
PARTIE TD.....	39
Chapitre 1 : Optique géométrique : hypothèses et lois de Descartes.....	41
Chapitre 2 : Traversée de dioptries successifs	45
Chapitre 3 : Dioptries sphériques et relation de conjugaison.....	51
Chapitre 4 : Les lentilles minces.....	53
Chapitre 5 : Introduction aux instruments d'optique	57
PARTIE ANNEXES.....	59
Annexe A – Mathématiques nécessaires pour l'optique géométrique.....	61
Annexe B – Annales 2021 – 2022	63

Introduction

Ce fascicule est le support qui vous accompagnera lors cet enseignement. Il sera indispensable à chaque séance, en particulier lors de la séance de TP car il vous guidera dans vos démarches expérimentales et les questions auxquelles il faudra répondre. Il comporte également les exercices qui seront traités lors de cet enseignement. En annexe se trouvent quelques éléments de mathématiques indispensables pour ce cours d'optique géométrique. Vous y trouverez également le sujet du partiel et de l'examen final de l'an passé. Le QCM et le 1^{er} CC représentent un coefficient de 0,4 dans la note finale à l'UE et le 2^{ème} CC de 0,6.

Ce cours est essentiellement basé sur la mise en place rigoureuse de l'optique géométrique dans des cas simples (dioptries plans, sphériques, lentilles...). Les mathématiques mobilisées doivent être maîtrisées et nécessitent un travail supplémentaire le cas échéant. Par ailleurs, il est aussi une illustration d'une partie de la nature de la physique : l'optique géométrique est une discipline qui repose sur des lois assez simples et des modèles grâce auxquels, avec l'appui des mathématiques, de très nombreux phénomènes observables (arc-en-ciel, mirage) sont expliqués et prédits. Ces lois et modèles ont leurs domaines de validité et il s'agit aussi d'en avoir conscience.

En plus des cours proposés par votre enseignant, de nombreux ouvrages existent à la bibliothèque universitaire (voir les suggestions suivantes) mais aussi sur des sites divers et variés et pour lesquels il n'y a pas forcément eu de vérification de la validité du contenu. Exercez votre esprit critique quant à ces sources, un contenu édité dans un livre a été rigoureusement vérifié et les erreurs sont très rares, alors que sur un site, cela dépend.

Dans tous les cas, il ne faut pas se contenter de suivre les TD passivement. Préparez les séances autant que possible, refaites les démonstrations et les exercices difficiles, travaillez seul.e ou en groupe : seul votre investissement personnel réel et adapté vous permettra d'être prêt pour les évaluations et surtout d'appréhender les enjeux de ce cours...

Suggestions bibliographiques

Cours

Faroux et Renault – Optique, cours et 94 exercices corrigés – éd. Dunod, 1998 – cote 535 FAR

Parisot, Segonds et Le Boiteux – Cours de physique, optique – éd. Dunod, 2003– cote 535.2 PAR

Maurel – Cours d'optique géométrique – éd. Belin Sup, 2002 – cote 535.32 MAU

Douillet et al. – Physique Licence – Cours, exercices et méthodes. Collection : Fluoresciences, Dunod

Histoire de l'optique

Maitte – La lumière – éd du Seuil, 1981 – cote 535.09 MAI

Exercices corrigés

Faroux et Renault – Optique, 83 exercices et problèmes corrigés – éd. Dunod, 2001 – cote 535 FAR

Parisot, Le Boiteux, Segonds et Dobrijevic – Optique, TD– éd. Dunod, 2002 – cote 535 OPT

Maurel et Malbec – Optique géométrique, exercices – éd. Belin Sup, 2002 – cote 535.32 MAU

Université en ligne (cours, animations, tests, exercices)

<https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/index.php>

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/mnelectricite.html>
<https://phet.colorado.edu/fr/simulations/category/physics>
<https://femto-physique.fr/simulations/index.php>
<http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo/co/optigeo.html>

PARTIE COURS

Plan du cours

Chapitre 1 : Optique géométrique : hypothèses et lois de Descartes

Rayon lumineux – Milieu (in)homogène – Indice de réfraction – Lois de Descartes – Réfraction limite – Réflexion totale – Approximation de Gauss

Chapitre 2 : Traversée de dioptres successifs

Lame à faces – Prisme – Fibre optique

Chapitre 3 : Dioptrès sphériques et relation de conjugaison

Dioptré sphérique – Convexe/concave – Convergent /divergent – Relation de conjugaison – Longueurs focales – Grandissement – Dioptrès plans

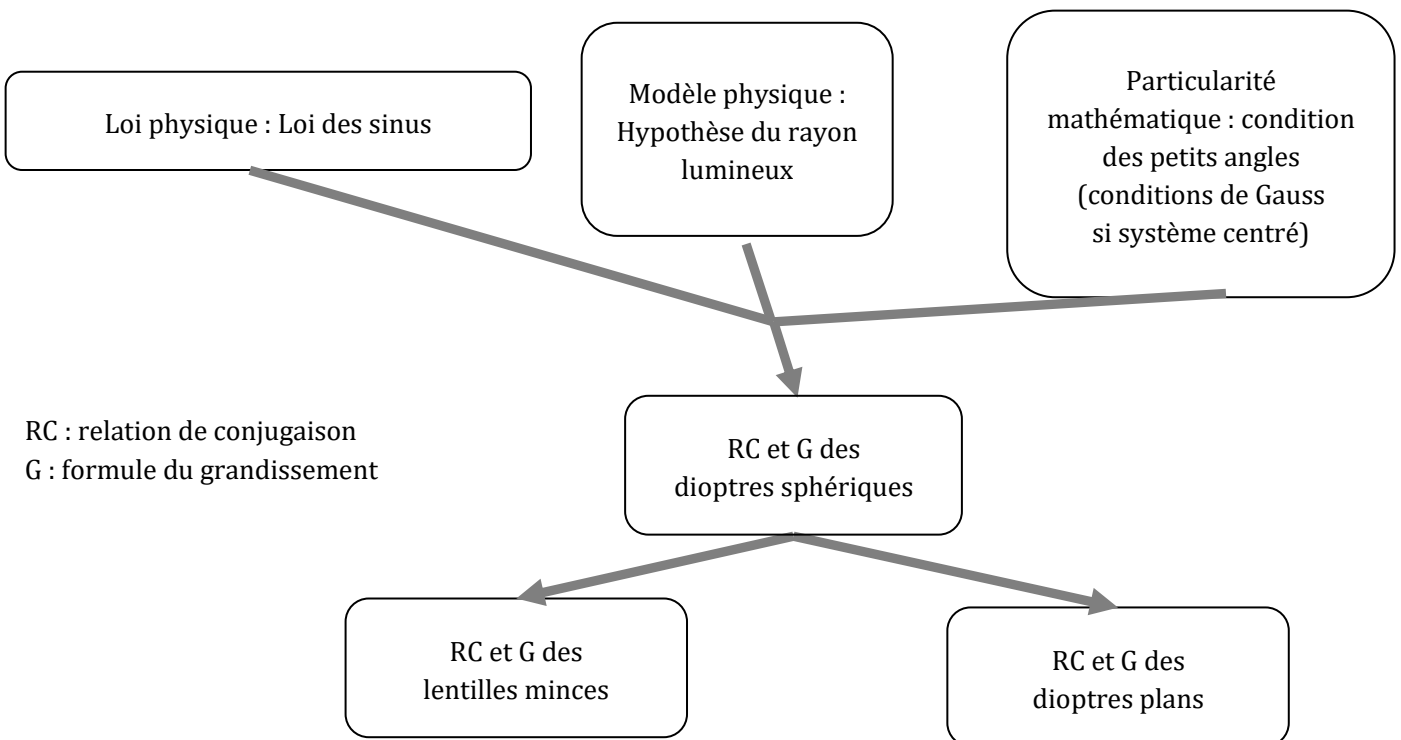
Chapitre 4 : Les lentilles minces

Lentille mince – Convergent /divergent – Relation de conjugaison – Longueurs focales – Grandissement – Domaines virtuel et réel – Foyers secondaires

Chapitre 5 : Introduction aux instruments d'optique

Projecteur – Loupe – Microscope – Lunette afocale – Œil – Grossissement

Structure logique du cours d'optique géométrique



Chapitre 1 : Optique géométrique : hypothèses et lois de Descartes

Notion abstraite de "rayon lumineux"

- **Définition** : courbe ou droite mathématique, le long de laquelle de la lumière se propage ; par convention, on ajoute une flèche dans le sens de propagation.
- **Intérêt** : permet des raisonnements et des calculs précis
- **Vocabulaire** :
 - rayon incident, rayon émergent : pour un certain objet d'étude
 - faisceau : ensemble de rayons, pour la prise en compte d'une largeur finie
 - divers types de faisceaux : parallèle, convergent, divergent, désordonné, pinceau

Propagation dans un milieu homogène ou un milieu inhomogène

- **Résumé** : la direction suivie est toujours rectiligne dans un milieu homogène mais peut être curviligne dans certains milieux inhomogènes.

Indice de réfraction n

- **Définition** : L'indice de réfraction (noté n) est une grandeur sans dimension, donné par la relation:

$$n = c_0 / v$$

avec c_0 : la célérité (ou vitesse) de la lumière dans le vide : $c_0 = 299\,792\,458$ m/s

et v : la vitesse de la lumière dans le milieu considéré.

- **Intérêt** : paramètre qui caractérise un milieu.
- **Remarques** :

Ce paramètre varie de façon :

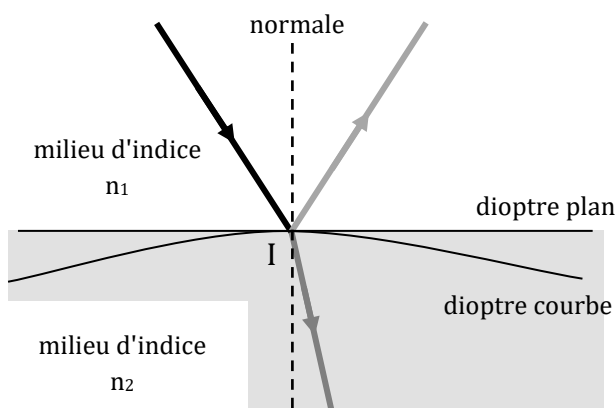
- importante selon la substance
- fine selon la fréquence f ou la longueur d'onde λ (mesurée dans le vide $\lambda = c_0/f$; arc-en-ciel)
- fine avec la température (mirage)

Propagation à la séparation de deux milieux homogènes

- **Définition** : Dioptré = surface de séparation (plane ou courbe) entre deux milieux d'indices différents. Sur un dioptré, il y a réfraction et réflexion (dans des proportions d'intensité variables). Lorsqu'il y a réfraction, on parle de milieu réfringent.

- **Vocabulaire** :

Pour $n_1 < n_2$



- Droite normale (-----) au point d'incidence I
- **Rayon incident** (noir), plan d'incidence (plan contenant le rayon incident et la normale), angle d'incidence i_1
- **Rayon réfléchi** (gris foncé), angle de réflexion r
- **Rayon réfracté** (gris clair), angle de réfraction i_2

• **Lois de la réflexion :**

- le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence
- Soit i_1 , l'angle d'incidence et r l'angle de réflexion, on a : $i_1 = r$ ("loi de Descartes pour la réflexion")

Ces lois sont valables en chaque point I, pour des dioptries plans ou courbes.

• **Lois de la réfraction :**

- le rayon réfracté est dans le plan d'incidence
- Soit i_1 l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction, on a : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$
("loi des sinus" ou "loi de Snell-Descartes")

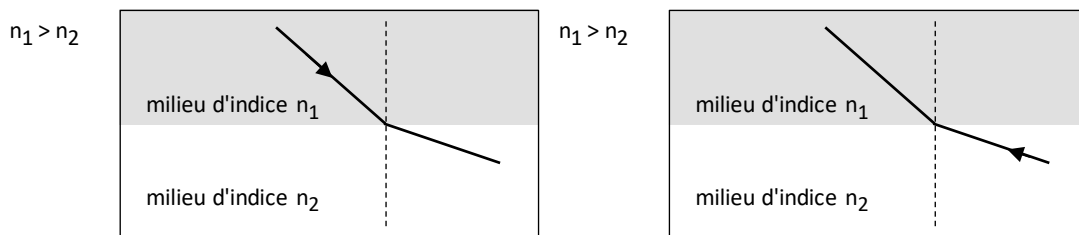
Ces lois sont valables en chaque point I, pour des dioptries plans ou courbes.

Exercice d'application **Détermination de l'indice de réfraction d'un demi-cylindre**

La lumière entre dans un demi-cylindre en plexiglas par la face plane selon $i_1 = 60^\circ$. On mesure $i_2 = 35^\circ$.
En déduire la valeur de l'indice de réfraction du demi-cylindre.

Principe du retour inverse

• **Résumé :** Lorsque la lumière se propage selon un certain sens à travers une succession de milieux, alors elle peut se propager dans le sens inverse, le long du même chemin.



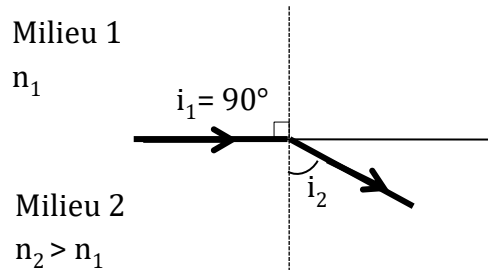
Exercice d'application

Préciser pour chacun des deux schémas les angles d'incidence et de réfraction.

Réfraction limite et réflexion totale

a- Existence d'une réfraction limite

• **Résumé** : Selon la loi des sinus, l'angle de réfraction doit être plus petit que l'angle d'incidence. Ainsi, lorsque la propagation se fait vers un milieu plus réfringent, l'angle de réfraction ne peut pas dépasser une certaine valeur limite atteinte lorsque l'angle d'incidence est maximal (90°). On dit qu'il existe un **angle de réfraction limite**.



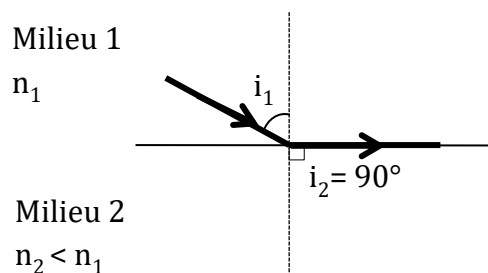
Exercice d'application

Détermination de la formule de l'angle de réfraction limite

Pour trouver la formule donnant l'**angle de réfraction limite** en fonction des indices, il faut chercher l'angle de réfraction dans le cas où l'angle d'incidence est maximal ($i_1 = 90^\circ$) :

b-Existence d'une réflexion totale

• **Résumé** : Selon la loi des sinus, l'angle de réfraction doit être plus grand que l'angle d'incidence. Néanmoins cet angle de réfraction ne peut pas dépasser 90° . Quand l'angle d'incidence dépasse une certaine valeur, la loi des sinus ne donne plus de solution pour l'angle de réfraction. Ainsi, lorsque la propagation se fait vers un milieu moins réfringent, au-delà d'une certaine valeur de l'angle d'incidence, il n'y a plus de rayon réfracté : toute la lumière est réfléchi. On dit qu'il y a **réflexion totale**.



Exercice d'application ***Détermination de la formule de l'angle de réflexion totale***

Pour trouver la formule donnant l'**angle d'incidence limite** en fonction des indices, il faut chercher l'angle d'incidence dans le cas où l'angle de réfraction est maximal ($i_2=90^\circ$) :

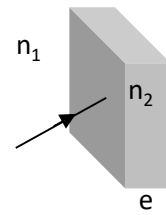
Chapitre 2 : Traversée de dioptries successifs

Lame à faces parallèles

• **Définition** : tout milieu limité par deux faces planes parallèles.

Une lame est caractérisée par :

- son **indice de réfraction**, noté n_2
- la distance entre ses deux faces, appelée **épaisseur** de la lame, notée e .



En général, à l'extérieur et des deux côtés de la lame, il y a le **même milieu environnant**, dont l'indice est noté n_1 . Dans les cas typiques : $n_2 > n_1$

Prisme dans l'air

• **Définition** :

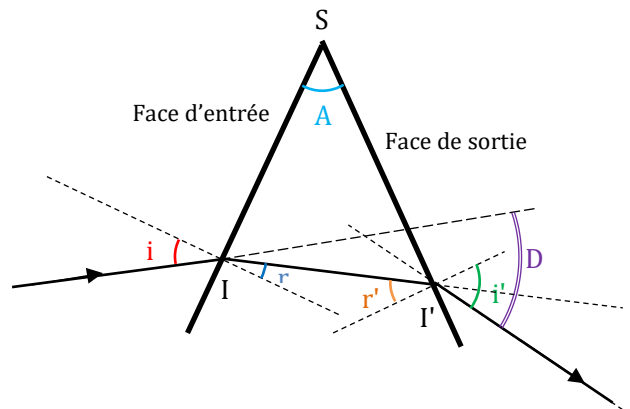
bloc taillé, composé classiquement de trois faces sur une base triangulaire, utilisé pour réfracter la lumière, la réfléchir ou la disperser.

• **Vocabulaire** :

Un prisme est caractérisé par :

- l'**angle A** entre la face d'entrée et la face de sortie
- son **indice de réfraction**.

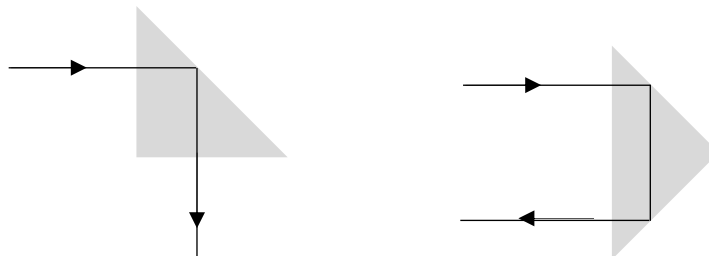
L'**angle de déviation D** est l'angle entre la direction du rayon incident et celle du rayon émergent.



• **Intérêt de la forme "prisme"** : la déviation à la face de sortie d'un prisme vient augmenter la déviation réalisée à la face d'entrée.

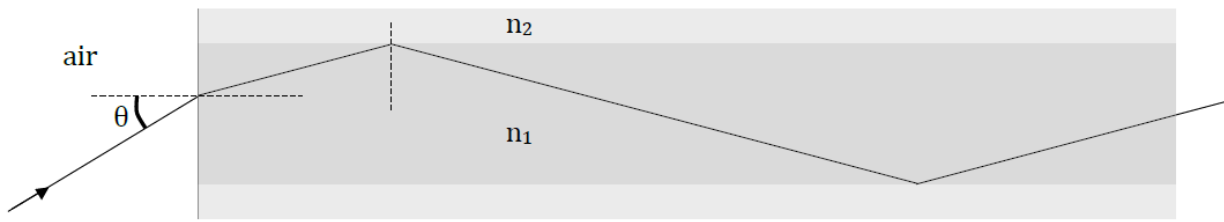
Prismes dans l'air, avec réflexion totale sur une ou deux faces

• **Résumé** : Les prismes à réflexion totale ont souvent des angles entre leurs faces valant 45° ou 90° . Ils sont utilisés avec des petites valeurs d'angle d'incidence sur la face d'entrée. La lumière ressort après réflexion totale sur une ou deux autres des faces. Ils présentent, entre autres, l'avantage sur les miroirs de pouvoir être fabriqués à moindre coût.



Fibre optique à saut d'indice

• **Résumé** : On peut comprendre le guidage de la lumière à l'intérieur d'une fibre à partir de sa structure interne. Le schéma ci-après montre, en coupe, une fibre constituée d'un cylindre central plein, le cœur, d'indice n_1 , entouré par un deuxième cylindre, la gaine, qui est en contact avec lui, d'indice de valeur n_2 . On parle de fibres "à saut d'indice", où la valeur change brusquement à un certain rayon.



Il y a guidage de la lumière à l'intérieur du cœur si, comme le montre le schéma, elle est totalement réfléchi à chaque fois qu'elle rencontre le dioptré cœur/gaine.

Question : si en plus de la réflexion il y avait réfraction, quelle serait la conséquence pour la lumière espérée à la sortie de la fibre ?

- **Remarque** : Certains milieux inhomogènes optiquement peuvent voir leur indice de réfringence changer progressivement au sein du milieu. Par exemple, il existe des fibres optiques "à gradient d'indice" constituées d'un matériau dont l'indice diminue progressivement depuis le centre jusqu'à la périphérie. Dans ces fibres, la lumière suit un chemin curviligne jusqu'à la sortie (et non une ligne brisée).

- **Remarque** : Il existe de multiples paramètres dont la variation s'accompagne d'une variation de l'indice de réfringence, par exemple:

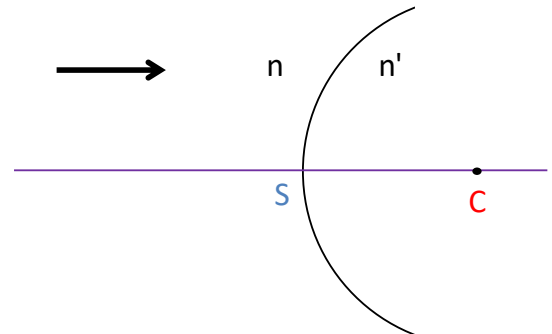
- la concentration chimique
- la température
- la densité.

Chapitre 3 : Dioptries sphériques et relation de conjugaison

Généralités

• **Définition :** Un dioptre sphérique est une surface sphérique séparant deux milieux d'indices différents. Il est défini par :

- les indices n et n'
- son **centre C** (centre de la sphère)
- la valeur de son rayon de courbure R (= rayon de la sphère)
- son sens de courbure.



• **Vocabulaire :**

L'**axe optique** du dioptre est une droite passant par son centre.

On appelle **sommet S** le point qui est l'intersection du dioptre et de l'axe.

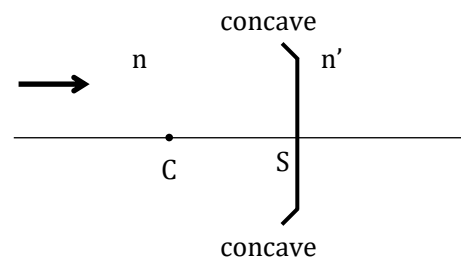
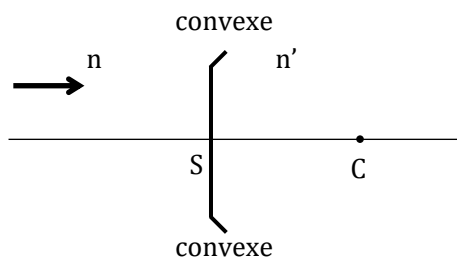
Exercice d'application Concave vs. convexe

Compte-tenu du sens de la lumière, on distingue les dioptries concaves et les dioptries convexes.

1) Le dioptre ci-dessus est-il convexe ou concave ? Exprimer le rayon algébrique \overline{SC} en fonction de R .

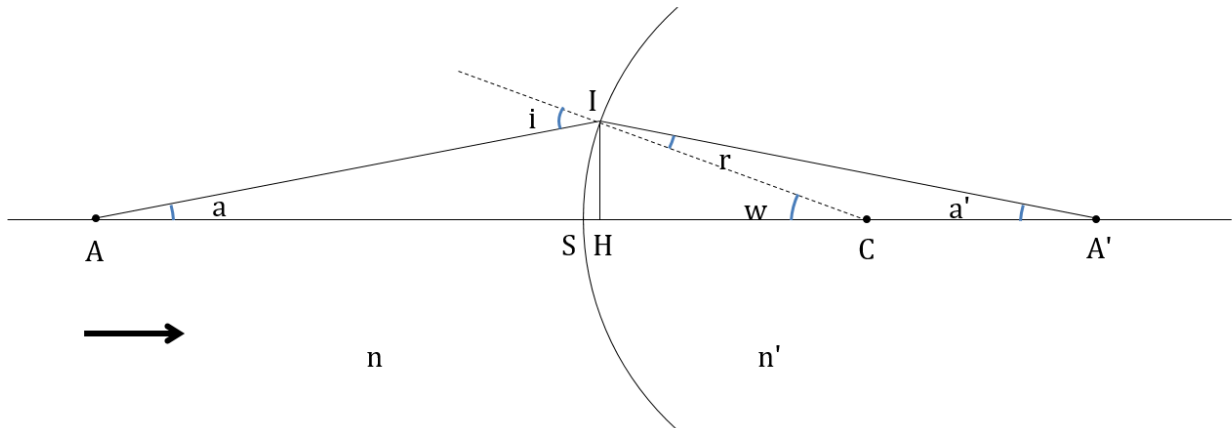
2) Faire le schéma pour l'autre type de dioptre. Quelle est alors la relation entre \overline{SC} et R ?

• **Symboles des dioptries sphériques :**



Relation de conjugaison pour deux points conjugués par un dioptre sphérique

• **Intérêt** : Comme indiqué sur le schéma ci-dessous, les rayons issus d'un même point (le "point objet" A), après traversée d'un dioptre sphérique, se coupent à nouveau en un même point (le "point image" A'). On dit que **A et A' sont conjugués**. (De manière plus exacte, les rayons passent plus ou moins près de A' ; c'est pris en compte dans la démonstration) Une relation de conjugaison est une relation entre les positions de deux points conjugués.



• **Enoncé** : Soient A et A' deux points conjugués sur l'axe optique d'un dioptre sphérique, la relation de conjugaison peut s'écrire :

$$\boxed{\frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = V} \quad \text{avec :}$$

- \overline{SA} : la distance algébrique entre le sommet S et un point A sur l'axe par où passent des rayons incidents (ou leurs prolongements),
- $\overline{SA'}$: la distance algébrique entre le sommet S et un point A' sur l'axe où passent les rayons émergents issus de A (ou leurs prolongements),
- V : la vergence (unité : dioptrie), un paramètre caractéristique du dioptre considéré,
- \overline{SC} : le rayon du dioptre sphérique.

• Remarques:

- On peut parfois trouver les notations p et p' pour désigner respectivement les distances algébriques \overline{SA} et $\overline{SA'}$. Nous n'utiliserons pas ces notations.
- Le signe, positif ou négatif, des grandeurs algébriques est fixé par le sens de la lumière.

Pour obtenir la relation de conjugaison, on utilise les deux hypothèses suivantes :

- La **loi des sinus**, valable en un point I quelconque d'un dioptre (plan ou courbe) :

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

- Les **conditions de Gauss** (condition des petits angles) : les rayons utilisés arrivent sur le dioptre d'étude avec des angles d'incidence qui ne sont pas très grands, au sens où on peut considérer que :

$$\sin i \approx i$$

$$\tan i \approx i$$

$$\cos i \approx 1$$

A noter que dans le cas d'une égalité approximative, pour simplifier les écritures, on écrit souvent en fait un signe égal, en gardant en mémoire qu'il s'agit d'une approximation.

Exercice de démonstration Obtention de la relation de conjugaison d'un dioptre sphérique

- 1) Lorsque le point d'incidence I est près de l'axe, les différents angles du schéma sont-ils petits ou grands?
- 2) Que dire de même de la distance SH comparée à AH, ou comparée à HA', ou à HC ?
- 3) Ecrire la loi de la réfraction en I et la modifier en tenant compte des approximations permises par les réponses de la question 1.
- 4) En tenant compte des triangles présents sur le schéma, on va chercher des expressions de i et r en fonction des autres angles :
 - a. Écrire la relation entre les angles du triangle AIC, en déduire une expression pour l'angle i .
 - b. Écrire de même la relation entre les angles du triangle CIA', en déduire une expression pour l'angle r .
- 5) Que devient la loi de la réfraction approchée lorsqu'on utilise les expressions trouvées pour i et r ?
- 6) On peut introduire les côtés AS et SA' de la manière suivante :
 - a. exprimer les tangentes angles a , a' et w en fonction des côtés des triangles rectangles
 - b. compte-tenu que SH est petit, introduire respectivement les distances AS, SA', et SC.

- 7) Que devient la loi de la réfraction approchée lorsqu'on utilise les expressions trouvées pour les tangentes de a, a', w ?
- 8) Introduire les quantités algébriques \overline{SA} , $\overline{SA'}$ et \overline{SC} en tenant compte des signes de chaque grandeur. On obtient la relation de conjugaison attendue...

L'exercice de démonstration, réalisé ci-dessus pour le dioptre convexe du dessin pour lequel $n' > n$, peut être réalisé aussi bien avec un dioptre concave, ou encore avec $n' < n$. La relation de conjugaison est générale.

Conséquences de la relation de conjugaison

a- Existence des foyers F et F' et expressions des longueurs focales

• Enoncé :

- Le **foyer objet F** est le point objet sur l'axe ayant son image A' à l'infini :

Alors :
$$\overline{SA} = \overline{SF} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\overline{SA'}} = 0$$

La relation de conjugaison s'écrit :
$$0 - \frac{n}{\overline{SF}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}}$$

La **longueur focale objet** vaut donc :
$$\overline{SF} = \frac{n}{n - n'} \overline{SC}$$

- Le **foyer image F'** est le point image d'un objet A situé à l'infini sur l'axe :

Alors
$$\overline{SA'} = \overline{SF'} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\overline{SA}} = 0$$

La relation de conjugaison s'écrit :
$$\frac{n}{\overline{SF'}} - 0 = \frac{n' - n}{\overline{SC}}$$

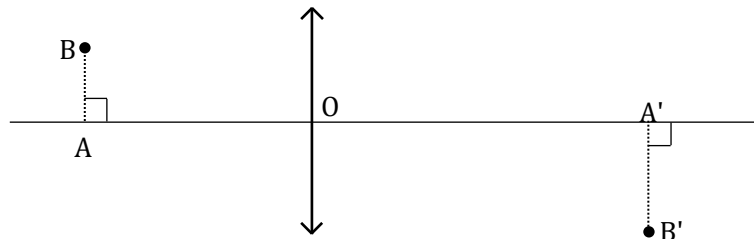
La **longueur focale image** vaut donc :
$$\overline{SF'} = \frac{n'}{n' - n} \overline{SC}$$

• Remarques sur les foyers :

- D'après les expressions des longueurs focales : $\overline{SF'} / \overline{SF} = - (n'/n)$.
- Les foyers **F et F'** ne sont pas du même côté du dioptre. Preuve : les deux longueurs focales n'ont pas le même signe puisque (n'/n) est positif.

- Les foyers F et F' ne sont pas symétriques par rapport au sommet S . Preuve : les deux distances \overline{SF} et $\overline{SF'}$ sont dans un rapport $(n'/n) \neq 1$.

• **Signification de la relation de conjugaison pour des points B et B' hors de l'axe**



Si on ne dispose pas au départ des points A et A' mais seulement de points B ou B' qui sont par hypothèse conjugués par le dioptré sphérique, on peut construire A ou A' par projection orthogonale de B ou B' sur l'axe. Ce sont des grandeurs qui satisfont la relation de conjugaison.

b- Grandissement

• **Enoncé :** Soit B et B' deux points conjugués situés hors de l'axe, A et A' désignent les projections orthogonales de B et B' sur l'axe,

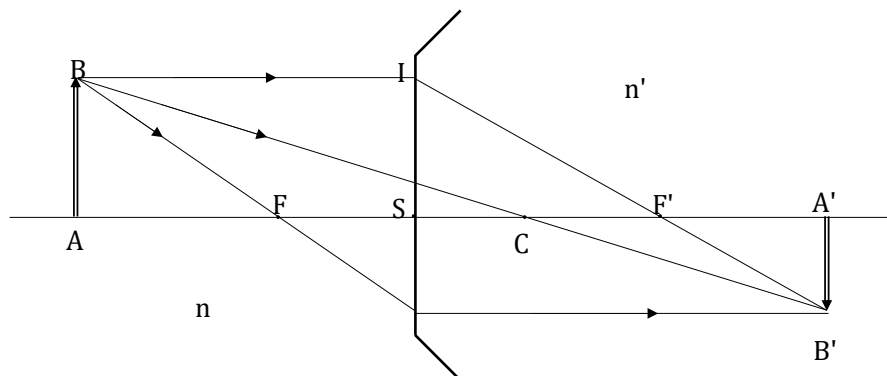
Le **grandissement transversal** est défini par : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ avec, par ex., le sens de \overline{AB} choisi positif.

Alors, on peut montrer que :

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

Exercice de démonstration *Obtention de la relation du grandissement γ*

On va raisonner sur un objet AB perpendiculaire à l'axe et un dioptré convexe, tous deux représentés par leurs symboles. Les rayons utiles sont déjà tracés, ainsi que l'image $A'B'$.



On part de la définition du grandissement transversal : $G = \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$.

1) Dans la définition de γ , par quelle autre distance algébrique peut-on remplacer \overline{AB} ?

- 2) En considérant les points S, I, F', A', B', utiliser le théorème de Thalès (préciser les parallèles et les sécantes concernées) pour obtenir γ sous la forme d'un rapport de deux distances algébriques prises le long de l'axe (attention aux signes).
- 3) Avec la relation de Chasles, faire apparaître le dénominateur dans le numérateur, et simplifier l'expression.
- 4) Utiliser l'expression de la distance focale image pour introduire les indices dans l'expression de γ .
- 5) Utiliser la relation de conjugaison pour faire disparaître \overline{SC} . Montrer qu'on a bien obtenu l'expression cherchée

Rayons utiles pour trouver graphiquement des objets AB ou des images A'B' perpendiculaires à l'axe

• Enoncé :

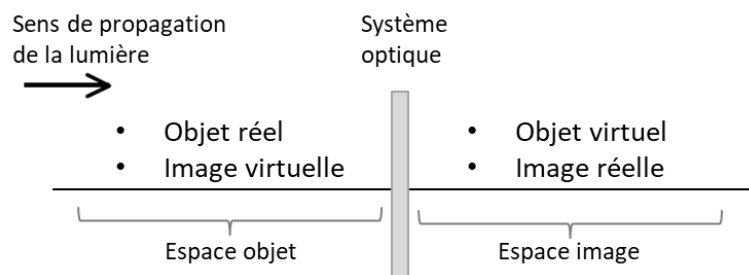
Pour construire une image, il existe 3 rayons remarquables:

- incident passant par le centre C \leftrightarrow émergent non dévié.
- incident parallèle à l'axe optique \leftrightarrow émergent (ou son prolongement) passe par F'
- incident (ou son prolongement) passe par le foyer objet F \leftrightarrow émergent parallèle à l'axe optique

Objet et image réel ou virtuel

On a un **objet réel** lorsque celui-ci est placé **avant le système optique** (= espace objet ; voir schéma). On a une image **réelle** lorsque celle-ci est placée **après le système optique** (=espace image ; voir schéma).

L'**objet** est dit **virtuel** lorsqu'il est placé **après le système optique** (=espace image ; voir schéma). L'**image** est dite **virtuelle** lorsqu'elle est placée **avant le système optique** (= espace objet ; voir schéma).



Conséquences : dans les cas étudiés dans cet enseignement,

- Lorsque l'objet et l'image sont obtenus graphiquement par le croisement des **prolongements des rayons**, ils sont **virtuels**. Lorsque l'objet et l'image sont obtenus graphiquement par le croisement **des rayons**, ils sont **réels**.
- Pour un objet réel, la **distance algébrique entre l'objet et le centre du dioptré sphérique est négative** ; pour un objet virtuel, la **distance algébrique entre l'objet et le centre du dioptré sphérique est positive**.
- Pour une image réelle, la **distance algébrique entre le centre du dioptré sphérique et l'image est positive** ; pour une image virtuelle, la **distance algébrique entre le centre du dioptré sphérique et l'image est négative**.

Dioptrés plans

• **Résumé** : On peut obtenir les formules pour un dioptré plan de deux manières différentes :

- on part des deux hypothèses de la section 2.1, on fait un schéma et on procède aux démonstrations de la même manière que pour les dioptrés sphériques.
- on remarque qu'un dioptré plan est un dioptré sphérique dont **on fait tendre le rayon de courbure vers l'infini** : il suffit de prendre les formules des dioptrés sphériques et d'appliquer cette modification. On va suivre cette méthode.

Exercice de démonstration Obtention de la relation de conjugaison et de la formule de grandissement

1) Comment se traduit le passage au cas limite du rayon de courbure infini pour le membre de droite de la relation de conjugaison ? Ecrire la relation de conjugaison qui en résulte.

2) Alors, si un objet est d'un côté du dioptre plan, où est son image ?

3) A la formule du grandissement d'un dioptre sphérique, appliquer le résultat du a) pour obtenir l'expression pour un dioptre plan. Quand l'image est-elle droite ? inversée ?

Chapitre 4 : Les lentilles minces

Généralités

• **Définition** : les lentilles sont des objets transparents limités par deux faces courbes, généralement sphériques (éventuellement une des faces est plane). Les lentilles peuvent avoir un **effet convergent ou divergent**.

• **Vocabulaire** : La droite passant par les **centres des sphères** est alors un axe de symétrie, appelé **axe optique**. On appelle **sommets** les intersections entre l'axe et les faces sphériques.

• **Exemples** : microscope, longue-vue, jumelles, appareil photographique, caméra.

• **Remarque** :

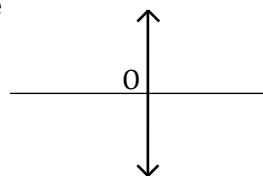
Il existe d'autres types de lentilles :

plan-convexe, plan-concave, ménisque à bord mince, ménisque à bord épais.

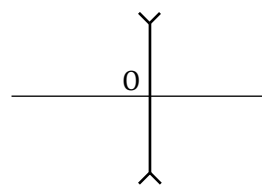
On les classe en 2 catégories :

- lentilles à **bord mince** (biconvexe, plan-convexe, ménisque à bords minces) --> **convergentes**
- lentilles à **bord épais** (biconcave, plan-concave, ménisque à bords épais) --> **divergentes**

• **Symboles** : bord mince



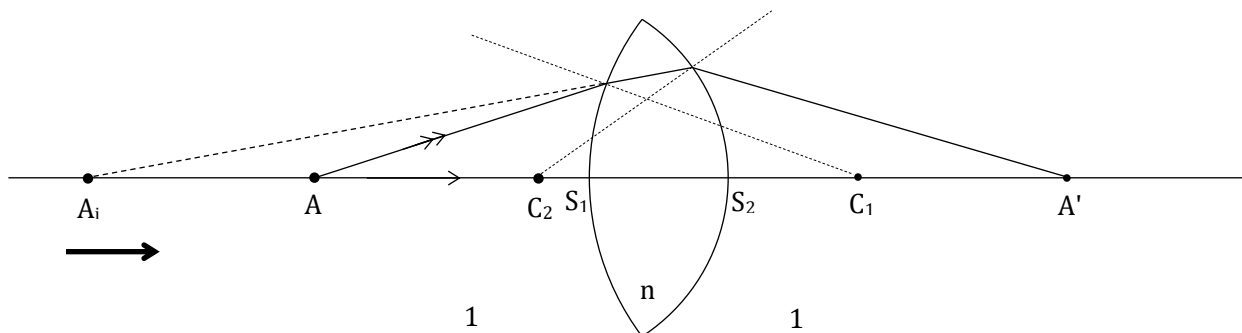
bord épais



Formule de conjugaison d'une lentille mince ; point focal ; distances focales

a- Formule de conjugaison

• **Schéma** :



A est un point objet sur l'axe ; l'image A' qu'en donne la lentille est obtenu de la manière suivante :

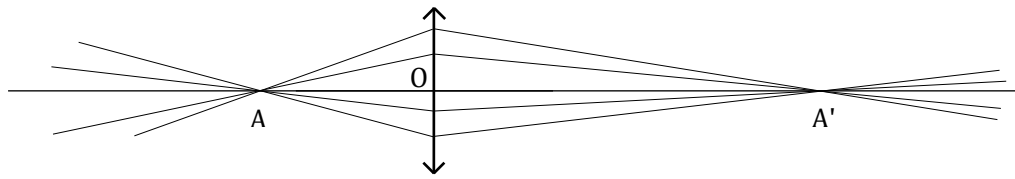
- le dioptre 1 donne du point A une image notée A_i (intersection de rayons émergents),
- pour le dioptre 2, ce point A_i est un point objet (intersection de rayons incidents) et le dioptre 2 donne de A_i l'image finale A'. (L'indice i vaut pour "intermédiaire".)

• **Modélisation théorique** :

On parle de lentille mince lorsque les deux dioptres sphériques ont les deux sommets S_1 et S_2 proches (distance S_1S_2 petite comparée aux rayons de courbure). Sur le schéma ci-dessus, pour avoir une bonne vision des rayons et des angles, les sommets sont dessinés relativement éloignés.

- les deux sommets S_1, S_2 sont considérés comme confondus en un point unique noté S ou O, appelé **centre de la lentille** ;
- les deux faces sont considérées comme accolées ; la lentille est assimilée à un disque sans épaisseur, mais dont les effets sur les rayons sont bien ceux d'une lentille ;

Les rayons venant d'un même point A (**point objet**) sont déviés par la lentille de telle manière qu'ils se recroisent en autre point unique A' (**point image**). On dit **que A et A' sont conjugués**.



Exercice de démonstration Obtenir la formule de conjugaison

1) Ecrire la relation conjuguant A et A_i. Ecrire de même celle conjuguant A_i et A'.

2) Additionner membre à membre les deux relations précédentes. Dans le membre de gauche, tenir compte du caractère mince de la lentille et simplifier.

3) Montrer qu'on obtient la relation sous la forme $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$ avec une expression détaillée pour le paramètre $\overline{OF'}$ (ou $1/\overline{OF'}$).

• Résumé :

Les positions de A et A' sont reliées par la relation de conjugaison

$$V = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'} = (n - 1) \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right) \text{ avec :}$$

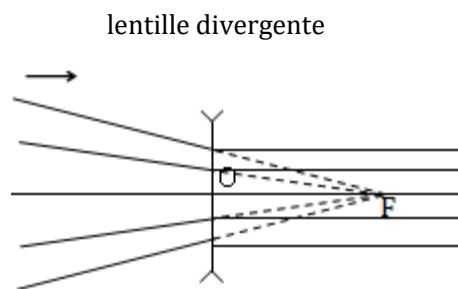
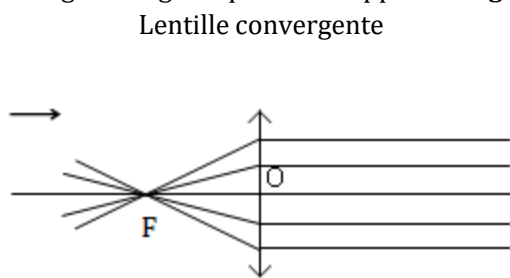
- V est un **paramètre algébrique**, caractérisant la lentille étudiée, appelé **vergence** et exprimée en dioptrie : $1 \delta = 1 \text{ m}^{-1}$,
- \overline{OA} est la **distance algébrique** entre le centre O et un point A sur l'axe par où passent des rayons incidents (ou leurs prolongements),
- $\overline{OA'}$ est la **distance algébrique** entre le centre O et un point A' sur l'axe où passent les rayons émergents issus de A (ou leurs prolongements),
- $\overline{OF'}$ est la distance focale image.

Rappel : C'est le **sens de propagation** qui donne un **signe positif** aux longueurs algébriques qui sont parallèles à l'axe et de même sens que lui, et un **signe négatif** dans le cas contraire.

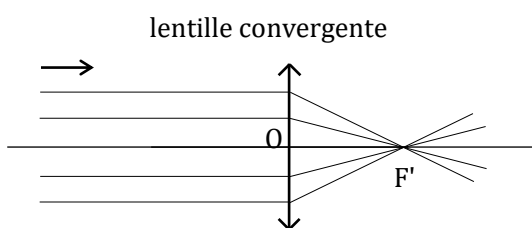
b- Foyers principaux et longueurs focales

• Définitions :

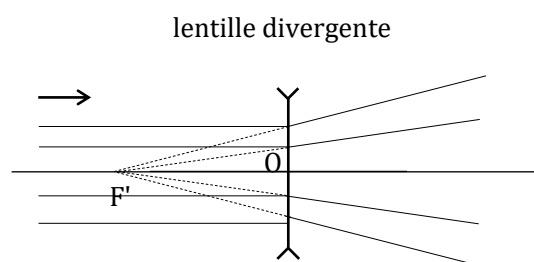
- Le **foyer objet F** est le point de l'axe dont **l'image est à l'infini** (= rayons émergents parallèles à l'axe). La longueur algébrique \overline{OF} est appelée **longueur focale objet**.



- Le **foyer image F'** est l'image d'un point **objet à l'infini** (= rayons incidents parallèles à l'axe). La longueur algébrique $\overline{OF'}$ est appelée **longueur focale image**.



F' est après la lentille, donc $\overline{OF'} > 0$



F' est avant la lentille, donc $\overline{OF'} < 0$

- Les **foyers objet F et image F'** sont symétriques par rapport au centre O de la lentille.

c- Objet virtuel et image virtuelle

• Modélisations graphiques :

- Lorsque ce sont seulement les **prolongements des rayons incidents** qui peuvent se croiser en A (la lumière de ces rayons ne passe pas en A), on dit que A est un point **objet virtuel**.
- De même, lorsque ce sont seulement les **prolongements des rayons émergents** qui se croisent en A', on dit que A' est un point **image virtuelle**.

d- Formule du grandissement transversal d'une lentille mince

• **Rappel** : le grandissement est le rapport entre la longueur \overline{AB} d'un objet perpendiculaire à l'axe et la longueur

$\overline{A'B'}$ de son image : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ (avec un sens positif choisi perpendiculairement à l'axe).

On peut montrer que $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

Exercice de démonstration Obtenir la formule du grandissement

1) Ecrire les définitions des trois grandissements : γ pour la lentille, γ_1 pour le dioptré 1, γ_2 pour le dioptré 2.
Montrer que leur relation est de la forme $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2$.

2) Appliquer à γ_1 et γ_2 la formule démontrée pour les dioptrés sphériques.

3) Dans les formules de γ_1 et γ_2 , tenir compte du caractère mince de la lentille, et montrer qu'on trouve la formule du grandissement.

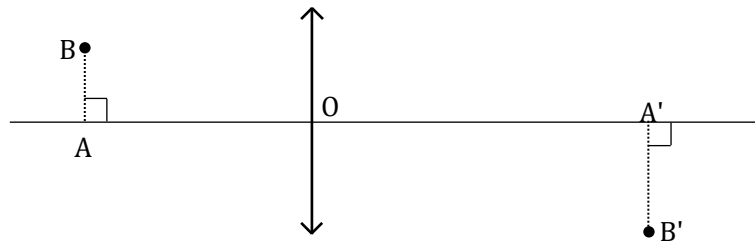
Rayons remarquables pour des objets AB ou des images A'B' perpendiculaires à l'axe

• **Énoncé** :

Pour construire une image, il existe 3 rayons remarquables :

- incident passant par O \leftrightarrow émergent non dévié par la lentille.
- incident parallèle à l'axe optique \leftrightarrow émergent (ou son prolongement) passe par F' et B'
- incident (ou son prolongement) passe par F et par B \leftrightarrow émergent parallèle à l'axe optique

• Signification de la relation de conjugaison pour des points B et B' hors de l'axe



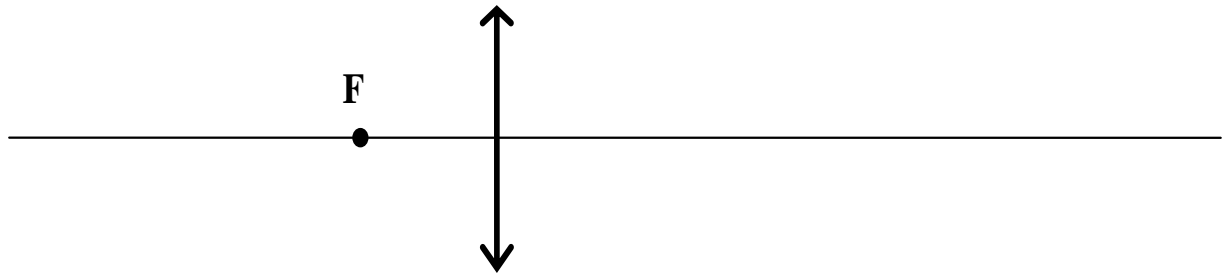
Si on ne dispose pas au départ des points A et A' mais seulement de points B ou B' qui sont par hypothèse conjugués par la lentille, on peut construire A ou A' par projection orthogonale de B ou B' sur l'axe. Ce sont des grandeurs qui satisfont la relation de conjugaison.

Foyers secondaires ; plans focaux

Exercice d'application

Notions de foyers secondaires et plans focaux

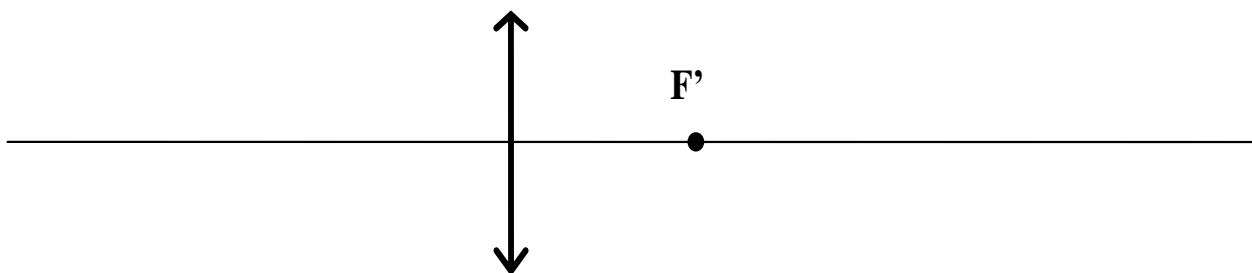
A - On considère une lentille convergente de foyer objet F.



On appelle **foyer secondaire objet**, noté Φ , tout point appartenant au **plan focal objet**, c'est-à-dire *le plan contenant F et orthogonal à l'axe optique* et distinct de F.

- 1) Faire apparaître ce plan sur le schéma et choisir arbitrairement un tel point Φ .
- 2) Tracer deux rayons passant par Φ , l'un passant par O, l'autre étant parallèle à l'axe.
- 3) Avec les émergents de ces deux rayons, trouver et caractériser l'image de Φ .
- 4) Ajouter un rayon incident passant par Φ mais quelconque et trouver son émergent.

B- On considère une lentille convergente de foyer image F' .



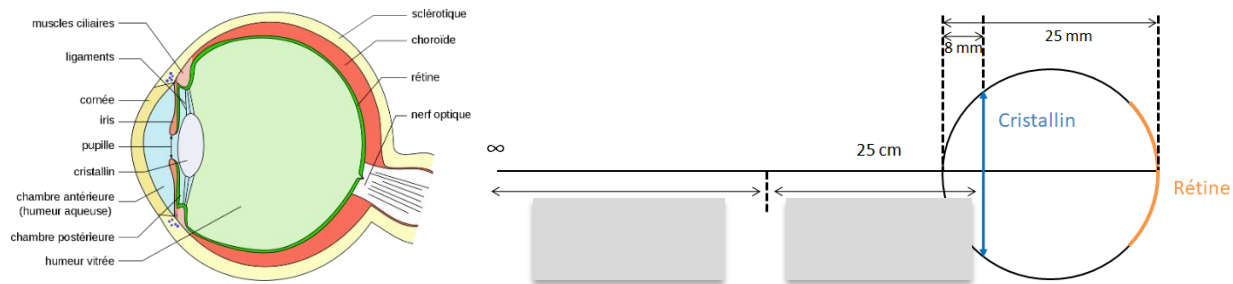
On appelle **foyer secondaire image**, noté Φ' , tout point appartenant au **plan focal image**, c'est-à-dire *le plan contenant F' et orthogonal à l'axe optique* et distinct de F' .

- 1) Faire apparaître ce plan sur le schéma et choisir arbitrairement un tel point Φ' .
- 2) Tracer deux rayons passant par Φ' , l'un passant par O, l'autre étant parallèle à l'axe.
- 3) Avec les incidents de ces deux rayons, trouver et caractériser l'objet de Φ' .
- 4) Ajouter un rayon émergent passant par Φ' mais quelconque et trouver son incident.

Chapitre 5 : Introduction aux instruments d'optique

Un instrument biologique : l'œil

• **Principe** : Avec un œil sans défaut (emmétrope), le cristallin donne de l'objet observé une image réelle qui se forme sur la rétine. Le nerf optique transmet ensuite l'image au cerveau. L'œil voit net, sans accommoder, des objets situés entre l'infini et 25 cm. En dessous, pour voir net, le cristallin doit modifier sa vergence, on parle d'« accommodation ». Cette opération est effectuée par les muscles qui entourent le cristallin.



Application à l'optique géométrique

Identifier les éléments physiques pertinents qui permettent de modéliser simplement l'œil en optique géométrique. Donner un ordre de grandeur des focales et vergences lorsque nécessaire. Donner un nom aux deux domaines définis (dans les deux rectangles grisés) de la figure ci-dessus.

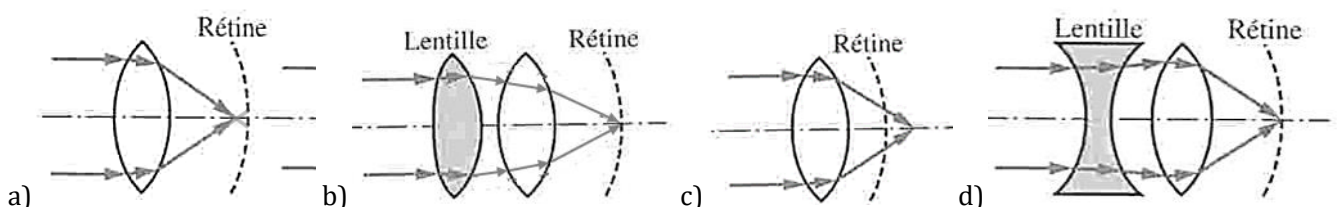
• **Définitions** : Le point le plus proche que l'œil puisse voir net est appelé *punctum proximum* : l'œil y accommode au maximum. Le point le plus éloigné que l'œil puisse voir net est appelé *punctum remotum* : l'œil n'y accommode pas.

• **Remarque** : Il existe deux défauts fréquents de l'œil :

- **Œil myope** : l'image se forme avant la rétine. Une lentille divergente compense la trop grande convergence de l'œil.
- **Œil hypermétrope** : l'image se forme après la rétine. Une lentille convergente compense la trop faible convergence de l'œil.

Application à l'optique géométrique

Associer chacun des schémas avec les différents défauts et leur correction :



Les instruments manufacturés

a- Définition

On distingue deux types d'instrument :

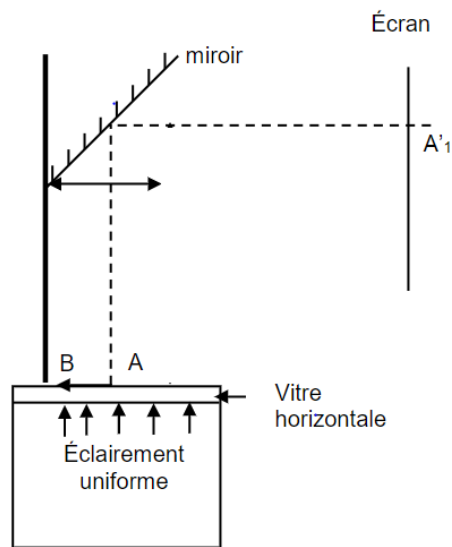
- Les instruments objectifs : Ces instruments donnent une image réelle d'un objet réel. Ex : projecteurs, objectifs photographiques, œil.

- Les instruments subjectifs : Ces instruments donnent une image virtuelle d'un objet réel. Ex : loupes, microscopes, viseurs, lunettes, télescopes.

b- Un instrument objectif : le rétroprojecteur

• **Principe** : Un rétroprojecteur est un instrument d'optique permettant de projeter sur un écran une image agrandie d'un objet. C'est un instrument objectif (qui forme une image réelle) constitué d'une lentille convergente et d'un miroir plan incliné.

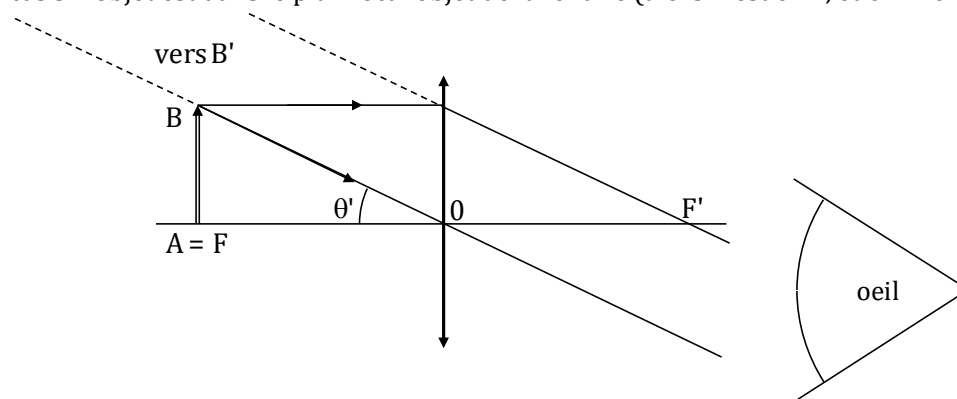
La lentille, de distance focale de l'ordre du centimètre, donne de l'objet AB une image intermédiaire A'B' et le miroir plan fournit une image définitive réelle A₁B₁ sur l'écran.



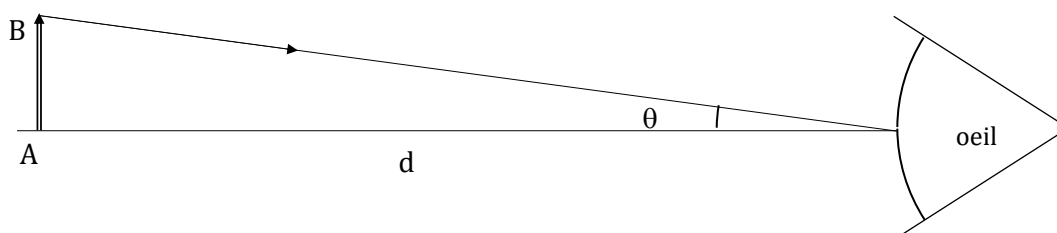
c- Quelques instruments subjectifs

La loupe

• **Principe** : à partir d'un **objet réel**, la lentille produit une **image virtuelle droite** observée à l'œil. Ainsi le point A est entre O et F : $0 < \overline{OA} \leq \overline{OF}$. Pour ne pas fatiguer l'œil, on préfère en général que l'image à regarder soit à l'infini ; c'est le cas si l'objet est dans le plan focal objet de la lentille (alors A est en F, et $\overline{OA} = \overline{OF}$).



Pour comparaison : cas où l'objet regardé directement (sans loupe) au plus près possible de l'œil :



- **Définition** : Le **grossissement** G est un paramètre caractéristique d'une loupe. Celui-ci compare :
 θ' , l'angle sous lequel l'image donnée par la loupe est observée par l'œil (schéma du haut),
à θ , l'angle sous lequel l'objet peut être regardé directement, à une distance d de l'œil la plus courte possible
(schéma du bas) : $G = \frac{\theta'}{\theta}$.

Pour θ et θ' pas trop grands, on montre que : $G \approx \frac{d}{OF_1}$.

- **Définition** : Le **grossissement commercial** est le grossissement calculé avec $d = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$.
Si une loupe a un grossissement de 8, à quelle distance, faut-il placer l'objet de la loupe pour ne pas avoir à accommoder ?
- **Remarque** : le grandissement est un rapport de deux longueurs ; le grossissement est un rapport de deux angles.

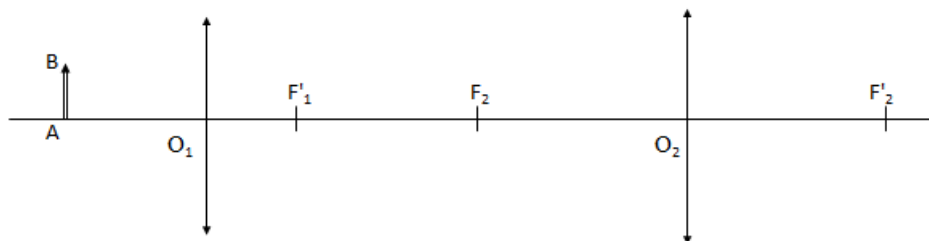
Exercice de démonstration *Obtention de la formule de grossissement d'une loupe*

Démontrer la formule du grossissement dans le cas des petits angles.

Le microscope

- **Principe** : Un microscope est un instrument d'optique permettant l'observation d'objets de très petites dimensions. C'est un instrument subjectif (qui ne forme pas d'image réelle) constitué de deux lentilles convergentes :
 - l'objectif, de distance focale de l'ordre du millimètre, placé près de l'objet
 - l'oculaire, de distance focale de l'ordre du centimètre, derrière lequel l'observateur place son œil pour observer sans effort.

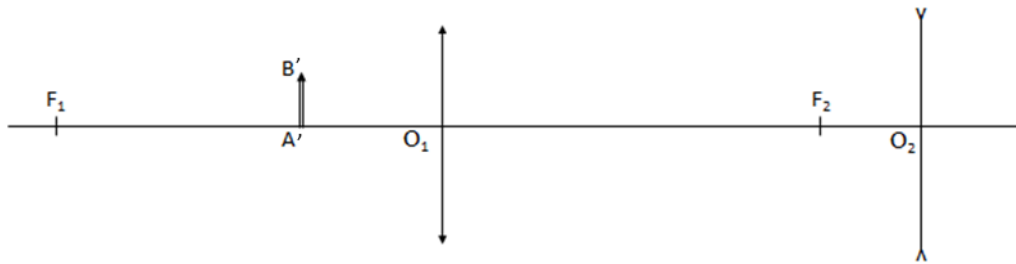
La première lentille (du côté de l'objet : l'objectif) donne de l'objet réel une image réelle $A'B'$ agrandie.
La deuxième lentille (du côté de l'œil : l'oculaire) est utilisée en tant que loupe : elle donne de l'objet réel $A'B'$ une image virtuelle $A''B''$, agrandie également, visible par l'œil de l'observateur.



Les lunettes

- **Principe** : Les lunettes sont des instruments d'optique permettant l'observation de grands objets situés à l'infini. Ce sont des instruments subjectifs constitués également de deux lentilles.
L'objectif est une lentille convergente de grande distance focale, de l'ordre du mètre. Il donne de l'objet réel AB une image réelle $A'B'$.

L'oculaire peut être une lentille convergente ou divergente (dans les lunettes astronomiques, les jumelles...). Dans tous les cas, il donne de l'image intermédiaire réelle $A'B'$ (issue de l'objet réel AB situé à l'infini) une image virtuelle $A''B''$.



PARTIE TP

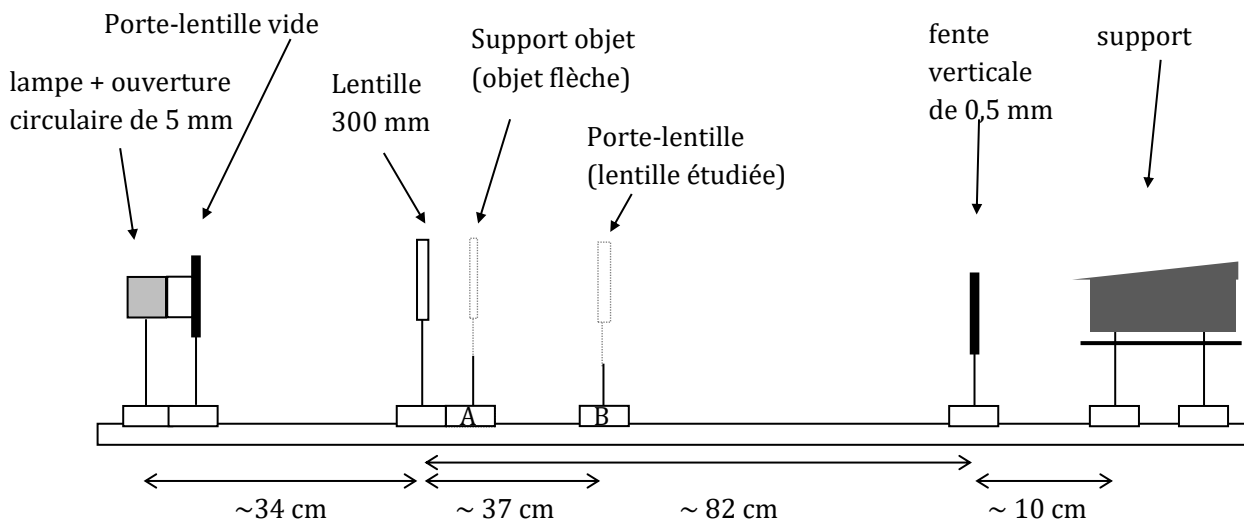
Travaux pratiques : Observations de divers phénomènes optiques

Préambule

Ce document comporte des parties à remplir par des schémas et du texte pour que vous gardiez une trace écrite de vos observations. **Vous devez garder ce document avec vous, il sera utilisé lors des cours.**

Pendant la séance, faites attention au matériel et manipuler avec soin. L'enseignant(e) et les techniciens de laboratoire sont là pour vous aider, n'hésitez pas à demander de l'aide ou un conseil.

Matériel disponible



La lampe LED donne de la lumière blanche. L'ouverture réduite située après la lampe permet d'avoir un faisceau relativement cylindrique au-delà de la lentille (l'ouverture réduite évite également qu'on soit ébloui).

Une fente permet d'obtenir au-delà un pinceau étroit de lumière qui éclaire en différents points le support incliné.

Sur la table se trouvent, en plus d'une lampe de poche, les éléments suivants :

- un écran carré percé de 5 fentes parallèles, un morceau de carton opaque ;
- un écran découpé en forme de flèche (avec bande adhésive translucide) inséré sur un support objet ;
- un demi-cylindre en plastique ;
- un bloc de verre de forme prismatique ;
- une lentille biconvexe (inscription : +100 mm) emboîtée sur un support à tige ;
- une lentille biconcave (inscription : - 100 mm) sans support.

Normalement tout est déjà réglé pour pouvoir commencer. Sauf si on dérègle ... !

Consignes

Allumez la lampe à l'aide de l'interrupteur situé sur le fil d'alimentation.

☞ On doit voir sur le support un pinceau de lumière bien net de 1 mm de largeur.

Placez la feuille d'observation sur le support (en respectant les consignes données lors des différentes expériences) : c'est là que vous allez faire vos observations.

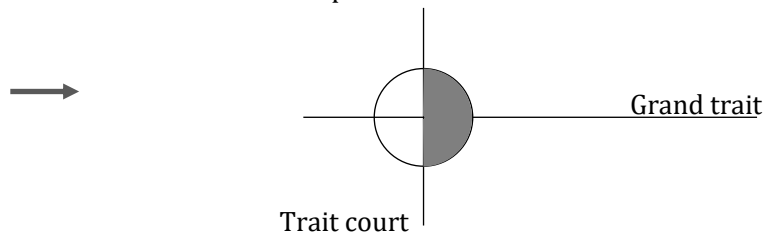
Vous devrez par la suite dessiner les objets placés sur la feuille ainsi que les pinceaux de lumière qui y sont visibles.

1. Comment la lumière passe-t-elle de l'air à un demi-cylindre transparent ?

Placez la feuille d'observation de façon à avoir le cercle du côté gauche de l'observateur, le plus grand trait aligné exactement sur le pinceau de lumière. Fixez alors la feuille avec les pinces métalliques.

A- Faisceaux réfléchis et réfractés, en proportions variables

On place le demi-cylindre, **face dépolie vers le bas**, dans le cercle, de façon à ce que la lumière entre par sa face plane. Celle-ci doit être bien sur le trait court. Votre dispositif doit ressembler à :

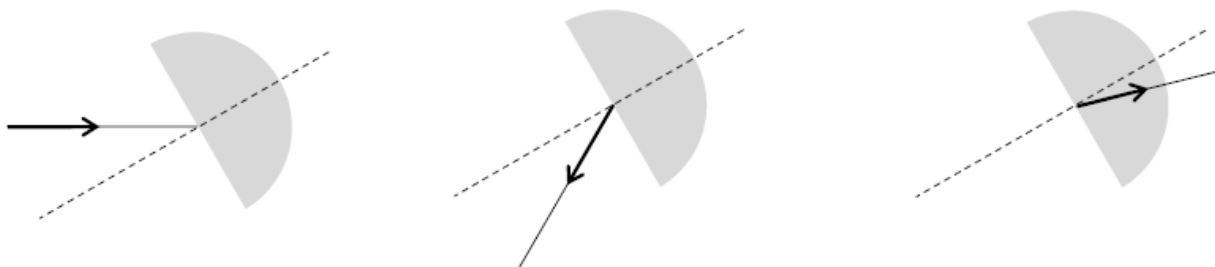


Ensuite, faites tourner le demi-cylindre à la main tout en gardant le demi-cylindre dans le cercle dessiné. Remarquez (i) qu'il y a un rayon réfléchi et un rayon réfracté (réfracté = brisé, dévié), (ii) qu'ils pivotent et (iii) que leur intensité lumineuse varie.

Pour étudier ce genre de situation où de la lumière rencontre une surface séparant deux milieux différents, on définit usuellement trois angles :

- **l'angle d'incidence, noté i_1** : entre le rayon incident et la direction normale à la face d'entrée,
- **l'angle de réflexion, noté r** : entre le rayon réfléchi et la direction normale à la face d'entrée,
- **l'angle de réfraction, noté i_2** : entre le rayon réfracté et la direction normale à la face d'entrée.

1) Compléter chacun des schémas ci-dessous en nommant pour chaque cas l'angle défini, et en montrant où il se trouve.



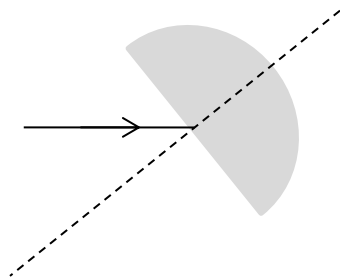
2) Lorsqu'on tourne à partir de la position initiale, quel rayon augmente en intensité lumineuse, lequel diminue en intensité ? N'hésitez pas à explorer jusqu'aux grands angles pour mieux voir.

3) Pour un angle d'incidence de 45° , avec le point d'incidence au milieu de la face plane du demi-cylindre, faire un schéma, en identifiant les trois angles : incident, réfléchi et réfracté. Ajouter des flèches pour indiquer le sens de propagation de la lumière le long de chacun d'eux.

Pour notre cas d'étude à 45° et en vous référant aux définitions précédentes :

- Comparer l'angle de réflexion à l'angle d'incidence :
- Comparer l'angle de réfraction à l'angle d'incidence :

4) En laissant le demi-cylindre à 45° , complétez le schéma ci-dessous. La lumière est-elle déviée (réfractée) à la sortie du demi-cylindre (i.e. entre la face arrondie du demi-cylindre et l'air) ? Est-ce le cas pour tous les angles ?



B- Réfraction d'un rayon ayant l'angle d'incidence maximum

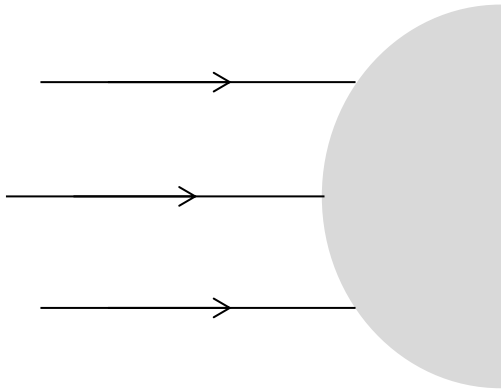
On replace le demi-cylindre de façon à ce que le rayon incident arrive au milieu de la face plane. On fait tourner progressivement jusqu'à la dernière position où la lumière peut entrer par la face plane. **Pour cette position limite, faire un schéma avec les trois rayons, en essayant de respecter au mieux les directions et formes des rayons réfracté et réfléchi.** (La lumière incidente se présente sous la forme d'un étroit pinceau de largeur presque constante d'environ 1mm. La lumière émergeant par la face cylindrique se présente-t-elle sous la même forme? Essayer de représenter son allure.)

C- Traversée de plusieurs rayons parallèles

On remplace la fente unique par les 5 fentes parallèles. On fera attention à bien **placer la partie obstruée de la diapositive vers le haut**. Le pinceau du milieu (le 3^e) doit coïncider avec le grand trait de la feuille blanche. La face plane du demi-cylindre est le long du petit trait, la face d'entrée est la **face cylindrique**.

Compléter le schéma, en traçant uniquement les rayons réfractés, et en montrant bien où les autres rayons croisent le rayon du milieu.

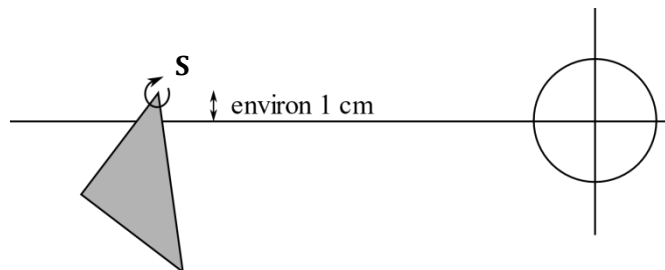
Est-ce en un point unique ?



2. Comment la lumière se comporte-t-elle lors de la traversée d'un prisme ?

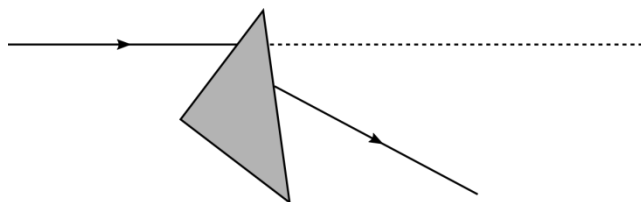
Remettez en place la fente unique et placez le grand trait de la feuille dans le pinceau unique de lumière formé, avec cette fois le cercle à droite de l'observateur (voir schéma ci-dessous). On utilisera par la suite un prisme.

Poser le prisme à cheval sur le trait, avec une arête utile (**où les faces forment un angle de 45°**) à environ 1 cm du trait, tel qu'illustré sur le schéma suivant. Le point **S** est nommé « **sommet du prisme** ».



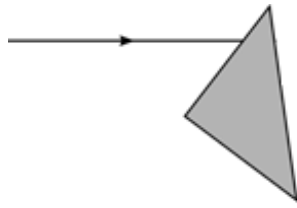
Définition :

On appelle "**angle de déviation**", noté **D**, pour une couleur donnée, l'angle entre le rayon émergent et le rayon incident tel qu'il serait en absence de déviation. Sur le schéma suivant, notez où se trouvent les rayons incident et émergent puis faites apparaître l'angle **D**.



A - Dispersion des couleurs

Observez à la sortie du prisme les zones de différentes couleurs. **Faire un schéma en indiquant les différentes couleurs visibles en sortie du prisme.**



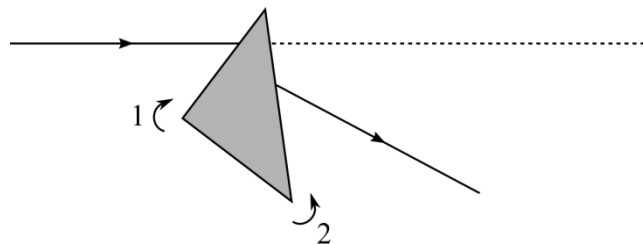
Couleur la moins déviée :

Couleur la plus déviée :

B - Existence d'un minimum de déviation

Faites un peu pivoter le prisme **autour de son sommet** à plusieurs reprises dans un sens puis dans l'autre. Constatez qu'il existe une position particulière pour laquelle **l'angle de déviation est minimal** : à cette position, la lumière ne peut être moins déviée.

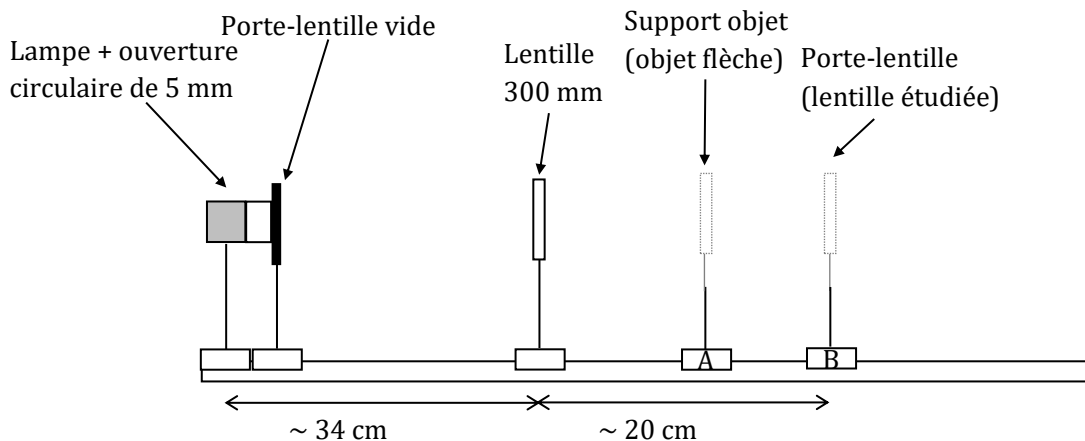
On suppose que le schéma ci-dessous montre **le prisme exactement dans la position pour laquelle l'angle de déviation est minimal** (pour la lumière jaune, par exemple). Tournez le prisme dans le sens 1) puis dans le sens 2). Ajouter deux flèches, numérotées elles aussi 1) et 2), qui montrent **le sens de déplacement du rayon émergent** dans chaque cas.



Résumez le résultat en une phrase :

3. Comment une lentille mince biconvexe modifie-t-elle la propagation de la lumière ?

Rappel du dispositif :



A- Effet sur un faisceau cylindrique

Dans le faisceau issu de la lentille (+300 mm), placer une feuille blanche verticalement puis horizontalement et la déplacer le long du banc ; vérifier que le faisceau est cylindrique (de diamètre à peu près constant).

On place la lentille biconvexe (+100 mm) dans le cavalier vide ("B" sur le schéma). Changer au besoin sa hauteur pour la centrer au mieux par rapport à l'axe du faisceau cylindrique.

Déplacer la feuille blanche verticalement puis horizontalement au banc, dans le faisceau issu de cette lentille, pour en constater la structure. **Compléter le schéma ci-dessous en dessinant l'allure du faisceau avant et après la lentille biconvexe.**



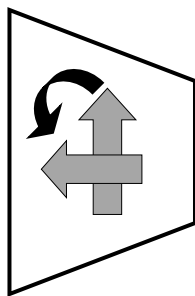
B- Image d'un objet lumineux

Insérer le support objet, avec l'objet flèche, dans le cavalier vide en position « A » du schéma.

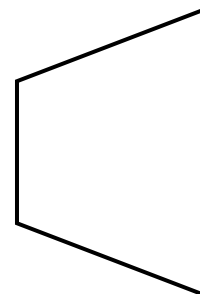
Placer l'écran-sur-cavalier (à demander) dans la région située au-delà de la lentille d'étude, afin d'observer la forme de la zone éclairée sur l'écran ; déplacer l'écran le long du banc pour constater qu'il y a une position pour laquelle on obtient une image de la flèche avec un contour particulièrement net.

Tourner la flèche de 90° pour qu'elle pointe vers vous, et constater alors l'orientation de son image.

Compléter le schéma en dessinant sur l'écran l'image de l'objet-flèche, ceci pour chacune des deux positions de l'objet (flèche pointant vers le haut, puis vers vous).



Support objet + objet flèche



Ecran-sur-cavalier

C- Image par une lentille partiellement occultée

Laisser l'objet flèche dans son support et, avec le morceau de carton noir, occulter progressivement la lentille en le plaquant contre celle-ci. Observer comment évolue l'image sur l'écran.

Evolution de l'image en termes de forme, taille, luminosité :

4. Comment une lentille mince biconcave modifie-t-elle la propagation de la lumière ?

A- Effet sur un faisceau cylindrique

Retirer l'objet-flèche du porte-objet.

Demander comment procéder pour remplacer la lentille biconvexe par la lentille biconcave.

La lentille est encore dans la position "B" et à la bonne hauteur par rapport au faisceau cylindrique.

Déplacer la feuille dans le faisceau produit par la lentille pour en constater la structure.

Compléter le schéma suivant en dessinant l'allure du faisceau avant et après la lentille biconcave.



B- Image d'un objet lumineux

Remettre en place l'objet-flèche et déplacer l'écran dans la région située au-delà de la lentille pour observer la forme de la zone éclairée sur l'écran.

Trouve-t-on une position de l'écran pour laquelle il y a une image bien nette de la flèche ?

5. Peut-on contrôler la propagation de la lumière? (AU BUREAU)

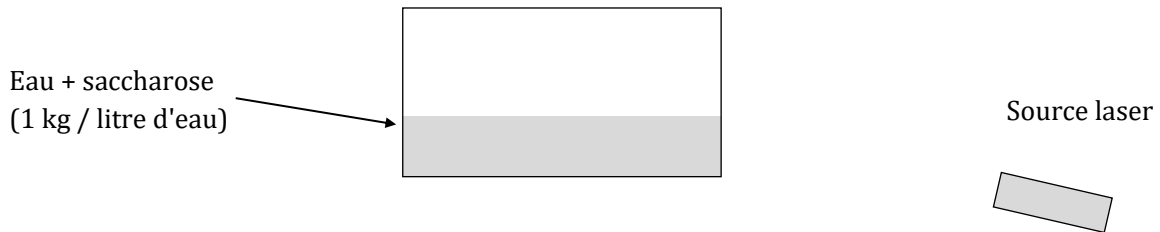
A- Fibre optique

Qu'observe-t-on à l'extrémité terminale des fibres lorsque :

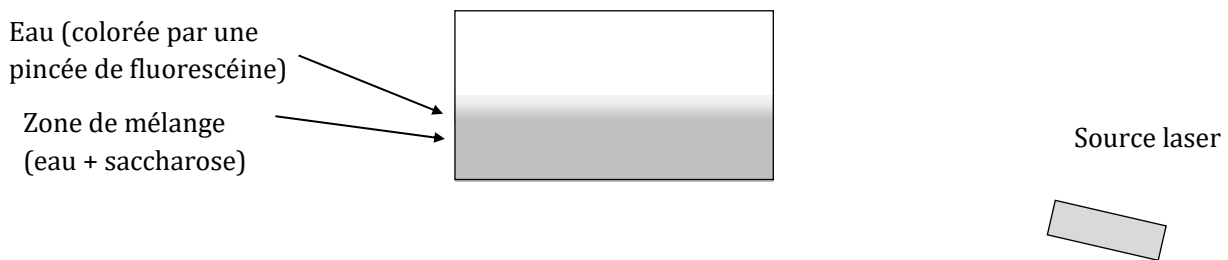
- On place une source de lumière devant le disque d'entrée d'un faisceau de fibres optiques :
- Sur le disque d'entrée, on occulte la moitié des fibres :

B- Gradient d'indice

Pour le cas du liquide homogène (eau sucrée), compléter le schéma du montage en indiquant les éléments importants et en faisant apparaître le trajet de la lumière.



Pour le cas du liquide inhomogène, compléter le schéma du montage en indiquant les éléments importants, et en faisant apparaître le trajet de la lumière.



PARTIE TD

Chapitre 1 : Optique géométrique : hypothèses et lois de Descartes

Exercice 1 : Application de la loi de la réfraction

La lumière entre au centre de la face plane dans un demi-cylindre en plexiglas d'indice $n = 1,51$.

- 1) Représenter le demi-cylindre, trois rayons incidents (0° , 30° , 90°) et la normale.
- 2) Donner les relations qui permettent de compléter le tableau et le compléter.

Ecrire les valeurs décimales avec 3 chiffres significatifs.

Angle d'incidence i_1 (en degrés)	Angle d'incidence i_1 (en radian)	$\sin(i_1)$	$\sin(i_2)$	Angle de réfraction i_2 (en degrés)
$0,0^\circ$	0,0			
$5,0^\circ$				
$10,0^\circ$	0,175	0,174	0,115	6,6
$15,0^\circ$				
$30,0^\circ$				
$90,0^\circ$				
$120,0^\circ$				

- 3) Sur le schéma, ajouter les trois rayons réfractés. Respecter les angles au mieux (l'utilisation de la couleur et d'un rapporteur est vivement recommandée).
- 4) Dans un des deux milieux, la lumière passe plus près de la droite normale que dans l'autre. En termes d'indice de réfraction, à quoi le reconnaît-on ?
- 5) Au vu du tableau, qu'y a-t-il de remarquable entre certaines valeurs de i_1 et celles de $\sin(i_1)$?
- 6) Evaluer les écarts relatifs en pourcentage entre i en radian et $\sin(i)$ pour les incidences de 5° , 10° , 15° , 30° .
Ecart relatif : $e = \frac{|\sin(i) - i|}{i} \times 100\%$.
- 7) Si l'on tolère jusqu'à 1 % d'écart relatif, quelle approximation peut-on proposer pour les sinus des angles ? Quelle loi approchée peut-on alors proposer pour la loi de la réfraction ? (Loi dite de Kepler valable près de la normale.)
- 8) Que se passe-t-il dans le cas où l'indice du milieu du rayon incident est supérieur à celui du demi-cylindre ? Faire un schéma typique avec un dioptré et 3 rayons (incident, réfléchi, réfracté) en sachant seulement que $n_2 < n_1$.

Exercice 2 : Influence de la longueur d'onde (facultatif)

Un rayon incident se déplaçant dans l'air tombe sur une des faces planes d'un bloc de quartz en formant un angle de 30° avec la normale au point d'incidence. Le faisceau comprend deux longueurs d'onde : 400 nm et 500 nm. L'indice de réfraction du quartz pour ces longueurs d'onde vaut respectivement 1,4702 et 1,4624.

- 1) Calculer l'angle $\Delta i'$ formé entre les deux faisceaux réfractés (on parle de dispersion angulaire).
- 2) En plaçant un écran à 2 mètres du bloc, quelle distance séparera les lumières associées à ces deux longueurs d'onde sur l'écran ? Faire un schéma.

Exercice 3 : Angle de réfraction limite

L'indice de réfraction d'un verre est de 1,5.

- 1) Quelle sera la valeur de l'angle limite pour la réfraction verre-air ? Quelle serait alors la valeur de l'angle incident dans ce cas ?
- 2) Mêmes questions dans le cas de la réfraction air-verre.

Exercice 4 : Phénomène de réflexion totale

Soit un dioptre plan séparant du plexiglas ($n=1,51$) de l'air, la lumière se propage du plexiglas vers l'air.

- 1) Faites un schéma de la situation.
- 2) Compléter le tableau suivant.

Angle d'incidence i_1 (en degré)	$\sin(i_1)$	$\sin(i_2)$	Angle de réfraction i_2 (en degré)
20,0°	0,342	0,516	31,1°
40,0°			
60,0°			

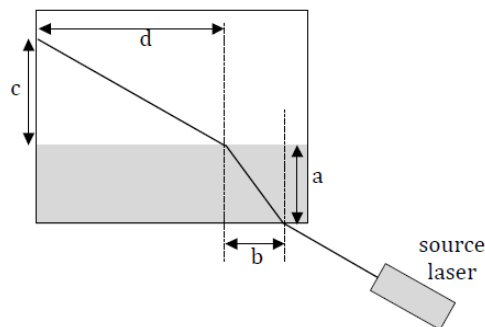
- 3) Peut-on toujours trouver une valeur pour l'angle de réfraction ? Que se passe-t-il alors ?

Exercice 5 : Réflexion totale à l'interface air – eau sucrée

Un faisceau laser fin se propage dans l'air, puis traverse l'eau sucrée contenue dans une cuve, pour finalement rencontrer la surface de séparation entre l'air et l'eau sucrée. Pour ce qui concerne la propagation de la lumière on pourra négliger le rôle de la paroi de la cuve.

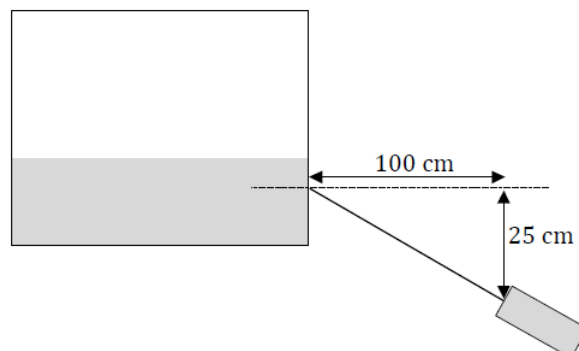
A- Expérience non présentée en TP

$a = 71 \text{ mm}$
 $b = 64 \text{ mm}$
 $c = 111 \text{ mm}$
 $d = 343 \text{ mm}$



A partir des informations de la figure ci-dessus, déterminer la valeur de l'indice de réfraction de l'eau sucrée.

B- Expérience vue en TP (partie de l'expérience avec un liquide homogène)

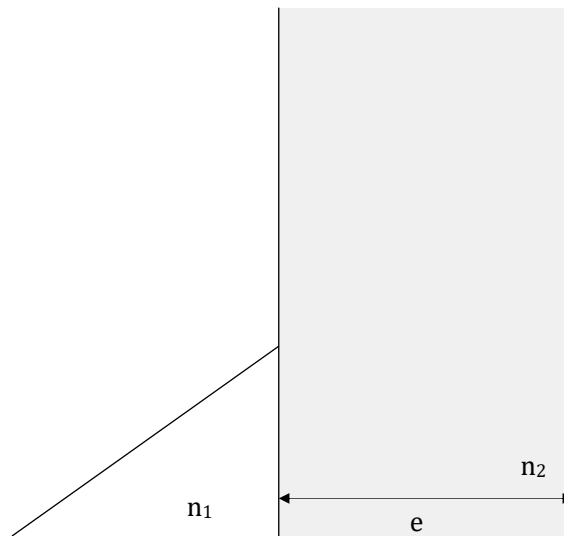


- 1) Tracer approximativement (sans calcul) le trajet de la lumière dans l'eau sucrée de la figure ci-dessus. Existait-il un rayon réfracté vers l'air ?
- 2) Déterminer numériquement la valeur de l'angle d'incidence sur ce dioptre eau-sucrée/air.
- 3) D'après le résultat précédent, une réflexion totale est-elle attendue ?

Chapitre 2 : Traversée de dioptres successifs

Exercice 1 : lame à faces parallèles - Trajet à travers une lame, décalage aux petits angles

- 1) Compléter le schéma de la lame en construisant le rayon jusqu'à l'émergent. Les indices n_2 et n_1 ne sont pas connus numériquement : pour la première réfraction, on fixe un angle arbitrairement mais cohérent avec $n_2 > n_1$. On respecte ensuite les lois de propagation.
- 2) En optique géométrique, comment appelle-t-on le plan dans lequel le dessin est réalisé ?
- 3) Montrer que les rayons incidents et émergent sont parallèles. Rédiger la justification.



On appelle décalage (ou déplacement) la distance entre les directions des rayons incident et émergent. On note d le décalage.

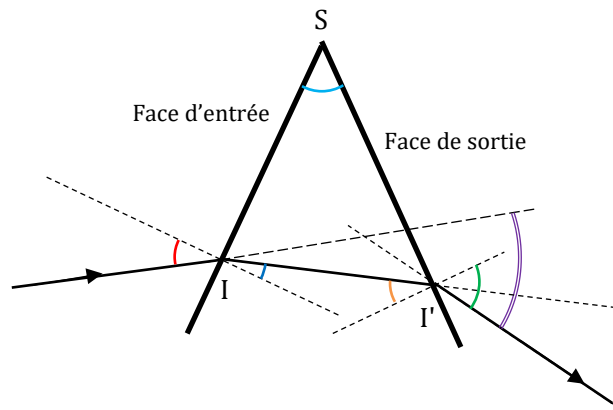
- 4) Faire apparaître d sur le schéma.
- 5) Rappeler les approximations qui sont justifiées lorsqu'un angle a une petite valeur (par exemple entre 0 et 10° ou même 15°), ceci pour son sinus, son cosinus, sa tangente.
- 6) Dans le cas où l'angle d'incidence sur la lame est petit, trouver l'expression de son décalage d en fonction de i_1 , n_1 , n_2 et e .

Application : on envoie dans l'air, sous une incidence $i_1 = 15^\circ$, un faisceau étroit sur une lame à faces parallèles d'épaisseur $e = 30$ mm. L'observation sur une feuille de papier permet d'imposer l'angle et de mesurer le décalage. On trouve $d = 3,5$ mm.

- 7) Calculer l'indice de la lame.

Exercice 2 : Déviation d'un rayon lumineux par un prisme dans l'air

Un prisme d'indice n , caractérisé par l'angle au sommet A , dévie les rayons lumineux arrivant par sa face d'entrée.



- 1) Placer les différents angles i , i' , r , r' , A et D sur la figure ci-dessus.
- 2) En précisant les propriétés des angles et les triangles utilisés pour votre démonstration, exprimer A en fonction de r et r' .
- 3) De la même manière, exprimer D en fonction de i , i' , r et r' .

Exercice 3 : Calcul d'angles de déviation dans un prisme

On considère un prisme d'indice $n = 1,500$ et d'angle $A = 60,00^\circ$, placé dans l'air.

- 1) Quelles relations permettent de déterminer r , r' , i' et D ?
- 2) Compléter le tableau ci-dessous.

(Commencez par vérifier que vous retrouvez bien une des lignes de résultats.)

i ($^\circ$)	r ($^\circ$)	r' ($^\circ$)	i' ($^\circ$)	D ($^\circ$)
30,00	19,47	40,53	77,10	47,10
40,00	25,37	34,63	58,47	
48,59	30,00			
50,00				
70,00°				

- 3) A partir des valeurs trouvées, donner l'allure du graphe de la déviation D en fonction de i . Cela est-il cohérent avec l'observation faite en TP ?
- 4) Pour le minimum de déviation D_m , quelle remarque peut-on faire au sujet de r et r' , et de i et i' ? (C'est une propriété générale pour un prisme au minimum de déviation.) En déduire la relation entre n , A et D_m .

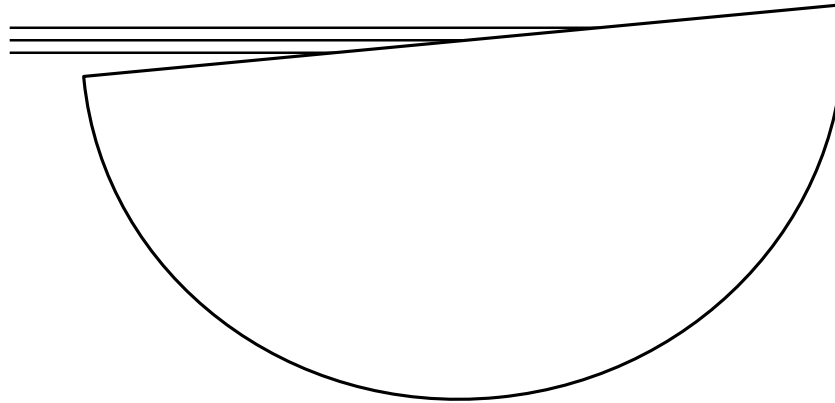
Exercice 4 : Entrée par la face plane du demi-cylindre

Un rayon lumineux entre au milieu de la face plane d'un demi-cylindre d'indice inconnu. L'angle d'incidence i_1 a une valeur quelconque. On note les angles successifs i_2 , i_3 , i_4 .

- 1) Faire un schéma.
- 2) Lorsque i_1 est connu, déterminer les angles i_2 , i_3 , i_4 (rédiger les justifications).
- 3) Un tel rayon est-il dévié (réfracté) à la traversée de la face de sortie du demi-cylindre ? Comparer aux observations faites à ce sujet lors de la séance de TP.

Exercice 5 : Aspect du faisceau émergent aux fortes incidences (facultatif)

Sur le schéma ci-dessous, où $i_1 = 85^\circ$, le faisceau incident parallèle est visualisé grâce à trois de ses rayons : un rayon qui est au milieu du faisceau, et deux rayons qui montrent les deux bords du faisceau. Le rayon du milieu arrive au milieu de la face plane. Chaque rayon va subir sa propre réfraction à chacun des deux dioptries.



- 1) Sur un dessin séparé, rappeler l'allure d'un tel faisceau émergent observé lors du TP.
- 2) Calculer l'angle de réfraction au premier dioptre sachant que l'indice vaut 1,51.
Est-ce la même valeur pour les trois rayons ?
- 3) Sur la figure ci-dessus, faire la construction des trois rayons pour voir comment ils émergent de la face cylindrique (pour les deux rayons limitrophes on procèdera sans calcul, en utilisant la loi des sinus de manière semi-quantitative : repérer quel angle est plus grand que l'autre).

Exercice 6 : Prisme à réflexion totale

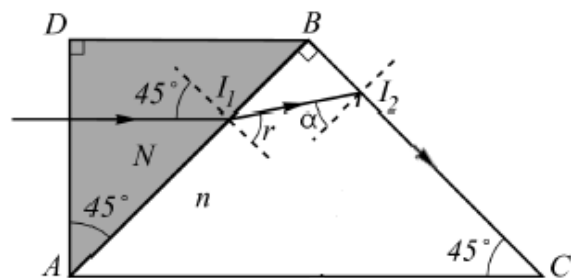
Dans un dispositif optique se trouve un prisme $45^\circ - 90^\circ - 45^\circ$.

Un rayon arrivant dans l'air sur une de ses petites faces, avec une incidence nulle, doit être réfléchi totalement sur la grande face.

- 1) Faire un schéma avec le prisme, la construction du rayon, les différents angles.
- 2) Quelle gamme de valeurs est possible pour l'indice du matériau ?
Aide : se placer d'abord dans le cas d'un matériau dont l'indice aurait juste la valeur frontière, puis examiner le cas de chaque côté de cette frontière.
- 3) Du plexiglas ($n = 1.51$), du verre ($n = 1.47 - 1.74$), de l'eau ($n = 1.33$) peuvent-ils convenir ?

Exercice 7 : Deux prismes accolés

Deux prismes de verre taillés sous forme de triangles rectangles et isocèles, d'indices respectifs N et n ont leur face AB commune (voir schéma ci-contre). Un rayon incident frappe AD sous une incidence normale, se réfracte en I_1 , puis en I_2 avec une émergence de 90° . Le milieu extérieur est l'air d'indice 1.

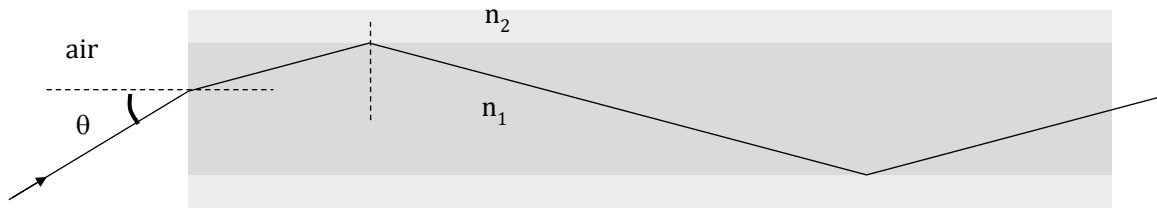


- 1) Ecrire les relations de Snell-Descartes aux points I_1 et I_2 .
- 2) Quelle relation vérifie les angle α et r ?
- 3) Quelle relation vérifie n et N dans ce cas de réfraction limite en I_2 ? Calculer N , r et α quand $n = 1,5$.

- 4) Que se passe-t-il lorsque l'angle α est plus grand que la valeur calculée dans la question précédente ? Faire un schéma du rayon lumineux.

Exercice 8 : Principe d'une fibre optique à saut d'indice

On se réfère au schéma ci-dessous.



Une fibre optique cylindrique, placée dans l'air (indice 1,000) est constituée d'un cœur cylindrique transparent d'axe Ox , de rayon $R_1 = 40 \mu\text{m}$ et d'indice $n_1 = 1,515$, entouré d'une gaine transparente d'indice $n_2 = 1,490$.

- 1) Pour le premier point d'incidence de l'interface cœur/gaine, calculer l'angle d'incidence minimal pour qu'il y ait réflexion totale.
- 2) Montrer que, s'il y a réflexion totale au premier point d'incidence sur l'interface cœur/gaine, il en sera de même à chaque rencontre de la lumière avec l'interface lors de la propagation de la lumière vers la droite (rayon en forme de ligne brisée dans le cœur).
- 3) Montrer que la lumière entrant dans la fibre, sous un angle d'incidence θ pourra être ensuite guidée à condition que θ soit inférieur à une valeur limite θ_0 qu'on calculera littéralement puis numériquement. Déterminer l'expression de $\sin(\theta_0)$ en fonction des indices n_{air} , n_1 , n_2 . (Aide : considérer le cas d'un rayon qui se trouve juste au cas limite.)
- 4) Que se passe-t-il si θ est supérieur à θ_0 ?

Exercice 9 : Modélisation du milieu par une décomposition en couches homogènes (facultatif)

Dans un récipient, on a placé de l'eau additionnée de saccharose (l'eau sucrée a un indice plus élevé que l'eau pure) puis, on a ajouté par le haut de l'eau sans saccharose. Après un certain temps, le milieu est inhomogène avec un indice de réfraction diminuant de façon continue de 1,45 en bas, à 1,33 en haut.

Pour faire une étude simple, on décompose ce milieu en strates horizontales homogènes d'indice décroissant par pas de 0,03 (voir page suivante).

Un rayon arrive par le bas sur le dioptre 1,45/1,42 avec un angle incident de $67,00^\circ$.

- 1) Calculer successivement les angles de réfraction, ou éventuellement de réflexion, en traçant le chemin suivi par la lumière sur le schéma page suivante (effectuer d'abord les calculs dans la colonne de gauche en commençant par l'entrée).

indice	Angle par rapport à la normale (en montée)	Angle par rapport à la normale (en descente)
1,33		
1,36		
1,39		
1,42	$70,04^\circ$	
1,45	$\uparrow 67,00^\circ$	$\downarrow 67,00^\circ$

- 2) La modélisation par strate rend-elle compte de la courbure des rayons et du sens de courbure observé expérimentalement ? Comment faire évoluer ce modèle pour rendre compte d'un rayon réellement courbe ?

1,33	
1,36	
1,39	
1,42	
1,45	

Chapitre 3 : Dioptries sphériques et relation de conjugaison

Exercice 1 : Tracés de rayons pour les deux types de dioptries sphériques

Un dioptre convexe sépare l'air d'un milieu d'indice $n' = 1,5$.

- 1) Représenter ce dioptre à l'échelle 1 avec un rayon $R = 4$ cm.
Sur le schéma, ajouter le centre C et le sommet S.
- 2) On éclaire ce dioptre avec un faisceau parallèle à l'axe : tracer le chemin suivi à travers le dioptre par un des rayons arrivant sur le dioptre en un point I quelconque. Justifier. Le faisceau émergent est-il parallèle, convergent ou divergent ?
- 3) Sur un nouveau schéma, reprendre les questions en échangeant les deux milieux.
- 4) Facultatif : Mêmes questions pour un dioptre concave, de même rayon, séparant les mêmes milieux.

Exercice 2 : Déterminer algébriquement la position d'une image

Une surface sphérique concave de 0,50 m de rayon sépare un milieu d'indice de réfraction 1,2 d'un autre milieu d'indice 1,6. Un objet AB est placé dans le premier milieu, le long de l'axe, à 0,80 m de la surface.

- 1) Déterminer par calcul la position de l'image.
- 2) Est-elle virtuelle ou réelle ? Justifiez.
- 3) Déterminer numériquement la position de chacun des foyers principaux F et F'.
- 4) Construire graphiquement la position de l'image A'B' (sur un dessin à l'échelle 1/20^e par exemple).

Exercice 3 : Application pour un dioptre plan

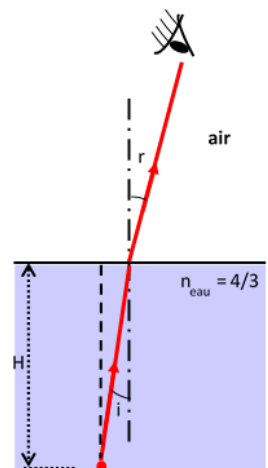
Un objet AB est parallèle et à 10 cm d'un dioptre plan ; du côté de l'objet il y a de l'eau d'indice 1,3 et de l'autre côté il y a de l'air d'indice 1,0.

- 1) Déterminer les caractéristiques de l'image A'B'. Faire un schéma à l'échelle 1.
- 2) Pour un observateur placé dans le milieu d'indice 1,0 l'objet est-il vu plus ou moins gros / plus ou moins près que s'il n'y avait que de l'air ?
- 3) Sur le schéma réalisé précédemment, une construction soignée de rayon lumineux depuis A (ou B) pourrait ne pas passer exactement par A' (ou B'). Pouvez-vous dire dans quels cas ?

Exercice 4 : Piscine et dioptre plan (facultatif)

Une piscine a une profondeur de 1.8 m. L'observateur est situé dans l'air, et regarde verticalement.

- 1) Compléter le schéma ci-contre en faisant apparaître où se trouve la profondeur apparente de la piscine.
- 2) Calculer cette profondeur apparente à l'aide de la relation de conjugaison des dioptries plans.



Exercice 5 : Inclusion d'un objet dans de la résine



On veut réaliser l'inclusion d'une fleur AB dans de la résine d'indice n , avec $n \approx 1,5 = 3/2$.

Le moule donnera à la résine la forme d'un cylindre terminé par une demi-sphère (de type convexe), à travers laquelle on regarde l'objet inclus. La fleur sera placée à l'intérieur de la résine à une distance de 3,0 cm du sommet S de la sphère (de centre C et de rayon R).



On voudrait avoir une image droite 3 fois plus grande que l'objet.

1) Déterminer la position de l'image et sa nature, puis le rayon R^* et faire un schéma à l'échelle 1.

Facultatif : Suite à une erreur dans le choix du moule, le rayon est de 7 mm plus petit.

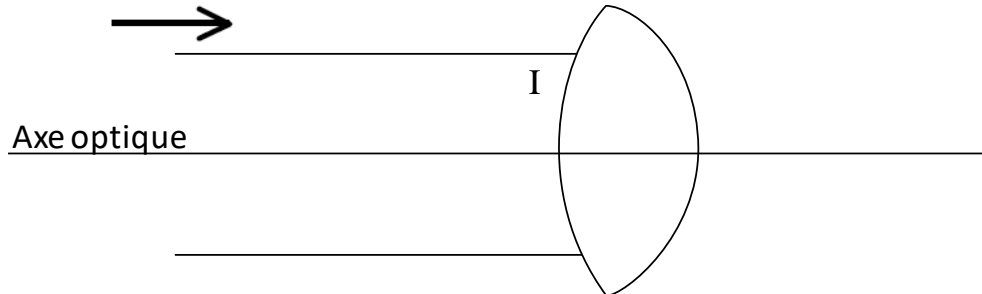
2) La distance \overline{SA} étant inchangée, où se trouvera l'image et quel sera le grandissement ?

3) Faire un schéma. Le changement est-il conséquent ?

Chapitre 4 : Les lentilles minces

Exercice 1 : Faisceau émergent et lentille biconvexe

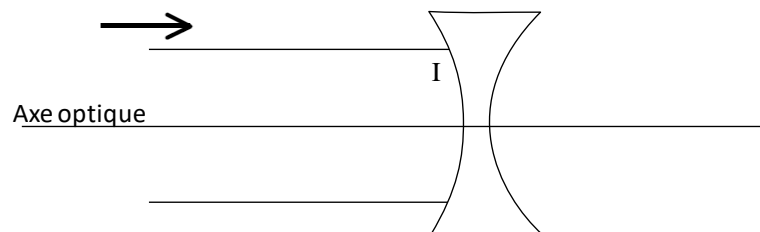
Soit une lentille biconvexe, d'indice $n = 1,5$, délimitée par 2 dioptries sphériques de rayons $R_1 = 3,5$ cm et $R_2 = 2,5$ cm.



- 1) Sur le schéma en coupe ci-dessus, ajouter sur l'axe optique, les deux centres C_1 et C_2 des deux surfaces sphériques, ainsi que leurs sommets S_1 et S_2 .
La lentille reçoit un faisceau parallèle.
- 2) Tracer le chemin suivi à travers la lentille par le rayon arrivant en I, en tenant compte qualitativement de la loi de la réfraction.
- 3) Qu'en est-il du rayon du bas du faisceau ? et de celui situé sur l'axe optique ?
- 4) Le faisceau émergent est-il parallèle, convergent, ou divergent ?

Exercice 2 : Faisceau émergent et lentille biconcave

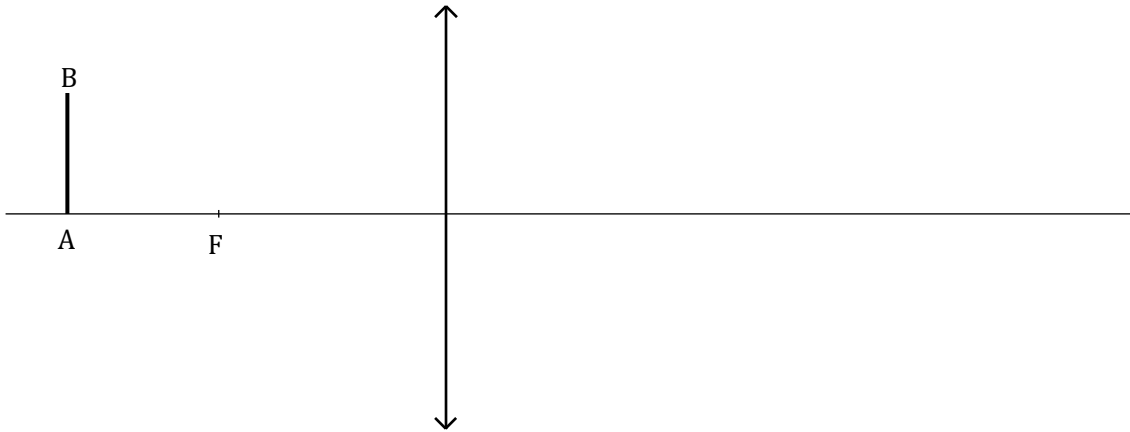
Une lentille biconcave, d'indice $n = 1,5$, est délimitée par 2 dioptries sphériques de rayons $R_1 = 3,5$ cm et $R_2 = 2,5$ cm.



- 1) Mêmes questions que l'exercice 1.
- 2) Ces résultats sont-ils conformes aux observations faites lors de la séance de TP ?
- 3) Facultatif : Que se passe-t-il dans le cas où les indices sont inversés, $n_{\text{ext}} = 1,5$ et $n_{\text{lentille}} = 1$ par exemple) ?
Conclure sur la caractéristique de convergence ou divergence des faisceaux.

Exercice 3 : Construction de l'image d'un objet AB par une lentille convergente

On considère une lentille convergente de foyers F et F' et un objet AB orthogonal à l'axe optique, où A est sur l'axe.



- 1) A partir des mesures (en mm) de \overline{OA} et \overline{OF} , calculer $\overline{OA'}$ pour positionner l'image A' de A.
- 2) Tracer
 - le rayon qui passe par B et qui est parallèle à l'axe optique,
 - le rayon qui passe par B et qui passe par F.
- 3) En déduire graphiquement la position de l'image B' de B.
- 4) Tracer le rayon issu de B passant par O : sachant qu'il doit passer par B', est-il dévié par la lentille ?
- 5) Que peut-on dire de la direction et du sens de l'image A'B' par rapport à l'objet AB ?
- 6) A partir des constructions précédentes, montrer que :
$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

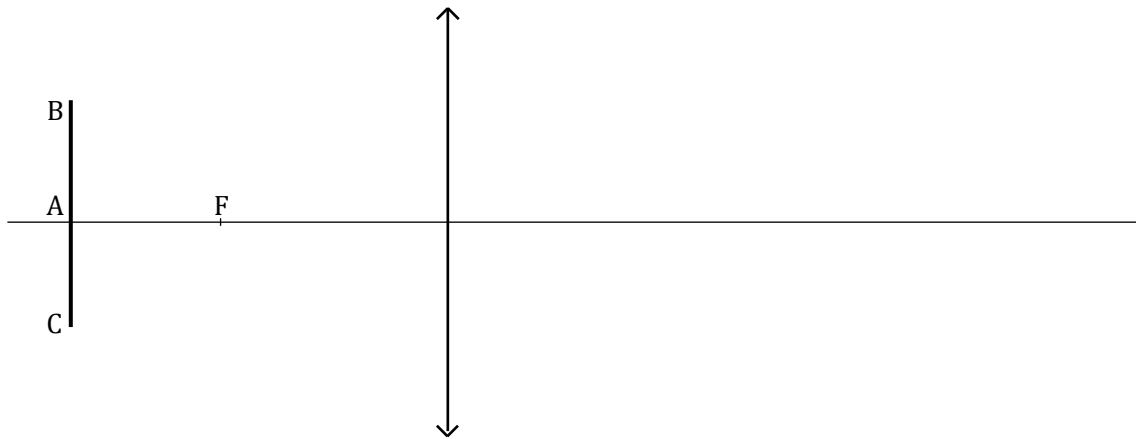
Exercice 4 : Construction de l'image d'un objet AB par une lentille divergente

On considère une lentille divergente de centre O, de focale - 6 cm et un objet AB de 2 cm de hauteur. On considérera successivement les deux cas suivants : (a) $\overline{OA} = -11$ cm et (b) $\overline{OA} = 4$ cm.

- 1) Pour chaque cas, tracer les trois rayons particuliers pour trouver l'image A'B' de l'objet AB. Préciser la nature réelle/ virtuelle de l'objet et de l'image.
- 2) En utilisant les relations de conjugaison et de grandissement, calculer la position et le grandissement de l'image dans les deux cas. Est-ce cohérent avec vos schémas ?

Exercice 5 : Lentille partiellement occultée (facultatif)

Sur ce schéma l'objet est réel et perpendiculaire à l'axe.



- 1) Tracer les 3 rayons utiles pour les points B et C. Marquer les points-images B', C', A'.
Pour observer l'image, on place usuellement un écran dans le plan image.
- 2) Si, de plus, on plaque une **feuille opaque** contre la **moitié basse de la lentille**, quels rayons atteignent encore l'écran ?
- 3) En déduire quelle partie de l'image est encore visible sur l'écran.
- 4) Quelle autre caractéristique de l'image doit être affectée ?
- 5) Est-ce cohérent avec les observations de la séance de TP ?

Exercice 6 : Applications de formules pour les lentilles minces

Soit une lentille biconcave d'indice 1,65, limitée par des dioptries de rayons 4 cm et 6 cm.

- 1) Faire un schéma en tenant compte des informations.
- 2) Calculer la longueur focale de cette lentille.
On rappelle qu'on appelle *vergence* le membre de droite de la relation de conjugaison.
- 3) Calculer la vergence V de cette lentille (en dioptries).

Exercice 7 : Influence de la position de l'objet par rapport à la lentille (facultatif)

On considère une lentille mince portant la mention + 20 cm.

On envisage trois cas possibles pour la valeur de la distance algébrique \overline{OA} :

a) - 10 cm b) - 60 cm c) - 20 cm.

- 1) De quel côté de la lentille se trouve l'objet A dans les différents cas ?
- 2) Calculer la position de l'image A' du point objet dans chacun des trois cas.
- 3) Calculer le grandissement transversal dans les trois cas.
- 4) Dans chaque cas, faire un schéma (axe optique, O, la lentille, F, et F') à l'échelle, et construire graphiquement l'image A'B'.

Chapitre 5 : Introduction aux instruments d'optique

Exercice 1 : Œil myope (facultatif)

On considère un œil myope dont le *punctum remotum* (le point le plus éloigné que l'œil puisse voir net sans accommoder) se situe à 26 cm. L'objet considéré est à l'infini.

- 1) On place à 1 cm du cristallin un verre correcteur. Quelle doit être la vergence de ce verre pour que la personne myope voie l'objet sans avoir à accommoder ? Déduisez-en la nature de la lentille constituant le verre correcteur.
- 2) Même question dans le cas d'une lentille de contact (on considère alors que la distance entre l'œil et le dioptré correcteur vaut 0 cm).

Exercice 2 : Grossissement commerciale d'une loupe (facultatif)

- 1) Quel est le plus grand angle (en degré) sous lequel peut être vu un objet de 1cm par un œil emmétrope ? Faire un schéma. Quelle est la conséquence physiologique pour l'œil ?
- 2) A quelle position d'une lentille convergente faut-il placer un objet pour qu'il soit vu sans effort par l'œil placé après ? Faire un schéma.
- 3) Pour une lentille de vergence $V = + 20 \text{ δ}$, sous quel angle l'objet est-il vu et que vaut le grossissement commercial de la loupe ?
- 4) L'approximation des petits angles est-elle utilisable ?

Exercice 3 : Projection par une lentille

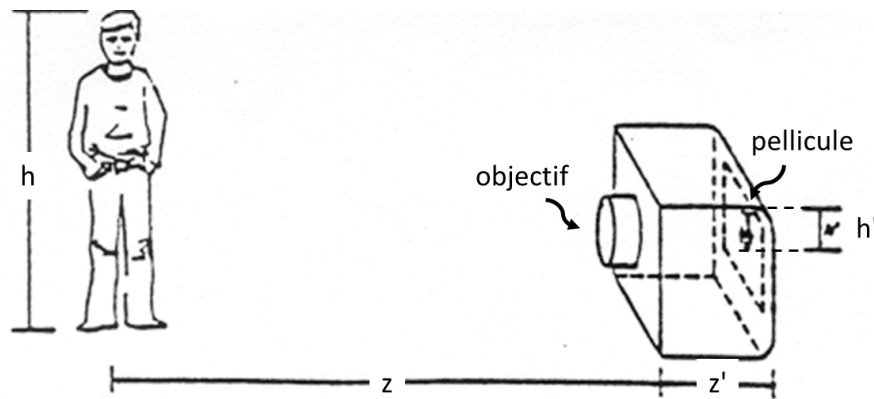
On veut former, avec une lentille, une image d'un objet 3 fois plus grande et inversée sur un écran.

- 1) Montrer que la lentille est nécessairement une lentille convergente en raisonnant sur le signe des différents termes de la relation de conjugaison.
- 2) L'écran est situé à 48 cm de l'objet. Où faut-il précisément placer la lentille ?
- 3) Combien doit valoir la distance focale de la lentille ?
- 4) Faire un schéma en indiquant toutes les distances connues.

Exercice 4 : Mise au point et distance focale d'un objectif photo

Un appareil photo a un objectif de focale + 0,1 m. Cet objectif est assimilé à une lentille mince convergente.

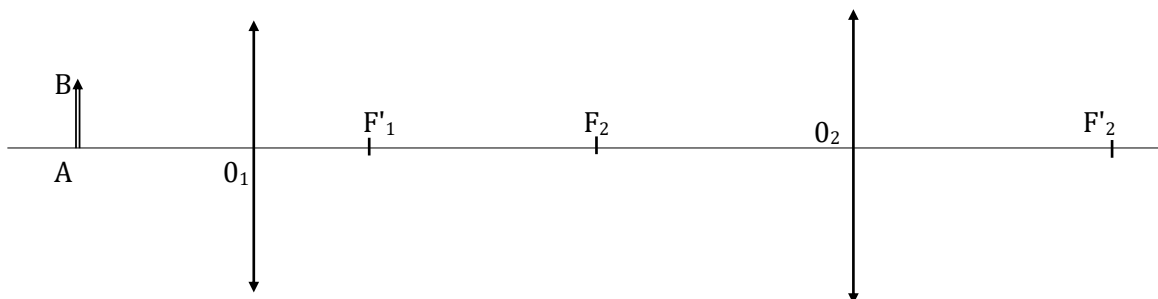
- 1) Si l'appareil est mis au point sur un enfant qui se tient à $z = 2 \text{ m}$ de l'objectif, quelle doit être la distance z' entre l'objectif et la pellicule ?
- 2) Si l'enfant mesure $h = 1 \text{ m}$, quelle est la taille de son image h' sur la pellicule ? Est-elle droite ou inversée par rapport à l'enfant ? (Attention aux distances algébriques)



- 3) On change l'objectif de l'appareil photo pour un nouvel objectif de distance focale 54 mm. Cet objectif permet la mise au point d'objets situés entre l'infini et 80 cm. Entre quelles valeurs limites la distance z' objectif - pellicule varie-t-elle ?

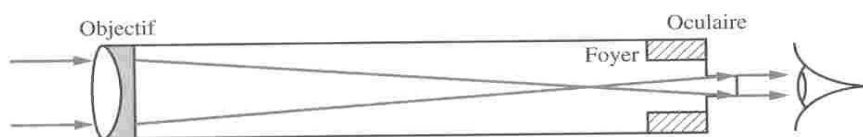
Exercice 5 : Microscope

Soit un microscope schématisé ainsi :



- 1) Tracer soigneusement les rayons issus de B qui permettent de trouver B'.
- 2) Tracer les rayons issus de B' qui permettent de trouver B''.
- 3) Pour un microscope caractérisé par un objectif de focale 5 mm et un oculaire de 25 mm tel que $F'_1F_2 = 25$ cm, déterminer la distance AO_1 permettant une vision sans effort pour l'observateur.
Aide : la situation correspond au schéma précédent ; déterminer les distances le long de l'axe en partant de l'oculaire.

Exercice 6 : Lunette d'observation afocale



- 1) D'après le schéma ci-dessus, justifier l'expression "afocal" pour un tel instrument.
- 2) Sachant que dans le cas d'une lunette, l'objectif a une distance focale plus grande que celle de l'oculaire, schématiser une lunette afocale constituée de deux lentilles convergentes : une de 2,5 cm de focale et l'autre de vergence + 10 δ.
- 3) Tracer la marche de deux rayons parallèles peu inclinés par rapport à l'axe.
- 4) Indiquer où se trouve l'image vue par l'œil.

PARTIE ANNEXES

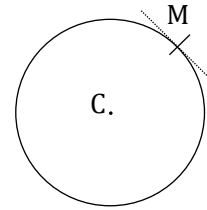
Annexe A – Mathématiques nécessaires pour l'optique géométrique

A faire hors TD

Droite perpendiculaire à un cercle

Une droite qui coupe un cercle perpendiculairement en un point M passe par le centre C du cercle. La droite est le long du rayon CM du cercle.

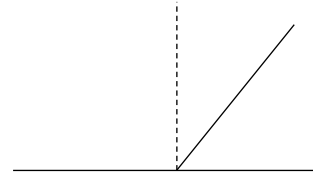
☞ La tracer.



Vocabulaire pour différents angles

Angle complémentaire, angle supplémentaire d'un angle donné :

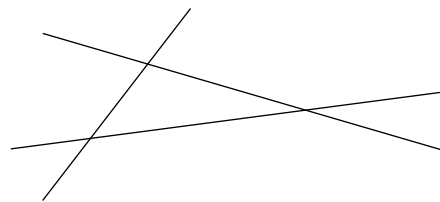
☞ Choisir un angle et nommer les deux autres.



Egalités avec droites sécantes

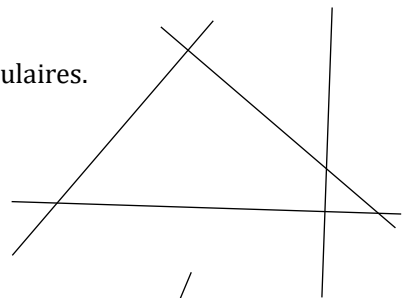
- Les angles opposés par le sommet sont égaux.

☞ Appliquer cela à la figure ci-contre.



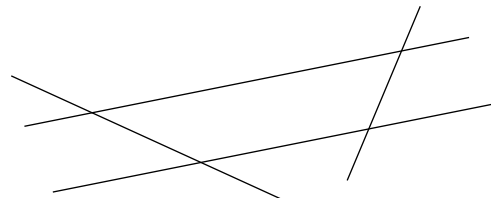
- si deux droites ont chacune une droite perpendiculaire, L'angle entre les deux droites est égal à l'angle entre leurs droites perpendiculaires.

☞ Faire apparaître une telle égalité ci-contre



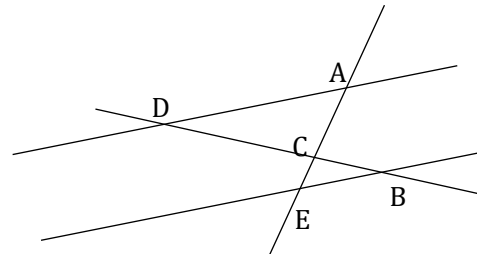
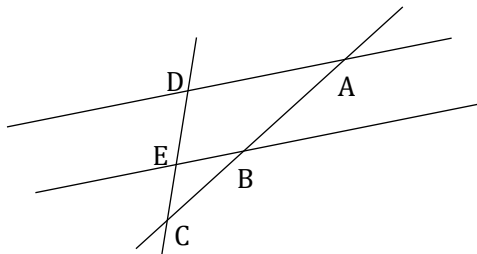
- Quand une droite coupe deux droites parallèles, les angles alternes-internes sont égaux.

☞ Ci-contre, montrer deux tels angles



- Théorème de Thalès

Quand deux droites coupent deux droites parallèles, certains segments sont dans des rapports égaux.

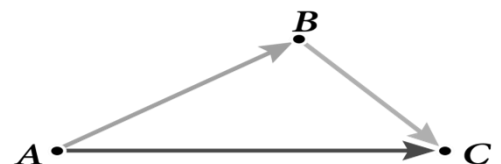


☞ Ecrire de tels rapports pour les cas ci-dessus :

Relation de Chasles

Soient \vec{AB} et \vec{BC} deux vecteurs, alors $\vec{AB} + \vec{BC} = \vec{AC}$

Conversion degrés / radians



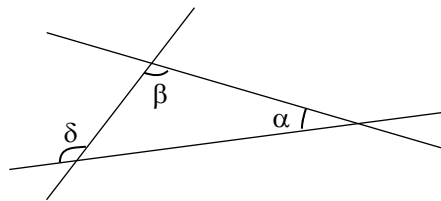
Selon l'unité cherchée, le facteur de conversion vaut $\pi / 180$ (pour trouver X en °) ou $180 / \pi$ (pour trouver Y en radians). Notez que la valeur de l'angle en radians est plus petite que celle obtenue en degrés.

Angle (°)	Angle (radians)
180	Π
X	Y

Triangle quelconque

La somme des angles vaut $180^\circ = \pi$ radians

☞ Application : exprimer l'angle δ , en fonction de α et β

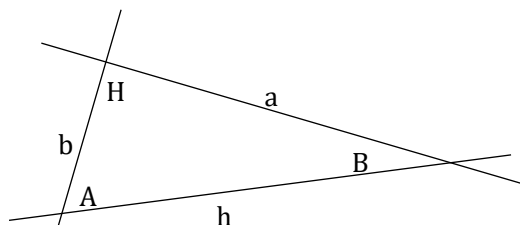


Triangle rectangle

Théorème de Pythagore : $h^2 = a^2 + b^2$

☞ Compléter les définitions des fonctions trigonométriques :

$\sin(A) = \dots$ $\cos(A) = \dots$ $\tan(A) = \sin(A)/\cos(A) = \dots$



Trigonométrie

• Valeurs remarquables

$$\sqrt{2} \approx 1,414$$

$$\sqrt{2}/2 \approx 0,707$$

$$\sqrt{3} \approx 1,732$$

$$\sqrt{3}/2 \approx 0,866$$

x (en degré)	0	30°	45°	60°	90°
x (en rad)	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$
sin x	0	1/2	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{3}/2$	1
cos x	1	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{2}/2$	1/2	0

☞ Que remarque-t-on pour les valeurs remarquables de sinus et cosinus ?

• Relations entre fonctions trigonométriques

$$\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$$

$$\sin(-\alpha) = -\sin(\alpha)$$

$$\cos(-\alpha) = \cos(\alpha)$$

$$\sin(\pi - \alpha) = \sin(\alpha)$$

$$\cos(\pi - \alpha) = -\cos(\alpha)$$

$$\sin(\pi/2 - \alpha) = \cos(\alpha)$$

$$\cos(\pi/2 - \alpha) = \sin(\alpha)$$

$$\sin(\pi/2 + \alpha) = \cos(\alpha)$$

$$\cos(\pi/2 + \alpha) = -\sin(\alpha)$$

☞ Retrouver les égalités précédentes par le cercle trigonométrique

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin(\alpha) \cos(\beta) + \sin(\beta) \cos(\alpha) \quad \rightarrow \sin(2\alpha) = 2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta) \quad \rightarrow \cos(2\alpha) = \cos^2(\alpha) - \sin^2(\alpha) = 2\cos^2(\alpha) - 1 = 1 - 2\sin^2(\alpha)$$

Calculs algébriques

☞ Exprimer l'inverse de $\left(\frac{a}{b} + \frac{c}{d}\right)$; est-ce $\left(\frac{b}{a} + \frac{d}{c}\right)$?

Calculer $\left(\frac{5}{9} + \frac{11}{8}\right)$ puis son inverse

Groupe TD _____

Nom : _____

Prénom : _____

Devoir n°1 d'optique géométrique, 15 novembre 2021

Durée : 1h30

Pas de document autorisé, calculatrices collègues autorisées

Pensez à inscrire votre nom et votre numéro de groupe de TD sur la copie,
et À RENDRE LE SUJET AVEC LA COPIE.

Questions de cours

1. Donner les lois de la réfraction et de la réflexion. Faire des schémas légendés en explicitant les notations utilisées.
2. Décrire le phénomène de réflexion totale. Le schéma annoté de la situation ainsi que l'expression littérale de l'angle d'incidence limite est demandée.

Exercice 1 : A propos des travaux pratiques

Vous avez observé en TP plusieurs phénomènes. Pour chaque proposition suivante, indiquez si elle est vraie ou fausse en le justifiant.

1. Lorsqu'un faisceau laser se propage dans une cuve transparente contenant de l'eau sucrée et de l'eau pure alors sa trajectoire est courbe.
2. Quand un rayon lumineux entre de façon normale par le centre de la face plane d'un demi-cylindre en verre alors il est dévié.
3. Un demi-cylindre disperse la lumière blanche.
4. Lorsque l'on occulte la moitié du disque d'entrée d'un faisceau de fibres optiques alors on observe que l'intensité de la lumière en sortie de toutes les fibres diminue à moitié.

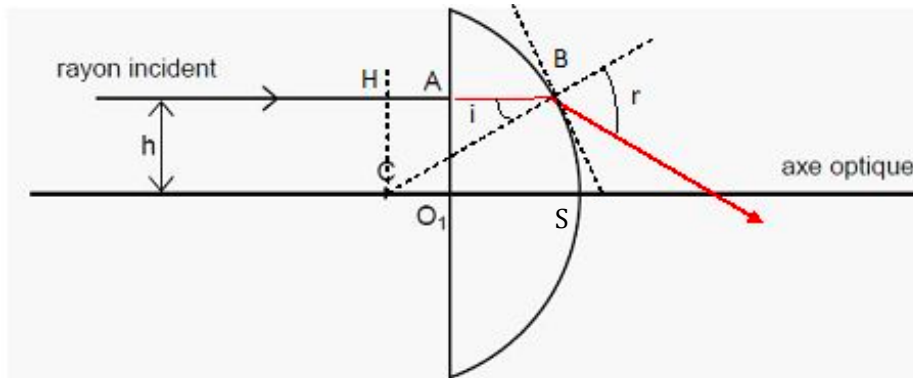
Exercice 2 : Réfraction simple/ indice de réfraction.

1. Rappeler la définition de l'indice de réfraction n d'un milieu transparent quelconque.
2. Un rayon lumineux arrive sur une surface réfringente plane, séparant l'air d'un autre milieu transparent, sous une incidence de 60° . Quelle sera la valeur de l'indice de réfraction de ce milieu si l'angle de réfraction subi par le rayon lumineux vaut 45° ?

Exercice 3 : un demi cylindre

On considère un demi-cylindre (plan convexe) en verre, d'indice de réfraction n , placé dans l'air. Le dioptré d'entrée est plan. Le dioptré de sortie est sphérique, de rayon $R = CS$ avec C , le centre du dioptré sphérique et S , le sommet (point de concours du dioptré sphérique avec l'axe optique). Le point O_1 est le point d'intersection du dioptré plan avec l'axe optique.

Un faisceau lumineux incident, assimilé à un rayon de lumière, arrive parallèlement à l'axe optique sur le dioptré plan en un point A . Ce rayon et l'axe optique sont séparés d'une distance h . Le schéma ci-dessous est réalisé sans souci d'échelle. On prendra comme indice de réfraction $n = 1,5$ et comme rayon $R = 6 \text{ cm}$.



1. Exprimer l'angle d'incidence i au point B en fonction de h et de R .
2. Exprimer l'angle de réfraction r en fonction de n , n_{air} , h et R .
3. Exprimer puis calculer l'angle d'incidence limite i_{lim} au-delà duquel la réfraction ne se produit plus.
4. En déduire la hauteur h du rayon incident au-delà de laquelle il y a réflexion totale dans le demi-cylindre en fonction de n , n_{air} et R , calculer sa valeur.

Exercice 4 : Fibre optique

Un faisceau laser se propageant dans l'air pénètre dans une fibre optique sous une incidence $i_1 = 10^\circ$ (voir schéma ci-dessous ; **Attention ! Les angles NE SONT PAS respectés sur ce schéma**). Cette fibre optique est constituée d'un cœur et d'une gaine de matériaux différents et d'indices différents.

1. L'indice du cœur de la fibre est $n_c = 1,48$. Calculez l'angle de réfraction i_2 .
2. Que vaut l'angle d'incidence noté i_3 , au point M ? Schématiser i_3 sur le schéma.
3. L'indice de la gaine est $n_g = 1,46$. Obtient-on un faisceau réfracté dans la gaine ? Justifiez votre réponse en comparant i_3 avec l'angle limite correspondant et précisez de quel phénomène il s'agit.

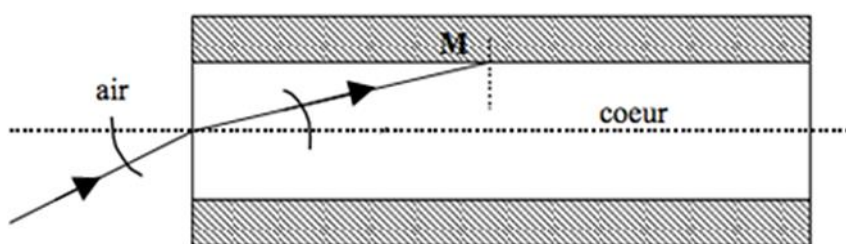
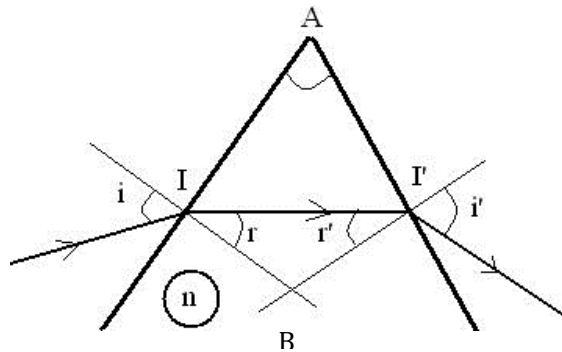


Schéma de la fibre optique

Exercice 5 : Etude d'un prisme

Soit un prisme d'angle au sommet \hat{A} (voir la figure ci-dessous) et fabriqué dans un verre d'indice de réfraction n . Il est placé dans l'air.

Remarque : En cas d'utilisation d'une lettre pour un sommet et pour un angle (pour le sommet du prisme par exemple), on notera les angles : \hat{A} (s'il n'y a pas d'ambiguïté) ou $\widehat{IAI'}$ en cas d'ambiguïté.



1. Établir les relations entre :

- i et r ,
- i' et r' ,
- r, r' et \hat{A} .

2. Représentez graphiquement la déviation D subie par rayon lumineux traversant le prisme sur le schéma ci-dessus.

Établir son expression en fonction de i, i' et \hat{A} .

3. Calculer la valeur maximum de l'angle de réfraction au point I' pour qu'un faisceau émerge du prisme. Justifier soigneusement votre raisonnement.

4. On éclaire ce prisme avec une lumière blanche.

- Quel est le phénomène observé à la sortie du prisme ? (Vos explications seront complétées par un schéma).
- Quelle est la couleur la plus déviée ? La moins déviée ?

Exercice BONUS : Influence de la longueur d'onde

Un rayon incident se déplaçant dans l'air tombe sur une des faces planes d'un bloc de quartz en formant un angle de 30° avec la normale au point d'incidence. Le faisceau comprend deux longueurs d'onde : 400 nm et 500 nm. L'indice de réfraction du quartz pour ces longueurs d'onde vaut respectivement 1,4702 et 1,4624.

Calculer l'angle formé entre eux par les deux faisceaux réfractés.

Devoir n°2 d'optique géométrique, 13 décembre 2021

Durée : 1h30

Pas de document autorisé, calculatrices collègues autorisées
Pensez à inscrire votre nom et votre numéro de groupe de TD sur la copie,
et À RENDRE LE SUJET AVEC LA COPIE.

Pour tous les schémas :

vous utiliserez la convention suivante : traits pleins pour les rayons lumineux réels, traits pointillés pour les rayons virtuels. La lumière se propage de la gauche vers la droite.

Questions de cours

- 1/ Donner la définition ainsi que la formule du grandissement. Que pouvez-vous déduire d'un grandissement égal à $-0,75$? et à $+4$?
- 2/ Soit un rayon arrivant de façon non normale sur un prisme. Faites le schéma du trajet suivi par ce rayon jusqu'au rayon émergent en justifiant toutes les étapes. Rappeler, sans démonstration, ce que valent les angles A et D en utilisant les notations de votre schéma.

Exercice 1 – Relation de conjugaison d'une lentille mince

- 1/ Une lentille mince est composée de deux dioptries sphériques. En faisant l'hypothèse que les sommets S_1 et S_2 des deux dioptries sont confondus avec le centre de la lentille O, vous devez montrer que la formule de conjugaison d'une lentille mince peut s'écrire :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = (n - 1) \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right)$$

Avec : n l'indice du matériau composant le verre de la lentille, C_1 le centre du premier dioptre sphérique et C_2 le centre du second dioptre sphérique.

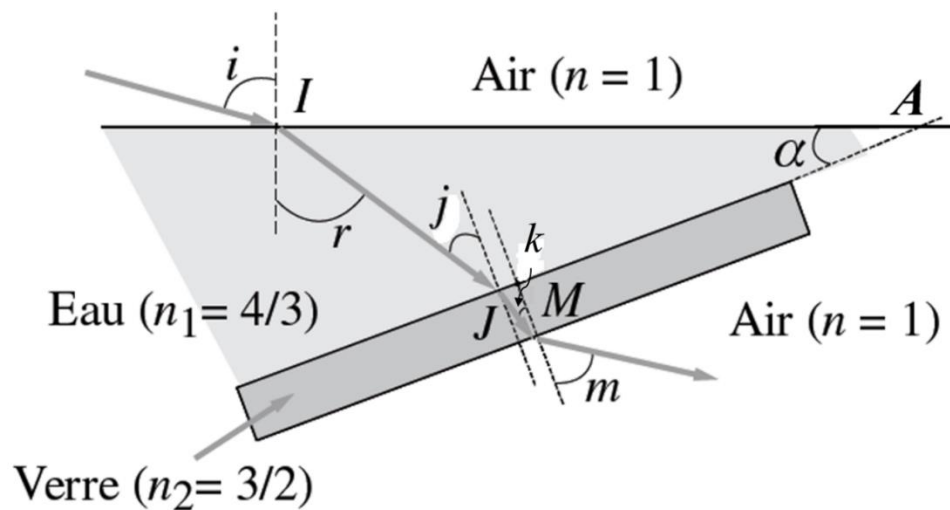
- a) Commencer par rappeler la formule de conjugaison d'un dioptre sphérique.
- b) Appliquer cette formule aux deux dioptries sphériques constituant la lentille et trouver la formule demandée.

- 2/ On considère une lentille mince biconcave en verre d'indice $n=1,5$ possédant une première surface de rayon de courbure de 4 cm et une deuxième surface de rayon de courbure de 12 cm.

- a) Donner les valeurs de $\overline{OC_1}$ et $\overline{OC_2}$.
- b) Déterminer la vergence et la distance focale de la lentille.

Exercice 2 – Vitre d'un masque de plongée

Un observateur sous-marin voit le paysage (terrestre) à travers la vitre de son masque de plongée considérée comme une lame à faces planes d'indice $n_2 = 3/2$. Cette vitre est placée sous l'eau (d'indice $n_1 = 4/3$) comme l'indique la figure. I, J et M sont des points d'incidence. i, r, j, k et m sont des angles.



- 1/ On admet que le plongeur peut percevoir les rayons dont l'angle m est inférieur à 60° . Quelle condition cela impose-t-il sur k ?
- 2/ En déduire la condition que doit vérifier j pour que le plongeur perçoive les rayons.
- 3/ Quelle relation vérifient r, j et α ?
- 4/ L'observateur peut-il voir un rayon incident si $i = 20^\circ$ et $\alpha = 10^\circ$?

Exercice 3 – Lentille

Le schéma suivant est reproduit en annexe 1:



- 1/ En utilisant les 3 rayons particuliers, déterminer graphiquement la position du centre optique O, des foyers objet F et image F'. Schématiser la lentille en utilisant le symbole correspondant à sa nature.
- 2/ Tracer la marche d'un rayon quelconque issu de B et passant par B'.

Exercice 4 – Association de deux lentilles

Soit une bougie de 3 cm placée à 16 cm devant une lentille (nommée L1 et de centre O_1) de focale -8 cm. On place derrière cette lentille, à 2 cm, une seconde lentille (nommée L2 et de centre O_2), de focale + 4 cm.

1/ En utilisant l'annexe 2 fournie, trouvez graphiquement la position de l'image finale donnée par l'association des deux lentilles. Aide : décomposez votre schéma en trouvant d'abord l'image de l'objet par la 1^{ère} lentille puis par la seconde lentille.

2/ Calculez la position de l'image intermédiaire donnée par la 1^{ère} lentille puis de l'image finale donnée par la 2^{nde} lentille. Est-ce cohérent avec votre schéma ? Justifiez.

3/ Sachant que le grandissement du système est donné par le produit des deux lentilles individuelles, calculez ce grandissement. Est-ce cohérent avec votre schéma ? Justifiez.