

Physique expérimentale Optique

Exercices

Université Paris–Saclay, UFR des Sciences d'Orsay

Année 2026–2027, L1–Semestre 1 et 2
MPC-MP, MPC-PC et LDD associées



Table des matières

1	Exercices du chapitre 1 : Les bases de l'optique	3
1.1	Temps de parcours de la lumière	3
1.2	Indice de réfraction, propagation et vitesse de la lumière	3
1.3	Longueur d'onde dans un milieu d'indice $n > 1$	3
1.4	Tracé de rayons au niveau d'un dioptre	4
1.5	Réflexion totale au niveau d'un dioptre	4
1.6	Réfringence	5
1.7	Réflexion et réfraction	5
1.8	Réfractions successives par un prisme	6
1.9	Détecteur de pluie	8
1.10	Fibre optique à saut d'indice	9
2	Exercices du chapitre 2 : Images optiques	11
2.1	Systèmes optiques : nature image, objet	11
2.2	Construction des images par un miroir (cours chapitre 2 partie 2-3-d)	12
2.3	Miroir sphérique : application de la relation de conjugaison et construction	12
2.4	Miroir sphérique : construction et caractérisation d'une image	12
2.5	Miroir concave	13
2.6	Objets/images réel(le)s/virtuel(le)s avec un miroir plan	13
2.7	Où le pêcheur voit-il le poisson ?	14
2.8	Stigmatisme rigoureux	17
3	Exercices du chapitre 3 : Lentilles, œil	19
3.1	Cours/constructions Chp 3, 1.5(d) : Image d'un objet réel par une lentille convergente ou divergent	19
3.2	Image d'un objet virtuel par une lentille convergente ou divergente	19
3.3	Vision à l'aide d'une loupe	20
3.4	Lentilles minces	21
3.5	Lentille convergente	21
3.6	Système de deux lentilles minces accolées	22
3.7	Association de deux lentilles minces convergentes non accolées	22
3.8	Correction d'un œil myope : écart de correction entre lunettes et lentilles	24
3.9	Système optique afocal : la lunette de Galilée	25
3.10	Pouvoir séparateur de l'œil	28
4	Exercices du chapitre 4 : Spectroscopie et couleurs	29
4.1	Spectre émission, réflexion, transmission	29
4.2	Couleurs de la lumière	30
4.3	Couleurs de drapeaux	30
4.4	Dispersion par un prisme (correction question poly. de cours chapitre 4 partie 2-b)	31

4.5	Dispersion par un prisme	31
4.6	Fabrication d'une lumière blanche à partir de diodes électroluminescentes	33
5	Exercices de l'annexe B : Mesures physiques, incertitudes et modélisation	35
5.1	Incertitude relative	35
5.2	Volume d'une bille	35
5.3	Incertitude sur le sinus d'un angle	35
5.4	Incertitude sur une grandeur mesurée indirectement	35
5.5	Puissance dissipée dans une résistance électrique	36

Exercices du chapitre 1 : Les bases de l'optique

Assimilation du cours

1.1 Temps de parcours de la lumière

1. Temps mort entre deux téléphones cellulaires

Deux personnes discutent entre elles via leurs téléphones cellulaires. Chaque téléphone cellulaire envoie ces informations sous forme d'ondes électromagnétiques à un satellite en orbite géostationnaire, c'est-à-dire à une altitude de 36000 km. On suppose ici que les deux personnes sont séparées d'une distance négligeable devant la distance entre la surface de la Terre et le satellite. Quel est le temps mort, c'est-à-dire le temps entre le moment où la personne commence à parler et où son interlocuteur commence à entendre la phrase prononcée ?

2. Distance Terre-Lune

En 1969, lors de la mission Apollo XI, Neil Armstrong et Edwin Aldrin ont déposé, à la surface de la Lune un réflecteur laser. Ce réflecteur laser permet de renvoyer vers la Terre des faisceaux d'impulsions laser tirés de centre d'études comme le CERGA près de Grasse ou la station Mac Donald au Texas. Une impulsion laser est un signal lumineux très bref. On mesure avec une grande précision la durée mise par cette impulsion pour effectuer un aller-retour Terre-Lune. Lors d'un tir d'impulsion laser, le temps de parcours d'une impulsion pour un aller-retour Terre-Lune est 2,65 s. Déterminer la distance Terre-Lune au moment de la mesure.

1.2 Indice de réfraction, propagation et vitesse de la lumière

1. Quelle est la relation entre l'indice n d'un milieu, la vitesse v de propagation d'une onde électromagnétique dans ce milieu, et la vitesse c de l'onde dans le vide ?

2. Choisir la ou les bonne(s) réponse(s)

La lumière se propage dans le vide :

- (a) Comme le son ?
- (b) Avec une vitesse plus grande que si elle se propageait dans l'eau ?
- (c) A la vitesse de 300000 m/s ?
- (d) La lumière n'a pas besoin de support matériel pour se propager ?

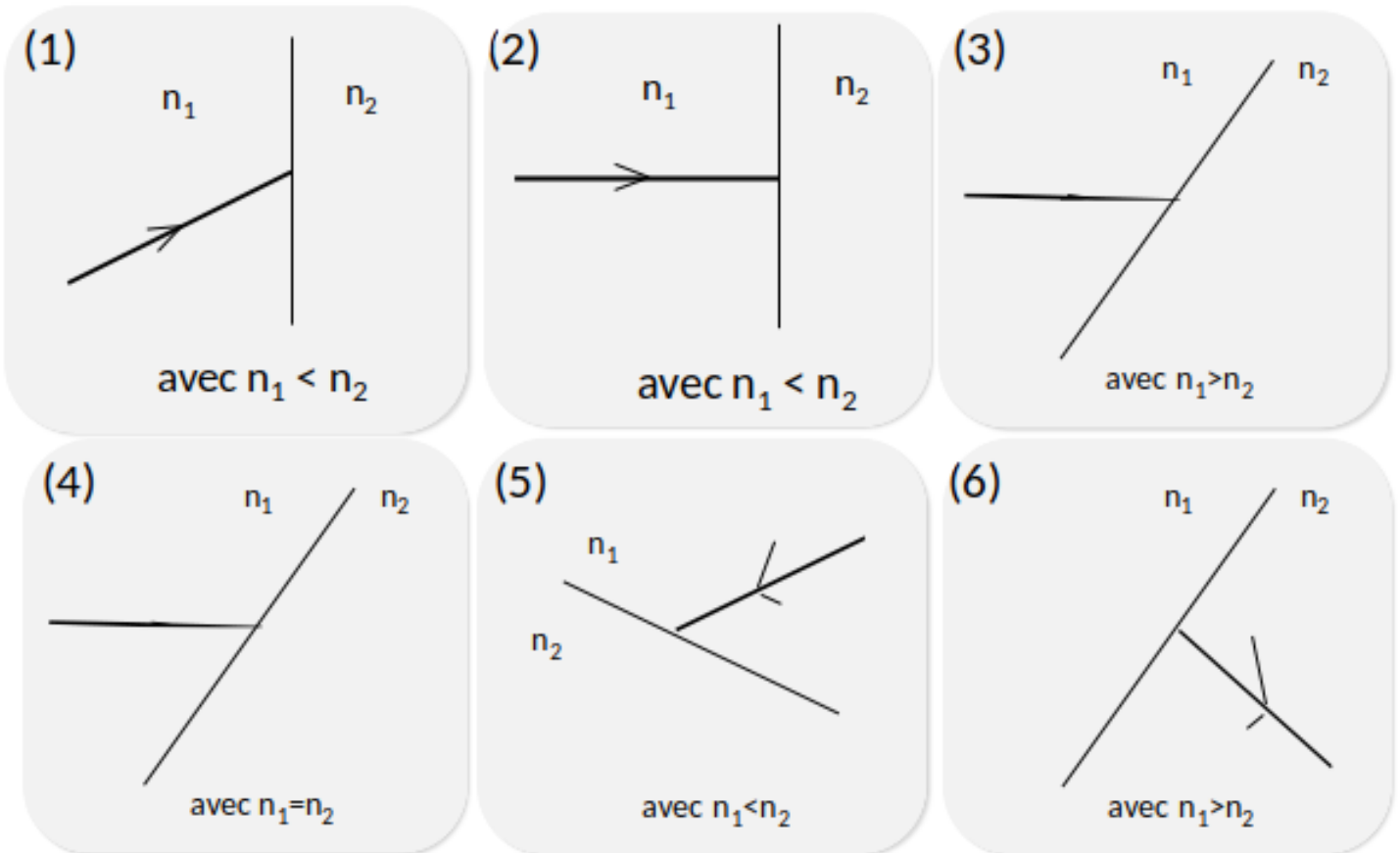
1.3 Longueur d'onde dans un milieu d'indice $n > 1$

Le maillot de bain rouge que porte une personne réfléchit principalement, dans l'air, une longueur d'onde de 750 nm. On rappelle que, quand on parle de longueur d'onde associée à une couleur, on se réfère en fait à la longueur d'onde dans le vide, λ_0 .

1. Quelle est la relation qui relie la longueur d'onde λ dans un matériau d'indice n et la longueur d'onde dans le vide, notée traditionnellement λ_0 ?
2. L'indice de l'air n_{air} étant pratiquement égal à 1, justifier le fait que la longueur d'onde dans l'air est assimilée à la longueur d'onde dans le vide λ_0 , On note donc $\lambda_0 = 750 \text{ nm}$.
3. L'indice de l'eau n_{eau} étant de 1,33, calculer la valeur de longueur λ d'onde dans l'eau.
4. Comment explique-t-on que la couleur du maillot soit perçue comme identique, qu'il soit vu dans l'air ou sous l'eau ?

1.4 Tracé de rayons au niveau d'un dioptre

1. Compléter les schémas suivants. On justifiera en détail la position du rayon réfracté pour les cas 1 et 3 et on donnera ensuite simplement les positions des rayons réfléchis et réfractés pour les suivants. Sur chaque schéma, repérer la déviation D du rayon incident.



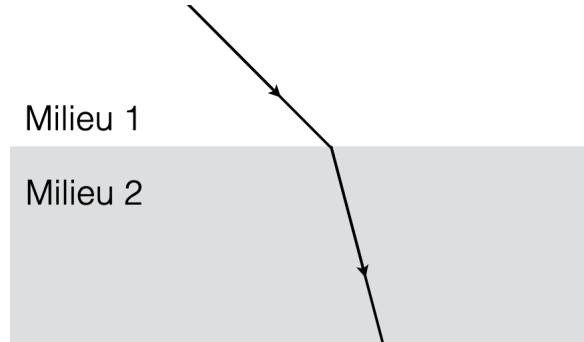
1.5 Réflexion totale au niveau d'un dioptre

1. Une lampe est immergée dans un bassin rempli d'un liquide d'indice $n_L = 1,52$. La surface du liquide avec l'air (d'indice 1,00) forme un dioptre plan sur lequel un rayon lumineux

provenant de la lampe est incident. À partir de quel angle d'incidence i_{lim} ce rayon lumineux est-il totalement réfléchi ? Consigne : La valeur de cet angle est attendue en degré au centième de degré près.

1.6 Réfringence

1. Un rayon incident se propage dans le milieu 1 et est réfracté en passant dans le milieu 2 comme indiqué sur le schéma ci-dessous :



Quel est le milieu le plus réfringent ?

1.7 Réflexion et réfraction

1. Un rayon arrive sur un dioptre avec un angle d'incidence j dans le milieu A et est réfracté lors du passage dans le milieu B . L'indice du milieu B est supérieur à celui du milieu A . Le rayon est réfléchi avec un angle de réflexion
 - (a) égal à j ?
 - (b) inférieur à j ?
 - (c) supérieur à j ?

Le rayon est réfracté avec un angle de réfraction

- (a) égal à j ?
- (b) inférieur à j ?
- (c) supérieur à j ?

Le rayon réfracté s'éloigne-t-il ou se rapproche-t-il de la normale au dioptre ?

2. Un rayon se propage dans un milieu transparent d'indice n_A et arrive avec un angle d'incidence i_A sur un dioptre séparant ce milieu d'indice n_A du milieu transparent d'indice n_B . On a $n_A = 1,24$, $n_B = 1,46$ et $i = 52^\circ$. Quelle(s) réponse(s) est(sont) vraie(s) ?
 - (a) Il existe un rayon réfléchi
 - (b) Il existe un rayon réfracté
 - (c) Les rayons réfléchi et réfracté n'existent pas
 - (d) On ne peut pas répondre
3. Même question que précédemment mais avec $n_A = 1,29$, $n_B = 1,16$ et $i = 65^\circ$.

- (a) Il existe un rayon réfléchi
 - (b) Il existe un rayon réfracté
 - (c) Les rayons réfléchi et réfracté n'existent pas
 - (d) On ne peut pas répondre
4. Un rayon incident arrive sur un dioptré séparant 2 milieux (le milieu 1 et le milieu 2) d'indices optiques n_1 et n_2 . Le rayon incident arrive sur le dioptré au point I avec un angle d'incidence $i = 23,8^\circ$. Ce rayon est réfracté avec un angle de réfraction $r = 43,6^\circ$. On donne $n_2 = 1,15$. Quelle est la valeur de l'indice n_1 ?

Problèmes

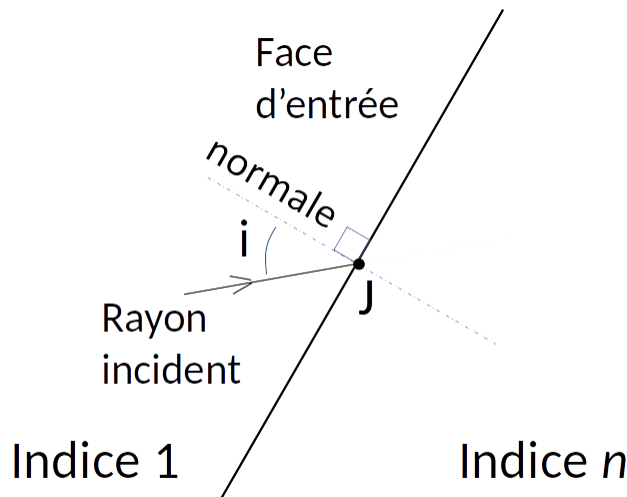
1.8 Réfractions successives par un prisme

Un **prisme** est un milieu homogène limité par deux dioptrés plans non parallèles, appelés les faces d'entrée et de sortie du prisme (toutes les deux sont polies). Leur intersection forme l'arête du prisme, caractérisée par un angle A .

Les deux propriétés principales des prismes sont de *dévier* et de *dispenser* la lumière. La **dispersion** signifie la séparation d'un rayonnement polychromatique en ses différentes composantes et sera étudiée au chapitre 4. Ici, nous nous intéresserons à la **déviation** d'un faisceau monochromatique par un prisme.

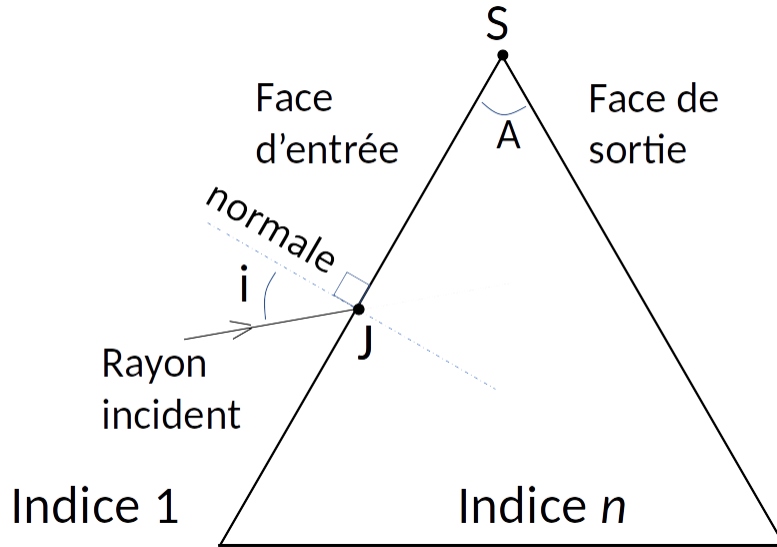
Un rayon est envoyé sur une face latérale d'un prisme de sommet S , d'angle au sommet A , et d'indice n . Il traverse la face d'entrée en J , formant l'angle d'incidence i avec la normale en J à l'interface.

1. On s'intéresse pour l'instant à la déviation du rayon au niveau de la face d'entrée du prisme. L'indice de l'air est supposé égal à 1, l'indice n du verre est supérieur à 1.



- (a) Justifier si le rayon réfracté se rapproche ou s'éloigne de la normale. Est-il dévié vers le haut ou vers le bas ?

- (b) Complétez le schéma ci-contre en traçant l'allure du rayon réfracté.
- (c) Soit r l'angle entre le rayon dans le prisme et la normale à la face d'entrée du prisme au point J . Reporter r sur le schéma.
- (d) Soit D_1 la déviation subie en J par le rayon incident. Reporter D_1 sur le schéma.
2. Complétez le schéma ci-dessous en traçant le rayon à l'intérieur du prisme. Reporter r , J' et r' définis comme suit : Le rayon sort du prisme au point J' ; r' est l'angle entre le rayon dans le prisme et la normale à la face de sortie en J' .



3. Etude du rayon sortant du prisme
- (a) i' est l'angle entre le rayon émergeant du prisme et la normale à la face de sortie du prisme en J' . Justifier si ce rayon réfracté en J' se rapproche ou s'éloigne de la normale, est-il dévié vers le bas ou vers le haut ? Ajouter ce rayon au schéma.
- (b) Soit D_2 la déviation du rayon en J' . Reporter D_2 sur le schéma.
4. En utilisant la loi de la réfraction en J et J' , trouver une relation entre i et r , et entre i' et r' .
5. Reporter les angles r et r' sur le schéma suivant, en déduire les expressions des angles internes au triangle SJJ' . Quelle relation attend-t-on entre ces angles ? En déduire une relation entre r , r' et A .
6. Déviation par le prisme
- (a) A l'aide du schéma fait à la question 1, exprimer D_1 , à l'aide des angles i et r , la déviation subie en J par le rayon incident.
- (b) A l'aide du schéma fait à la question 2, exprimer D_2 en fonction de i' et r' la déviation subie par le rayon incident en J' .
- (c) En déduire la déviation totale $D = D_1 + D_2$, donner son expression en fonction de A , i et i' .

7. Minimum de déviation et mesure de l'indice du prisme

Quand on fait varier l'angle d'incidence i , la déviation totale D passe par une valeur minimale D_m . On pourrait montrer qu'elle est obtenue pour la valeur de i conduisant à $r = r' = A/2$. Combiner les équations précédentes pour établir :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

.

1.9 Détecteur de pluie

Certains véhicules sont équipés d'un détecteur de pluie qui commande la mise en route des essuie-glaces. Placée à l'intérieur du véhicule, une diode électroluminescente émet un rayon lumineux qui vient frapper la face externe du pare-brise en verre sous un angle d'incidence de 45° .

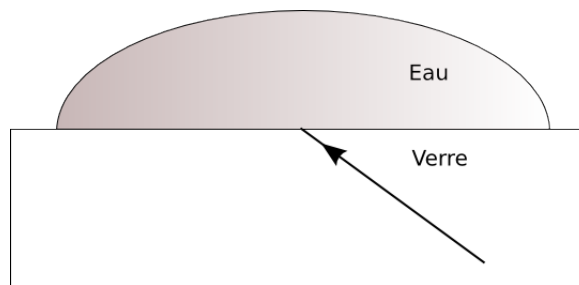
Données : indice du verre $n_v = 1,5$; indice de l'eau $n_e = 1,33$.

1. Question préliminaire

On considère un rayon lumineux incident avec l'angle i sur un dioptré plan séparant deux milieux transparents homogènes d'indice n_1 et n_2 . À quelle condition sur les indices n_1 et n_2 peut-il y avoir réflexion totale ? Exprimer l'angle limite de réflexion totale i_{lim} en fonction de n_1 et n_2 .

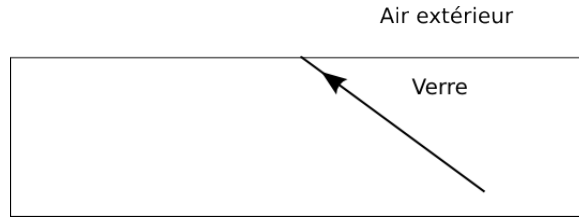
2. Etude en présence de pluie

Le schéma de fonctionnement du dispositif **en présence** de pluie est présenté ci-dessous. Compléter ce schéma en indiquant le point d'incidence I , la normale en I à l'interface Verre-Eau, l'angle d'incidence. Calculer pour cette situation la valeur numérique i_{lim} de l'angle de réflexion totale. Tracer, s'ils existent, le rayon réfléchi, le rayon réfracté, ainsi que les angles réfléchis et réfractés correspondants. Justifier votre réponse.



3. Etude en l'absence de pluie

Le schéma de fonctionnement du dispositif **en l'absence** de pluie est présenté ci-dessous. Compléter ce schéma en indiquant l'angle d'incidence. Calculer pour cette situation la valeur numérique i_{lim} de l'angle de réflexion totale. S'ils existent, tracer le rayon réfléchi, le rayon réfracté, ainsi que les angles réfléchis et réfractés correspondants. Justifier votre réponse.



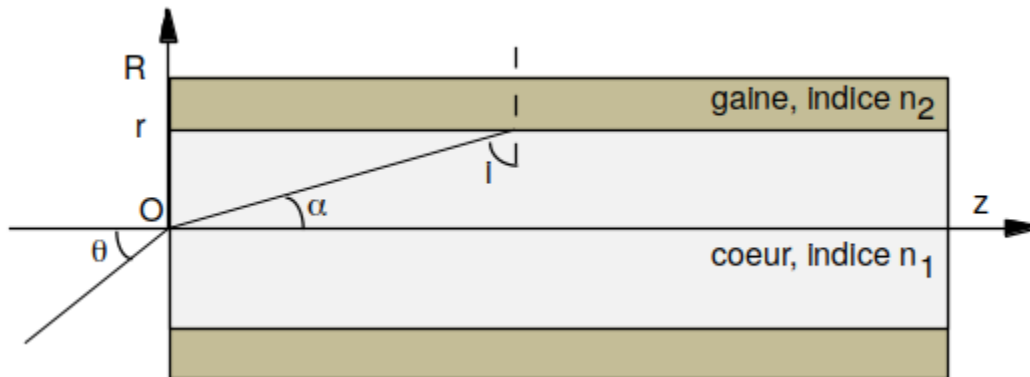
4. Principe de la détection de pluie

Une photodiode récupère dans les deux cas la lumière réfléchiée. Elle est reliée au système de commande des essuie-glaces.

- Si l'intensité de cette lumière est forte, le détecteur bloque les essuie-glaces.
- Si l'intensité de cette lumière est faible, le détecteur provoque le déclenchement automatique des essuie-glaces.

- (a) Où faut-il placer la photodiode ? L'indiquer sur les schémas ci-dessus.
- (b) Expliquer le fonctionnement du détecteur, en présence et en l'absence d'eau sur le pare-brise.

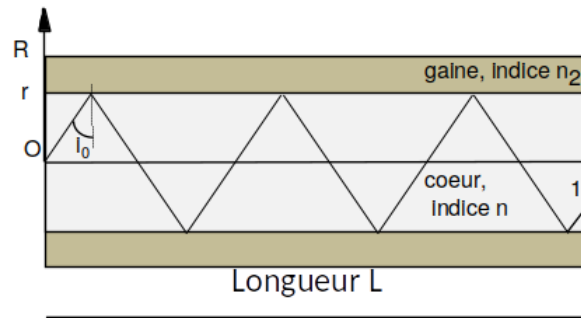
1.10 Fibre optique à saut d'indice



On considère une fibre optique de section cylindrique placée dans l'air. Cette fibre de rayon R et de longueur L est constituée de deux cylindres concentriques, un cœur de rayon r et d'indice n_1 entouré d'une gaine d'indice n_2 .

1. Quelle inégalité sur n_1 et n_2 doit être vérifiée pour qu'il puisse y avoir réflexion totale à l'interface cœur/gaine ? Dans la suite, nous supposons que cette condition est toujours vérifiée.

2. On considère un rayon lumineux arrivant sur le cœur de la fibre au point O sous un angle d'incidence θ . Ecrire les relations reliant les différents angles du schéma ci-dessus à chacune des interfaces air/cœur et cœur/gaine.
3. Pour quelles valeurs de θ , le rayon entrant dans la fibre se propage-t-il le long de cette fibre par réflexion totale à l'interface cœur/gaine ?
4. Calculer numériquement la valeur extrême de θ , θ_0 pour que le rayon se propage dans la fibre. On donne $n_1 = 1,5$ et $n_2 = 1,49$.
5. Supposons que le faisceau à l'entrée de la fibre ait une certaine ouverture angulaire $\theta_1 > \theta_0$. Ceci signifie que le faisceau comprend tous les angles de valeur comprise entre 0 et $\theta_1 > \theta_0$. Représenter le trajet suivi dans la fibre par différents rayons de ce faisceau.
6. Le rayon effectuant le trajet le plus court entre l'entrée et la sortie de la fibre est celui la traversant parallèlement à son axe sur sa longueur L ? Que vaut son temps de parcours τ_{min} entre l'entrée et la sortie de la fibre ?
7. Le rayon qui passe le plus de temps dans la fibre est celui dont l'angle d'incidence est θ_0 et qui dans la fibre possède l'angle d'incidence i_0 avec les interfaces cœur-gaine où il se réfléchit totalement. Déterminer son temps de parcours τ_{max} entre l'entrée et la sortie de la fibre, en fonction de L et $\sin i_0$ puis en fonction de L , n_1 et n_2 .



8. En prenant $L = 10$ km et les valeurs de n_1 et n_2 précédentes, calculer numériquement $\Delta t = \tau_{max} - \tau_{min}$. Si on injecte dans la fibre une impulsion de durée très brève avec des angles d'incidence compris entre $\theta = 0$ et $\theta = \theta_0$, que représente physiquement Δt ?

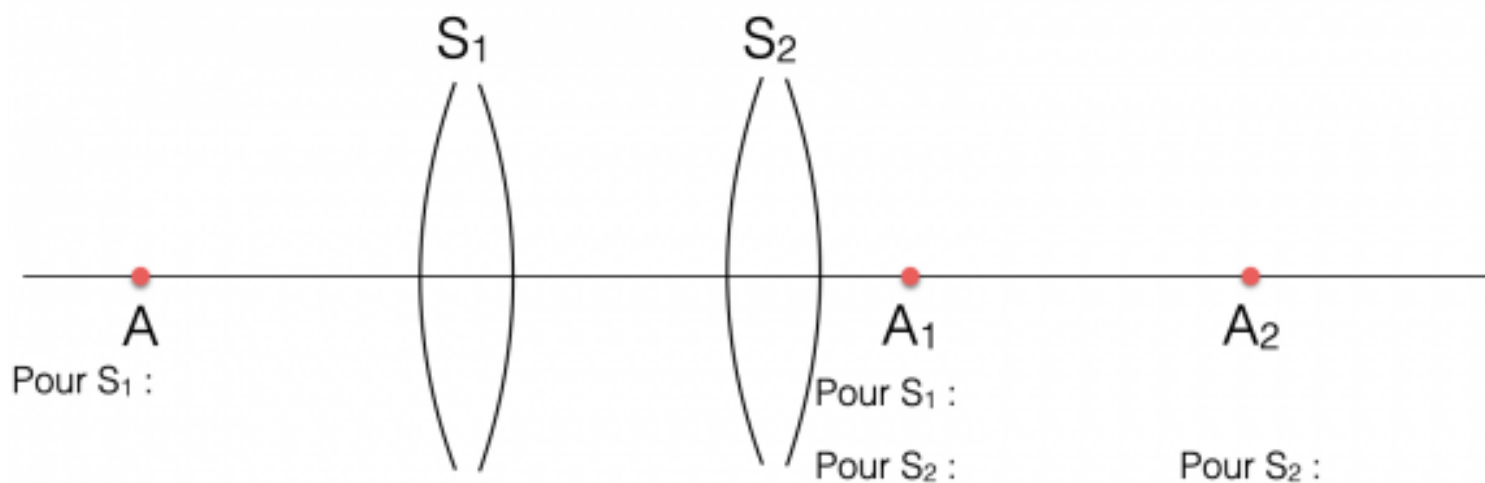
Exercices du chapitre 2 : Images optiques

Assimilation du cours

2.1 Systèmes optiques : nature image, objet

On considère un objet A . On note A_1 l'image de A par le système optique S_1 . Cette image sert d'objet pour le système optique S_2 . S_1 et S_2 sont des systèmes qui transmettent la lumière. L'image donnée par S_2 est appelée A_2 .

Les positions de A , A_1 et A_2 par rapport à S_1 et S_2 sont précisées sur la figure ci-dessous.



Préciser pour chaque point (A , A_1 et A_2) s'il s'agit d'un(e) objet/image réel(le)/virtuel(le) par rapport aux systèmes optiques mentionnés.

2.2 Construction des images par un miroir (cours chapitre 2 partie 2-3-d)

Application : construire les images géométriques des objets AB dans les différents cas proposés dans le poly de cours (chapitre 2, partie 2-3-d (intersections des 3 rayons particuliers). Si AB correspond à l'œil de l'observateur, va-t-il ou non voir son image ?

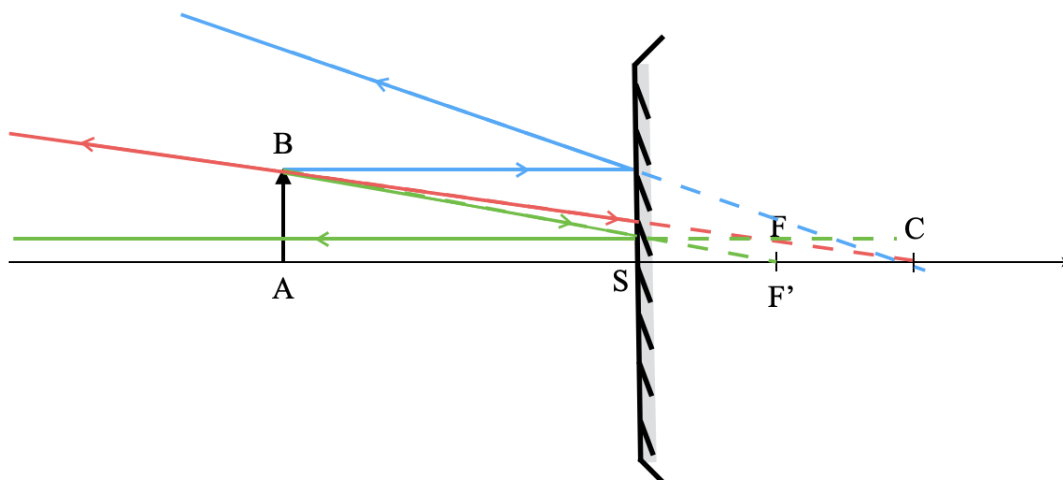
2.3 Miroir sphérique : application de la relation de conjugaison et construction

On place un objet réel AB de 2 cm de haut à 12 cm devant un miroir concave dont la longueur focale $\overline{SF}$ est de -5 cm. On note S le sommet de ce miroir concave, et C son centre de courbure.

1. Rappeler la relation établie en cours entre $\overline{SC}$ et $\overline{SF}$. À partir des données de l'énoncé, écrire les valeurs des distances algébriques $\overline{SF}$, $\overline{SC}$ et $\overline{SA}$.
2. Faire un schéma à l'échelle 1 en plaçant les points A , B , S , F , F' et C . Construire l'image $A'B'$ de l'objet AB par le miroir.
3. Reporter $\overline{SA}$ dans la relation de conjugaison des miroirs sphériques pour déterminer la valeur numérique de $\overline{SA'}$. À quelle distance du miroir se forme l'image ?
4. Quelle est la nature de l'image ?
5. Le grandissement est défini par le rapport des hauteurs algébriques de l'image et de l'objet, $\gamma = \overline{A'B'}/\overline{AB}$. En raisonnant dans les triangles CAB et $CA'B'$, montrer qu'on a $\gamma = \overline{C'A'}/\overline{CA}$. Exprimer $\overline{C'A'}$ et $\overline{CA}$ en fonction de $\overline{SA'}$, $\overline{SC}$ et $\overline{SA}$ pour calculer leurs valeurs numériques et celle de γ .
6. Calculer la taille de l'image.
7. Dans quel sens est l'image ?

2.4 Miroir sphérique : construction et caractérisation d'une image

1. Parmi les 3 rayons tracés sur le schéma ci-dessous, lequel est incorrect ? Refaire le tracé correct et caractériser l'image (nature, sens, taille).



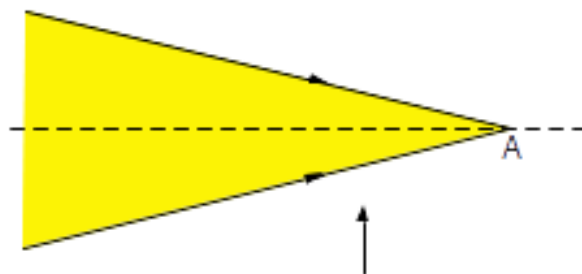
2.5 Miroir concave

On place un objet AB de $1,9$ cm de haut à $3,6$ cm devant un miroir concave dont la distance focale est de $-8,4$ cm. On note S le sommet de ce miroir concave, et C son centre de courbure.

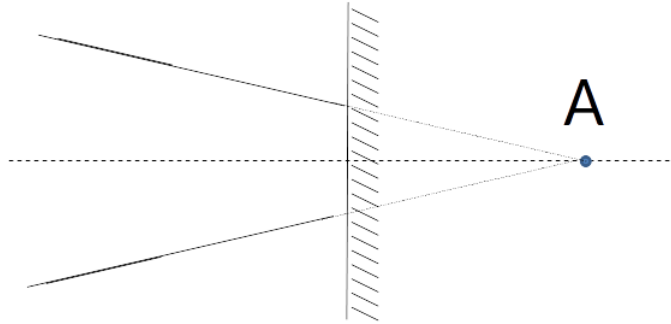
1. À partir des données de l'énoncé, écrire la valeur de la distance algébrique $\overline{SF}$ (en cm).
2. À partir des données de l'énoncé, écrire la valeur de la distance algébrique $\overline{SA}$ (en cm).
3. Grâce à la relation de conjugaison des miroirs sphériques, donner la valeur de la distance algébrique $\overline{SA'}$ (en cm, avec une décimale).
4. En exprimant le grandissement γ en fonction de distances algébriques obtenues aux questions précédentes, donner la valeur du grandissement (avec une décimale).
5. Dédurre de la question précédente la taille de l'image $\overline{A'B'}$ (en cm, avec une décimale).

2.6 Objets/images réel(le)s/virtuel(le)s avec un miroir plan

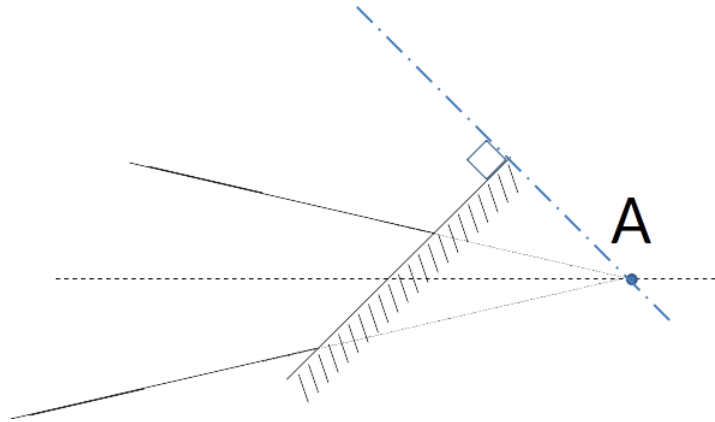
On considère un faisceau convergent en un point A provenant d'un système optique précédent, non représenté. A est donc l'image d'un point objet (non représenté) par ce système optique (voir Chap 2 § 1.2.)



1. De quelle nature est l'image A (réelle ou virtuelle) ?
2. On intercale un miroir plan à l'endroit marqué d'une flèche.
 - (a) A est maintenant un objet pour le système optique constitué par ce miroir plan. De quelle nature est cet objet ?
 - (b) Le miroir est perpendiculaire à l'axe en pointillés. Réaliser la construction géométrique afin de trouver l'image A' de A par le miroir plan. Tracer les rayons réfléchis par le miroir. De quelle nature est cette image A' ?



- (c) Le miroir est maintenant incliné à 45° par rapport à l'axe en pointillés. Placer sur le graphe l'image A'' de A par le miroir. Tracer les rayons réfléchis.



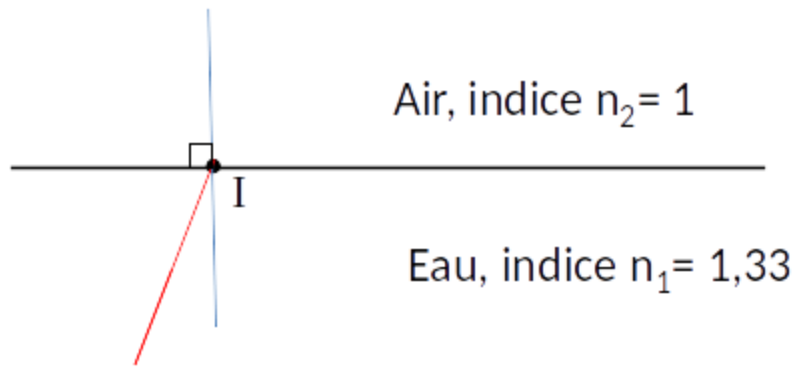
2.7 Où le pêcheur voit-il le poisson ?

Le but de cet exercice est d'interpréter l'expérience 6 du chapitre 2 du poly de cours/TP. Il nécessite l'usage d'un rapporteur.

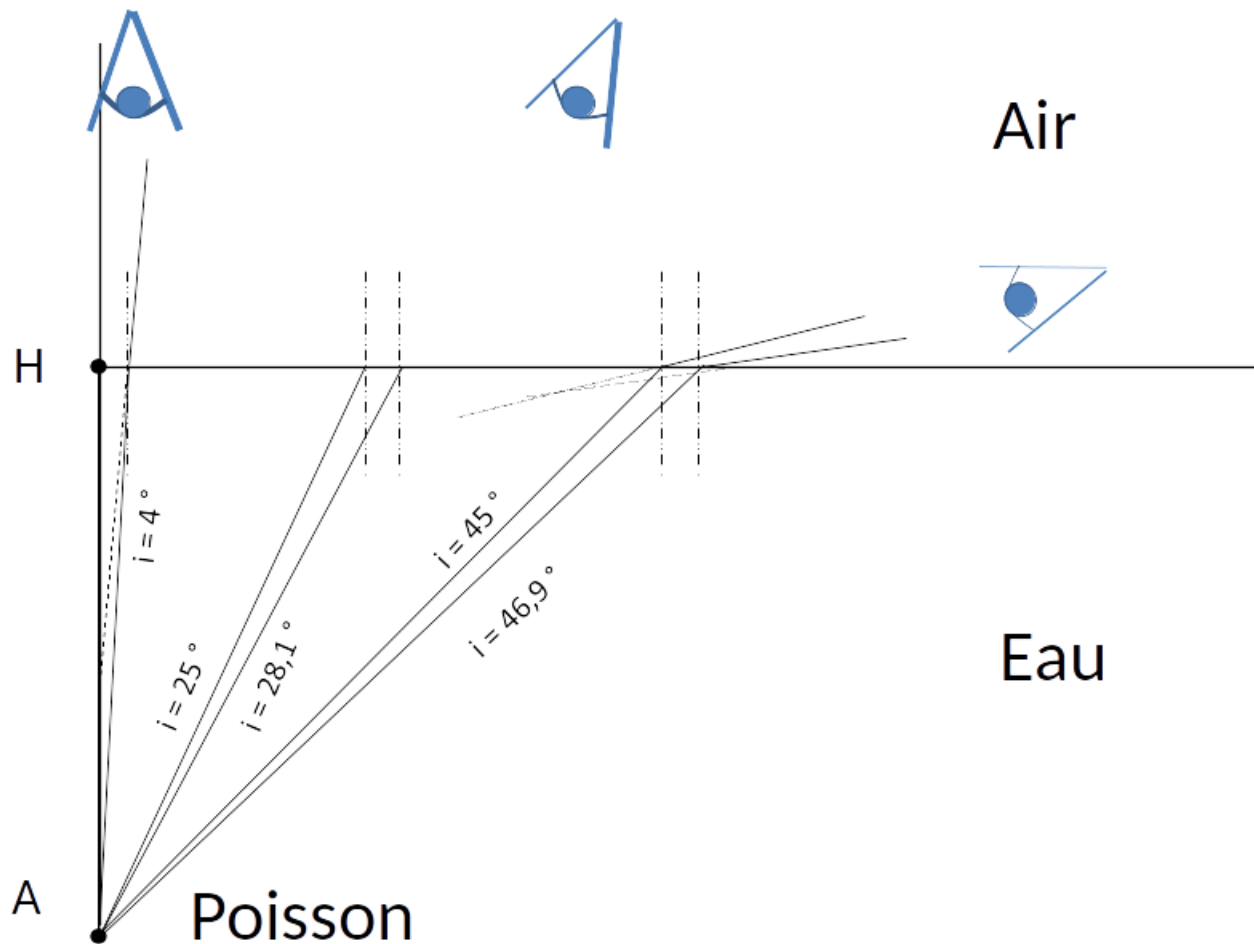
Le schéma ci-dessous question 2 représente un point objet A (un point d'un poisson par exemple) dans de l'eau d'indice $n = 1,33$. Au-dessus, on trouve de l'air d'indice 1 (milieu dans lequel se trouve le pêcheur).

1. Question préliminaire

Un rayon lumineux arrive sur la surface avec un angle d'incidence $i = 25^\circ$. Calculer r l'angle de réfraction dans l'air, tracer le rayon réfracté sur le schéma en indiquant les angles i et r .



2. Le graphe ci-dessous représente plusieurs couples de rayons qui arrivent à l'œil d'un observateur situé à différents endroits.

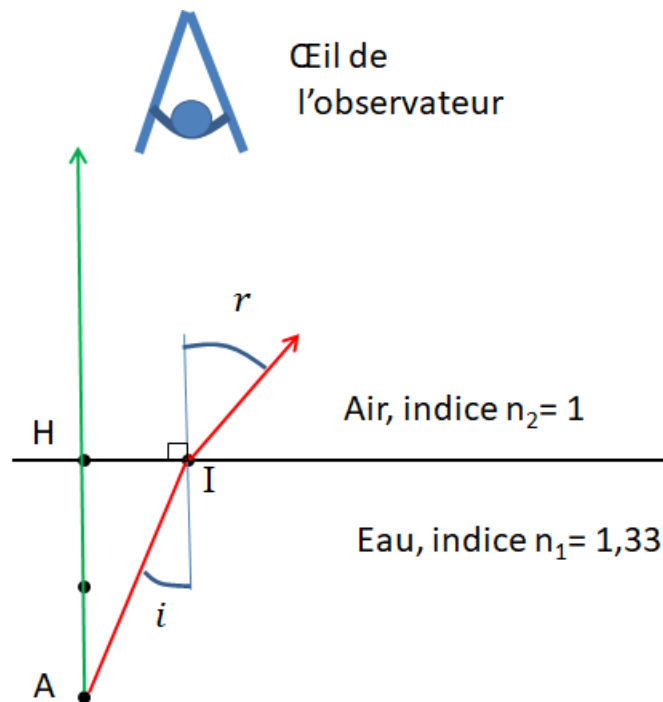


Ces rayons atteignent la surface de l'eau avec un angle d'incidence connu par sa tangente (rapport des longueurs des côtés pour les triangles rectangles (A , H , point d'incidence)).

Ajouter les valeurs manquantes au tableau et ajouter les rayons réfractés manquant sur le schéma.

$\tan i$	$i(^{\circ})$	$\sin i$	$\sin r$	$r(^{\circ})$
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/15	3,81	0,07	0,09	5,08
7/15				
8/15				
15/15	45,00	0,71	0,94	70,13
16/15	46,90	0,73	0,97	76,00

- Pour l'observateur situé à un endroit donné, la position apparente du poisson se trouve à l'intersection des prolongements des deux rayons atteignant l'œil. Construire graphiquement cette intersection pour le cas manquant sur le graphe ci-après. Le système optique constitué par le dioptre plan eau-air forme-t-il une image unique du poisson ? Peut-on dire qu'il est stigmatique ?
- On se place dans le cas particulier où le pêcheur regarde le poisson quasiment à la verticale de celui-ci. Le schéma ci-après représente cette situation avec des angles exagérés pour plus de clarté.



Construire graphiquement l'intersection A' des deux rayons qui atteignent l'œil (celui passant par I et la verticale). Exprimer HI en fonction de AH , $A'H$ et des angles i et r . En déduire l'expression de $A'H$ (profondeur apparente du poisson) en fonction de AH (profondeur réelle) et de l'indice n de l'eau.

2.8 Stigmatisme rigoureux

Sélectionner le(s) élément(s) optique(s) rigoureusement stigmatique(s) :

1. miroir plan
2. miroir sphérique
3. dioptre plan

Exercices du chapitre 3 : Lentilles, œil

Assimilation du cours

3.1 Cours/constructions Chp 3, 1.5(d) : Image d'un objet réel par une lentille convergente ou divergent

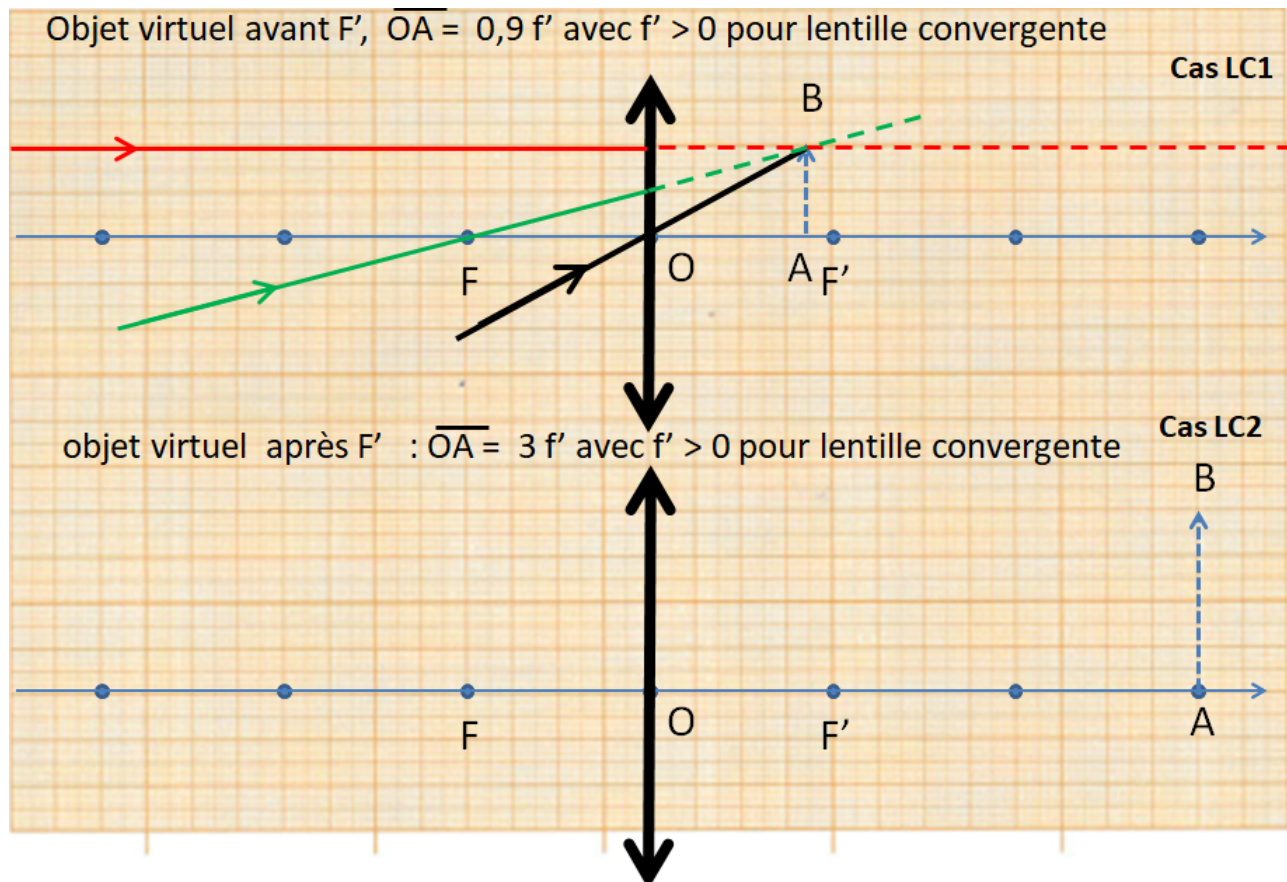
Application : constructions géométriques dans un certain nombre de cas, pour un objet réel. Faire à chaque fois la construction de l'image $A'B'$ de l'objet réel AB .

3.2 Image d'un objet virtuel par une lentille convergente ou divergente

La construction de l'image géométrique d'un objet AB repose sur les mêmes rayons particuliers que l'objet soit réel ou virtuel. En revanche, pour un objet virtuel (c'est-à-dire situé après la lentille), ce sont les prolongements des rayons incidents après la lentille qui passent par B . On veillera à les tracer en pointillés.

1. Image d'un objet virtuel par une lentille convergente

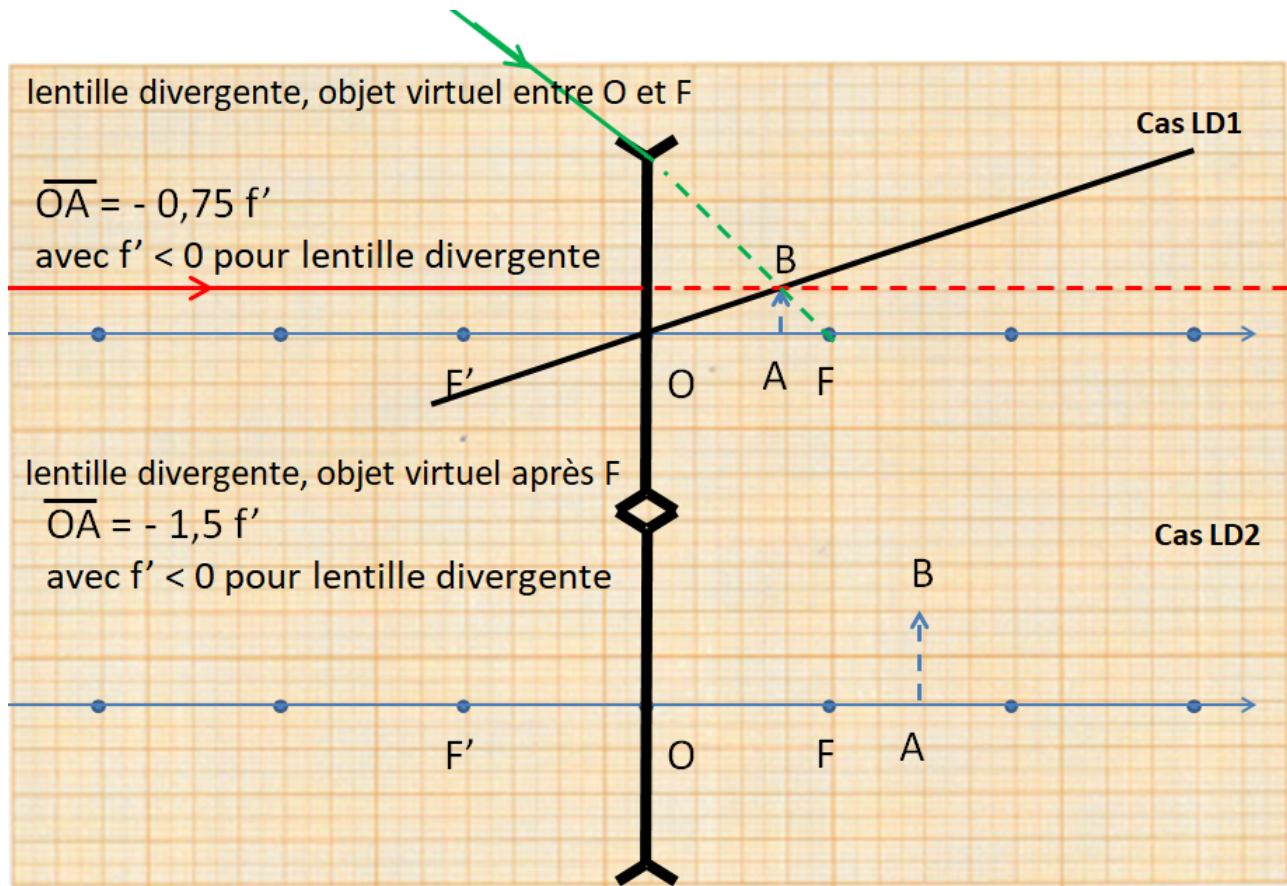
(a) Construire les images géométriques $A'B'$ des objets virtuels suivants :



- (b) [Travail à faire pour les révisions] À l'aide de la formule de conjugaison, calculer les positions des images pour les objets virtuels positionnés avec $\overline{OA} = 0,9f'$ puis $\overline{OA} = 3f'$. Vérifier la cohérence de la réponse avec le résultat de la construction géométrique.

2. Image d'un objet virtuel par une lentille divergente

- (a) Construire les images géométriques des objets virtuels suivants :



- (b) [Travail à faire pour les révisions] À l'aide de la formule de conjugaison, calculer les positions des images pour les objets virtuels positionnés avec $\overline{OA} = -0,75f'$ puis $\overline{OA} = -1,5f'$ (avec $f' < 0$). Vérifier la cohérence de la réponse avec le résultat de la construction géométrique.

3.3 Vision à l'aide d'une loupe

Un timbre-poste est observé est travers une lentille convergente, de centre O , de distance focale $f' = +8$ cm, faisant office de loupe. Le timbre de dimensions $(3 \text{ cm} \times 2 \text{ cm})$ est situé à 6 cm de la lentille supposée mince. La grande dimension du timbre est disposée verticalement.

1. Faites sur votre copie un schéma à l'échelle 1/2 (1 cm réel correspond à 0,5 cm sur votre copie, positionner F' à droite de la feuille) comportant la lentille, son axe, ses foyers objet et image, le timbre-poste que l'on représentera sous la forme d'un objet AB perpendiculaire à l'axe.
2. Sur ce schéma, construisez géométriquement l'image $A'B'$ de AB par la loupe.
3. Rappelez la relation de conjugaison d'une lentille mince. Dans quelles conditions cette relation est-elle applicable ?
4. Calculez la position de l'image du timbre. De quelle nature est cette image ?
5. Rappelez l'expression du grandissement par la lentille, γ . Calculez les dimensions de l'image du timbre. L'image est-elle droite ou renversée (justifier) ?

3.4 Lentilles minces

1. Une image formée par une lentille se forme à l'infini. Où se situe donc l'objet ?
2. Le foyer objet d'une lentille convergente se trouve à gauche ou à droite de la lentille ?
3. Un objet réel est placé à gauche d'une lentille convergente, entre son centre optique et son foyer objet. Quelle est la nature de l'image ?
4. Comment peut-on observer une image virtuelle ? Choisir la ou les bonne(s) réponse(s).
 - (a) Une image virtuelle ne peut pas s'observer, par définition.
 - (b) En regardant dans le système optique.
 - (c) En plaçant un écran là où est située l'image.
5. Le foyer image d'une lentille divergente se trouve à gauche ou à droite de la lentille ?

3.5 Lentille convergente

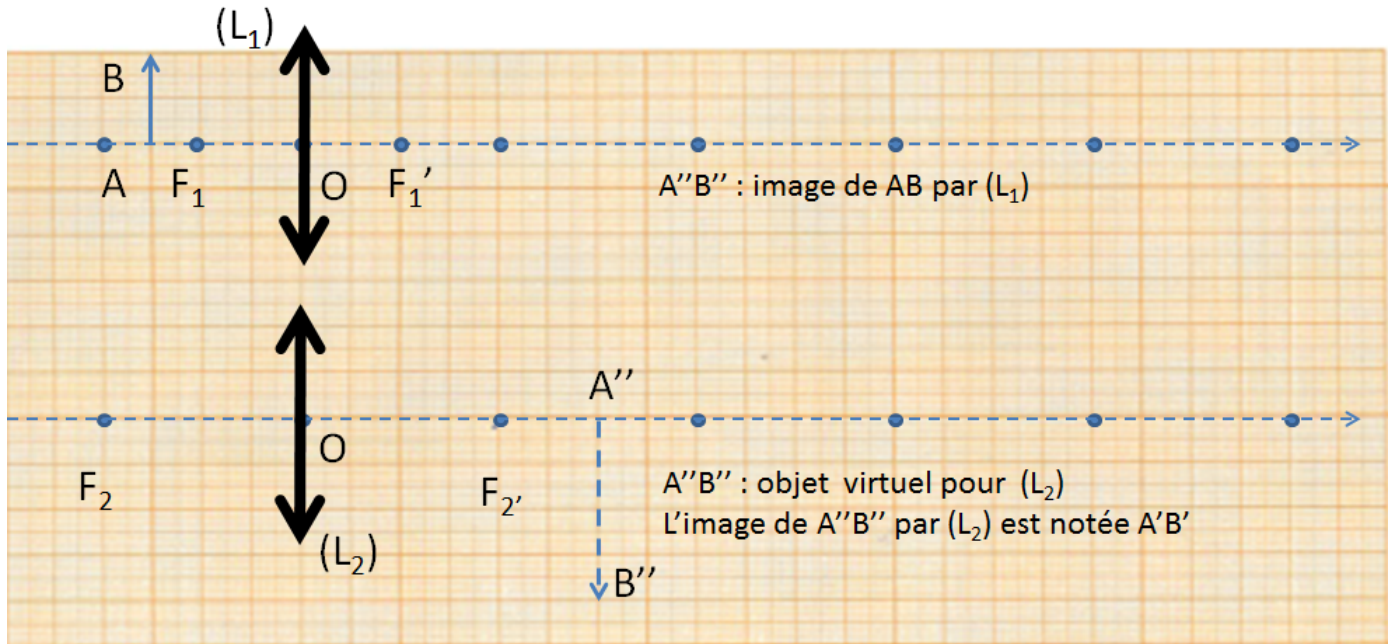
Un objet réel A est placé à 6,1 cm avant une lentille convergente de centre O et de distance focale $f' = 3,6$ cm.

1. Que vaut la distance algébrique $\overline{OA}$ entre la lentille et l'objet A (en cm) ?
2. Que vaut la distance algébrique $\overline{OA'}$ entre la lentille et l'image A' de l'objet A formé par la lentille (en cm) ?
3. L'image A' de l'objet A formé par cette lentille est-elle réelle ou virtuelle ?
4. Dédurre des réponses aux questions précédente la valeur du grandissement γ (résultat à donner avec 1 décimale)
5. "L'image $A'B'$ est droite." Cette affirmation est-elle vraie ou fausse ?
6. La lentille convergente des questions précédentes est maintenant remplacée par une lentille divergente de distance focale f'_D inconnue. L'objet réel A est toujours placé à 6,1 cm devant cette lentille. L'image A' ainsi formée est virtuelle et est située 4,7 cm avant la lentille. Quelle est la distance focale f'_D de cette lentille (en cm) ?

3.6 Système de deux lentilles minces accolées

Soient deux lentilles (L_1) et (L_2) supposées sans épaisseur, de distances focales respectives f'_1 et f'_2 . Elles sont accolées avec leurs centres optiques situés au même point O . On cherche la distance focale de la lentille équivalente à cette juxtaposition.

1. Écrire la relation existante entre la position $\overline{OA}$ d'un objet AB et celle $\overline{OA''}$ de son image $A''B''$ par (L_1) . Application numérique avec $\overline{OA} = -1,5f'_1$, vérifier la cohérence entre le résultat numérique et la construction géométrique faite pour la lentille (L_1) ci-dessous.

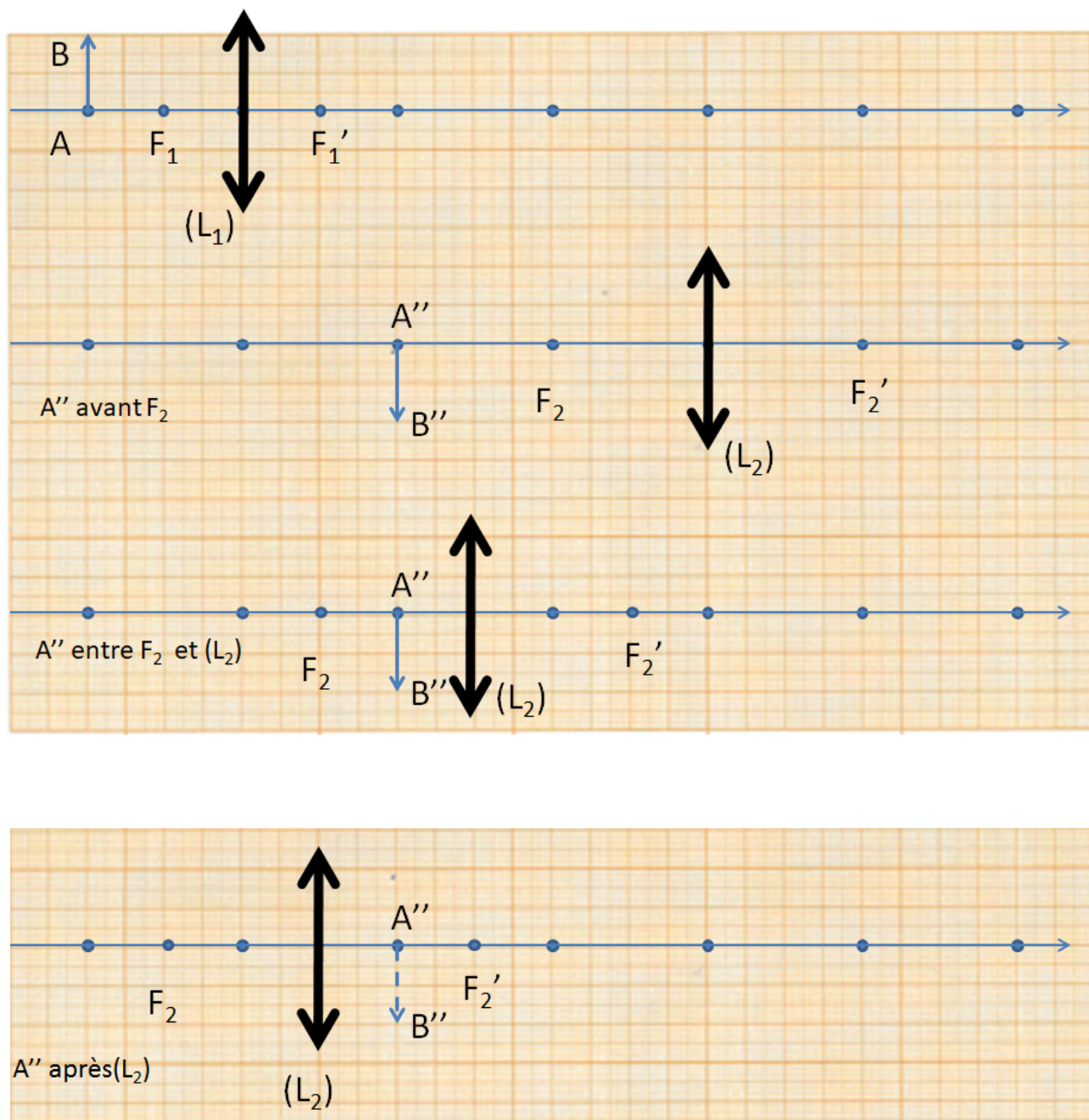


2. Relier $\overline{OA''}$ et $\overline{OA'}$, position de l'image $A'B'$ de $A''B''$ par (L_2) . Application numérique avec $\overline{OA''} = 1,5f'_2$, vérifier la cohérence entre le résultat numérique et la construction géométrique faite pour la lentille (L_2) ci-dessous, en considérant $f'_2 = 2f'_1$.
3. En déduire la relation existante entre $\overline{OA}$, $\overline{OA'}$, f'_1 et f'_2 pour établir par analogie la distance focale f'_3 de la lentille équivalente à la juxtaposition $\{(L_1) + (L_2) \text{ accolées}\}$.

3.7 Association de deux lentilles minces convergentes non accolées

On veut construire géométriquement l'image d'un objet réel AB par le système optique $(L_1 + L_2)$ non accolées) pour étudier l'influence de la distance $L_1 - L_2$ sur la nature et le sens de l'image finale.

Pour des schémas plus clairs, l'image $A''B''$ par L_1 est construite sur la première ligne puis reportée sur les lignes suivantes où elle deviendra objet $A''B''$ pour L_2 . Il restera alors à construire l'image de $A''B''$ par L_2 , qu'on notera $A'B'$

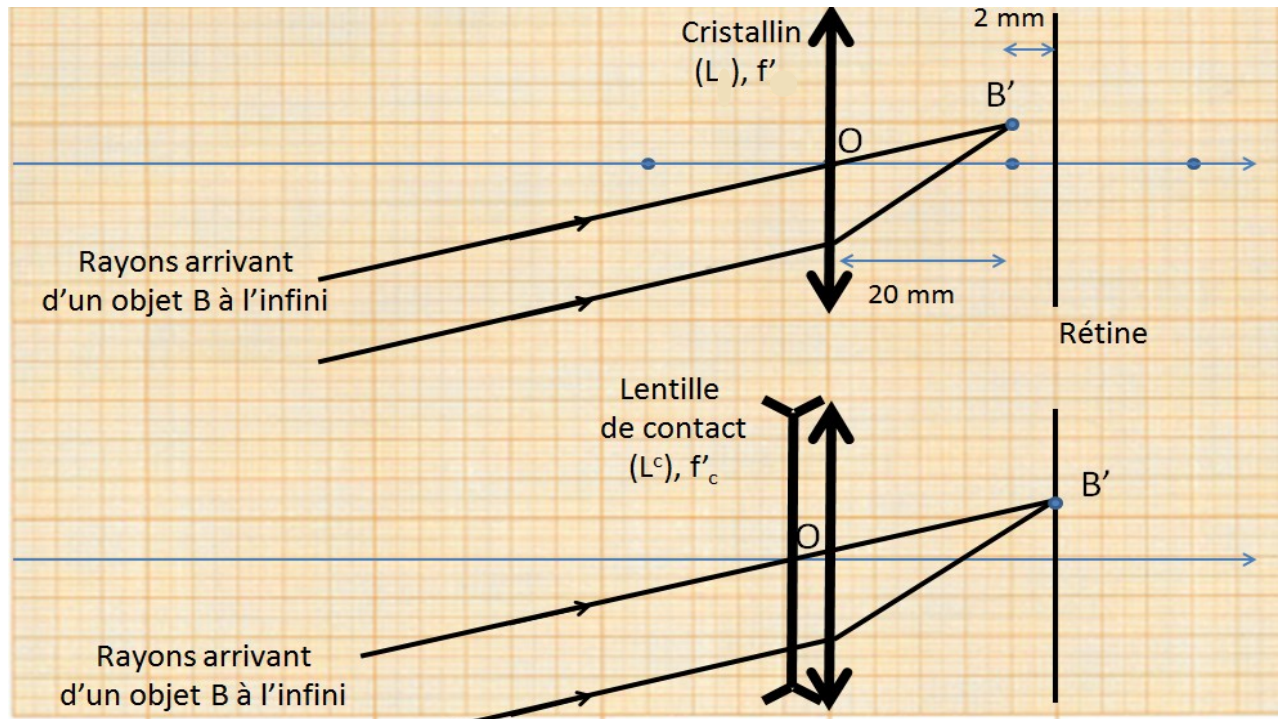


Réaliser les constructions correspondant aux trois positions de L_2 . Préciser dans chaque cas la nature de l'objet $A''B''$ pour la lentille L_2 , et la nature et le sens de l'image finale $A'B'$ par rapport à AB .

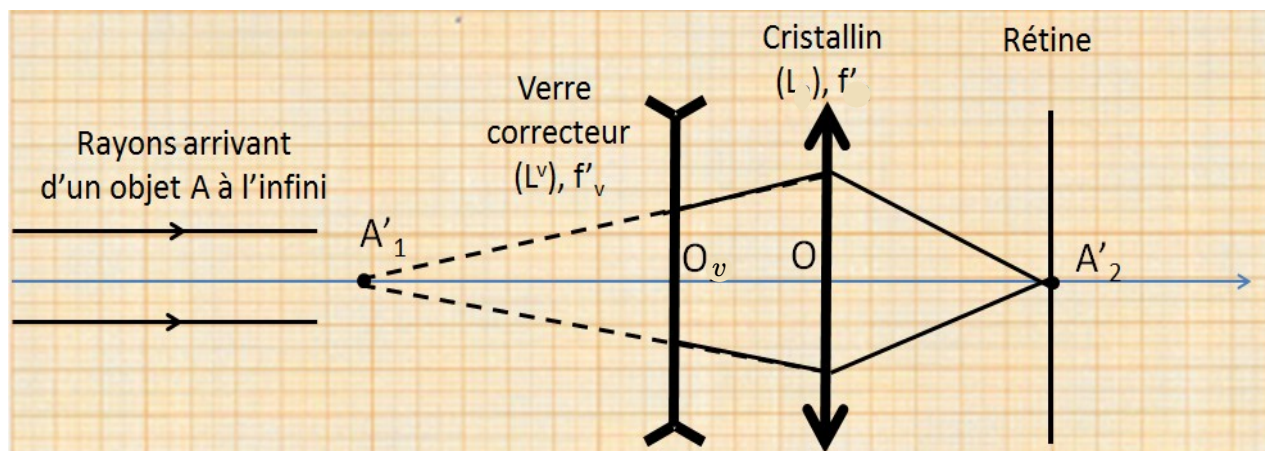
3.8 Correction d'un œil myope : écart de correction entre lunettes et lentilles

Un œil myope est représenté par une lentille mince convergente (L) de distance focale au repos $f' = +2$ cm. Cette distance focale est trop courte d'une distance de 2 mm pour que l'image d'un objet à l'infini se forme sur la rétine.

1. Pour cette question, on veut corriger la myopie de l'œil par une lentille de contact (L^c) de focale f'_c accolée au cristallin (L).



- (a) (L^c) et (L) ont le même centre optique O . Rappeler la relation entre la distance focale f'_e de la lentille équivalente et les longueurs focales f'_c et f' .
 - (b) Que doit valoir numériquement f'_e pour que l'image B' d'un objet B à l'infini se forme sur la rétine ? En déduire la valeur numérique de f'_c .
2. On veut maintenant corriger l'œil par un verre de lunette (L^v) de centre optique O_v et focale f_v . On a $\overline{OO_v} = -1$ cm.



- Quelle est la position de l'objet A'_1 dont l'image par (L) seule serait en A'_2 (voir schéma ci-dessus) ? On déterminera numériquement $\overline{OA'_1}$ par la formule de conjugaison de Gauss.
- On raisonne ici autour du verre correcteur de centre optique O_v . Que vaut numériquement $\overline{O_v A'_1}$?
- Quelle doit être la distance focale f'_v du verre correcteur pour que l'image qu'il forme d'un objet A à l'infini sur l'axe se retrouve en A'_1 ? Où se situe alors l'image de A par le système (œil + verre correcteur) ?

Problème

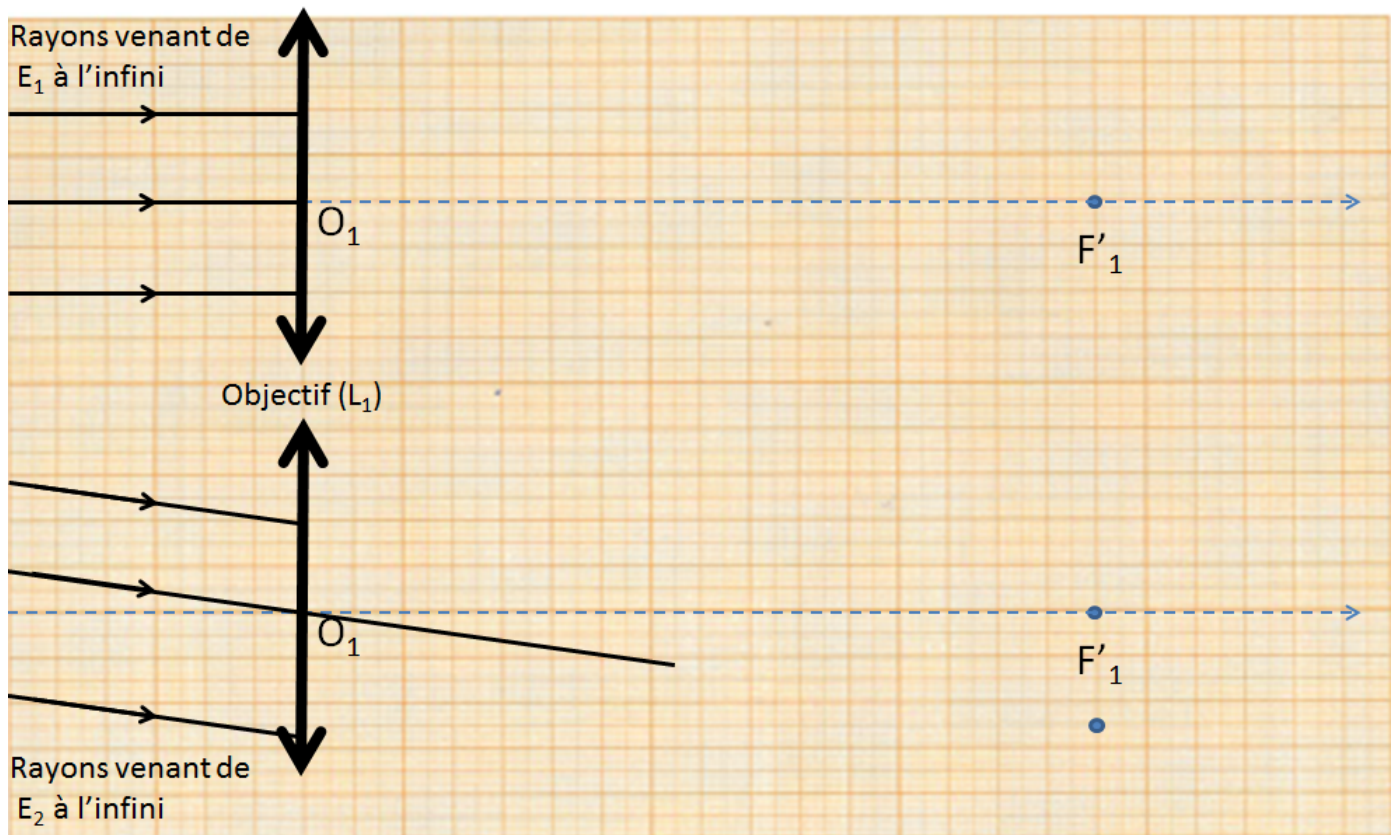
3.9 Système optique afocal : la lunette de Galilée

Un système optique est dit *afocal* si tout faisceau parallèle entrant dans ce système optique ressort en faisceau parallèle. Les lunettes astronomiques ou terrestres ainsi que les télescopes sont des systèmes afocaux. Le microscope ne l'est pas.

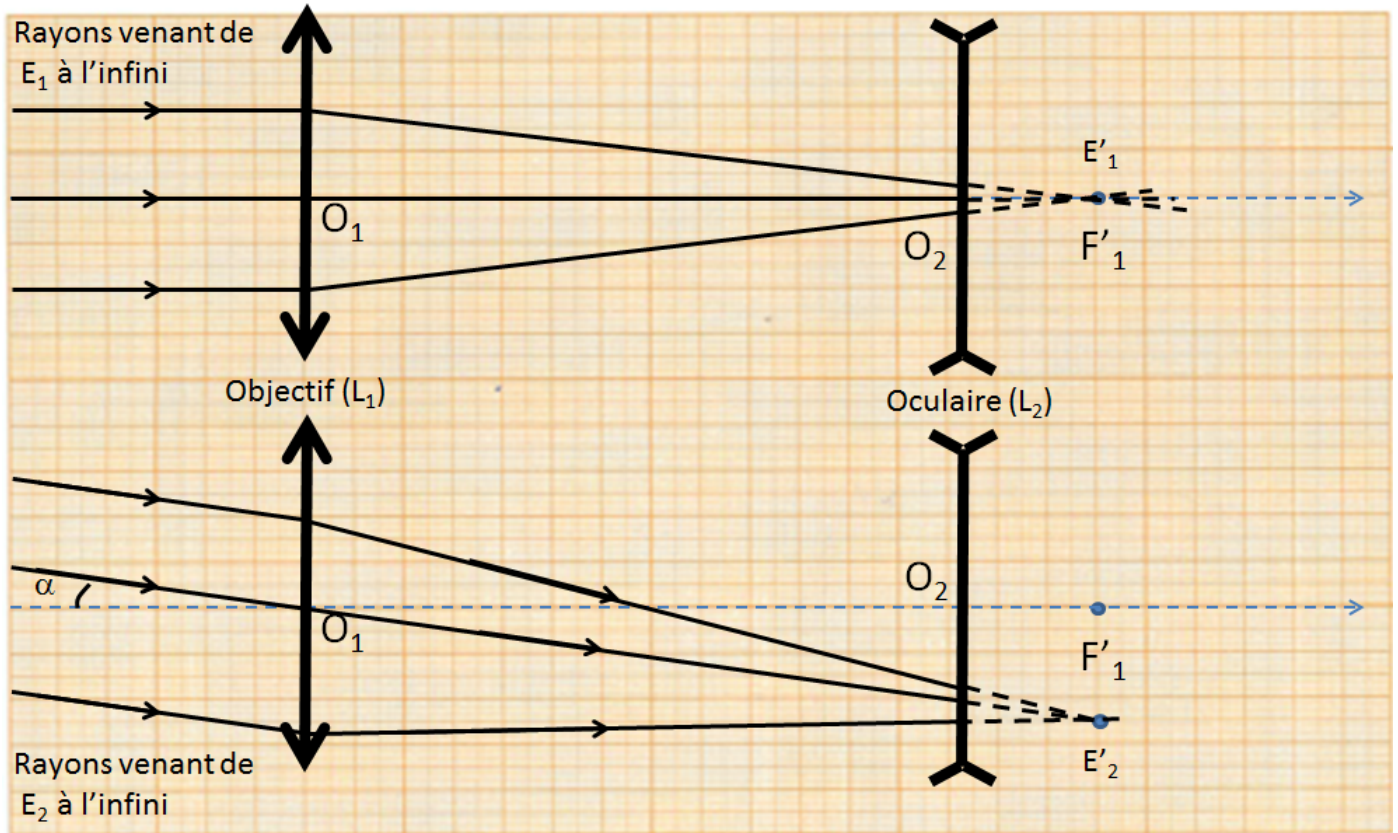
Une lunette de Galilée est composée d'une lentille L_1 convergente de centre O_1 et de grande focale $f'_1 = 16,0$ cm, appelée *objectif*, et d'une lentille divergente L_2 de centre O_2 et de courte focale $f'_2 = -2,8$ cm, appelée *oculaire*.

On considère une étoile double composée de deux étoiles très proches E_1 et E_2 . Comme indiqué sur le schéma ci-dessous, E_1 est alignée sur l'axe optique de la lunette, tandis que les rayons provenant de E_2 arrivent sous un angle α par rapport à l'axe optique.

- Où se situent les images E'_1 et E'_2 des étoiles E_1 et E_2 données par l'objectif L_1 ? Quels sont la nature et le sens de ces images ? Justifiez vos réponses. Positionnez E'_1 et E'_2 sur le schéma en faisant les constructions graphiques nécessaires.



2. Où doit-on placer l'oculaire L_2 pour que les images respectives E_1'' et E_2'' de E_1' et E_2' données par l'oculaire soient situées à l'infini ? Justifiez votre réponse.
3. L'oculaire est représenté sur le schéma (lentille divergente). Ajouter les positions de ses foyers objet F_2 et image F_2' . Quelle vaut la taille $d = \overline{O_1O_2}$ de cette lunette ?



4. E'_1 et E'_2 sont des objets pour l'oculaire. Quelle est leur nature (réelle ou virtuelle) pour l'oculaire ? Justifiez votre réponse.
5. Sur le schéma, tracez la propagation à travers la lunette du faisceau parallèle (les 3 rayons déjà tracés) en provenance d' E_2 . Même question pour les rayons provenant d' E_1 . Dans quelle direction l'observateur regardant par l'oculaire voit-il les positions apparentes des étoiles ?
6. L'image vue par l'œil à travers cette lunette est-elle droite ou inversée par rapport au ciel étoilé ? Justifiez votre réponse. Quel est l'intérêt pour un œil normal d'observer à l'oculaire des images situées à l'infini ?
7. L'observateur regardant directement les étoiles E_1E_2 les voit dans des directions formant entre elles l'angle α . S'il les observe à travers la lunette, leur séparation angulaire est α' qui correspond à l'angle de la droite $O_2E'_2$ (direction apparente de E_2) avec l'axe (direction apparente de E_1). À partir des schémas de la question 1, exprimer $F'_1E'_2$ en fonction de f'_1 et α . À partir des schémas de la question 3, exprimer $F'_1E'_2$ en fonction de f'_2 et α' . En déduire le grossissement angulaire $G = |\alpha'/\alpha|$ de la lunette en fonction de f'_1 et f'_2 . Application numérique.

Pour aller plus loin

3.10 Pouvoir séparateur de l'œil

On sait qu'on peut distinguer l'épaisseur d'un cheveu : on dit que le *pouvoir séparateur de l'œil* correspond à l'épaisseur d'un cheveu. En fait, le pouvoir séparateur de l'œil est un *angle* : par définition, c'est l'angle le plus petit sous lequel on arrive à distinguer deux points.

On se propose de retrouver ce résultat dans le cadre du modèle où l'œil, de profondeur 22 mm, est assimilé à une lentille convergente.

Quand on veut distinguer deux points extrêmes d'un objet AB dans les meilleures conditions possibles, on place spontanément cet objet au punctum proximum (PP), qui, pour un œil normal, se situe à environ 25 cm de l'œil. On considère alors que pour pouvoir séparer les images de deux points A et B , il faut que ces images A' et B' se forment sur deux cônes séparés par au moins un cône intermédiaire. Les cônes qui tapissent la rétine ont un diamètre d'environ 4 microns.

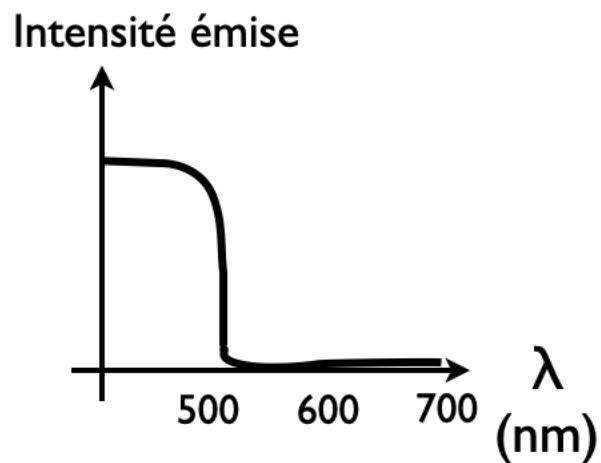
1. Faire un schéma montrant la situation (objet AB situé au PP , œil assimilable à une lentille convergente, image $A'B'$ supposée formée sur la rétine).
2. Quelle doit être la distance minimale qui sépare les deux points images A' et B' ? En déduire l'angle sous lequel est vu l'objet AB .
3. Quelle est la distance qui sépare les deux points objets A et B ? Comparer la valeur obtenue à celle de l'épaisseur d'un cheveu.

Note : le pouvoir séparateur de l'œil correspond au diamètre d'un cheveu au punctum proximum mais cela n'empêche pas de voir un cheveu même s'il est nettement plus éloigné, à un ou deux mètres par exemple, à condition que le contraste soit suffisant.

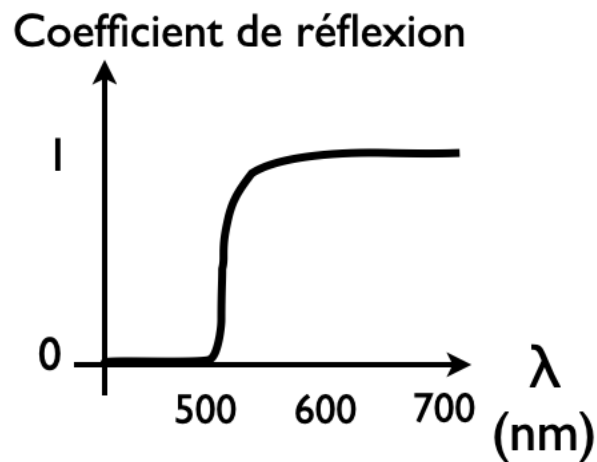
Exercices du chapitre 4 : Spectroscopie et couleurs

4.1 Spectre émission, réflexion, transmission

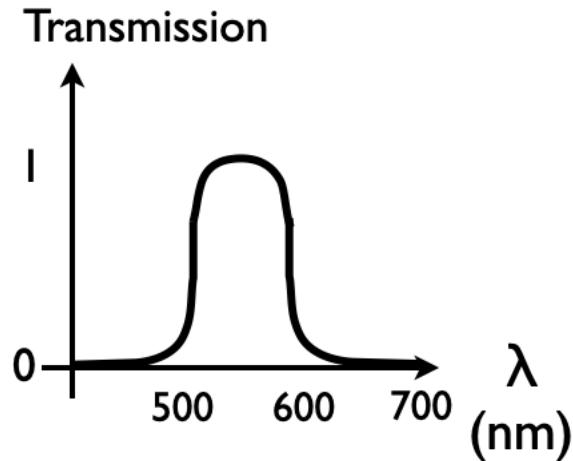
1. Quelle est la couleur de la source de lumière ayant le spectre d'émission suivant :



2. Quelle est la couleur de l'objet ayant le spectre de réflexion suivant :



3. Quelle est la couleur du filtre ayant le spectre de transmission suivant :



4.2 Couleurs de la lumière

Déterminer les couleurs des cas suivants :

1. Couleur d'une lumière verte réfléchiée par un objet rouge ?
2. Couleur d'une lumière jaune réfléchiée par un objet magenta ?
3. Couleur d'une lumière jaune transmise par un filtre bleu ?
4. Couleur d'une lumière cyan transmise par un filtre jaune ?
5. Couleur d'une lumière rouge transmise par un filtre cyan ?
6. Couleur d'une lumière rouge réfléchiée par un objet vert ?

4.3 Couleurs de drapeaux

On considère les drapeaux suivants de la France et de l'Italie qui sont composés de trois bandes verticales :

Drapeau français

bleu	blanc	rouge
------	-------	-------

Drapeau italien

vert	blanc	rouge
------	-------	-------

1. Indiquer sur un schéma l'allure des spectres de réflexion diffuse de chacun des bandes colorées lorsque ces drapeaux sont éclairés par une lumière blanche.
2. De quelle couleur apparaissent les bandes de ces drapeaux éclairés avec une lumière bleue ? Une lumière rouge ?
3. Faire le même raisonnement avec les drapeaux du Mali (vert-jaune-rouge) et de la Belgique (noir-jaune-rouge)

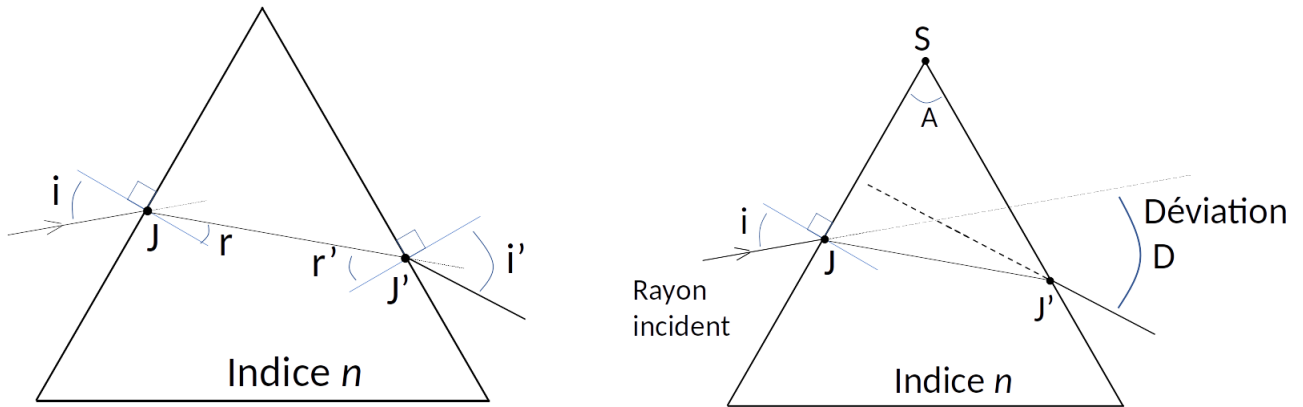
4.4 Dispersion par un prisme (correction question poly. de cours chapitre 4 partie 2-b)

On a vu que l'angle de réfraction dépend de la couleur. De manière plus rigoureuse d'un point de vue physique, on peut donc dire que l'indice de réfraction dépend de la fréquence de l'onde. En effet, toutes les longueurs d'onde qui compose le faisceau de lumière blanche arrivent sur le prisme avec le même angle d'incidence sur le dioptré et sont dispersées en sortie de ce dernier. Montrer que cela implique nécessairement pour les indices que $n_{Bleu} > n_{Rouge}$ (faire un dessin).

4.5 Dispersion par un prisme

On rappelle ici les propriétés de déviation d'un faisceau par un prisme pour examiner comment la variation de l'indice avec la fréquence entraîne une variation de l'angle de déviation selon la couleur.

On raisonne pour un prisme d'angle au sommet 60° . Les notations sont rappelées sur les schémas suivants :



L'exercice 1.8 a justifié que $D = i + i' - A$, sachant que par ailleurs on a $\sin i = n \sin r$ (1) et $\sin i' = n \sin r'$ (2) et aussi $A = r + r'$ (3).

Si le faisceau incident contient plusieurs longueurs d'onde associées à des valeurs distinctes de n , alors r, r', i' et D auront des valeurs spécifiques pour chaque λ .

On justifie physiquement la dépendance de l'indice optique avec λ en étudiant les mécanismes microscopiques du mouvement des électrons d'un atome soumis au champ électrique d'une onde électromagnétique.

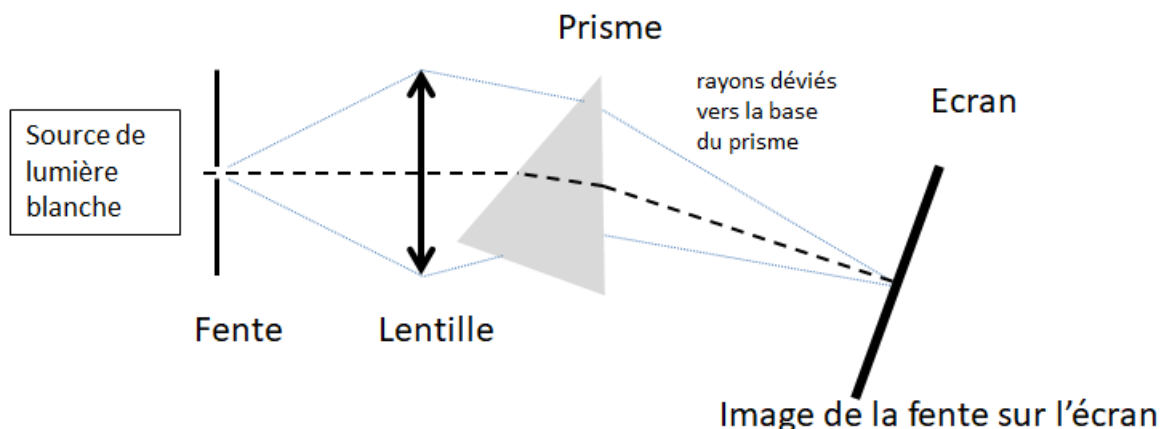
1. L'exercice 1.4 a établi la propriété suivante : si le prisme est orienté afin d'être au minimum de déviation pour λ donné, on a $r_m = A/2 = 30^\circ$ et $\sin i_m = n \sin r_m$ puis $D_m = 2i_m - A$. Utiliser ces relations pour remplir les cases vides du tableau suivant :

couleur	λ (nm)	indice n	$i_m(^{\circ})$	$r_m(^{\circ})$	$D_m(^{\circ})$
UV proche	361	1,539			
bleu sombre	434	1,528			
bleu-vert	486	1,523	49,60	30	39,19
jaune	589	1,517	49,33	30	38,66
rouge	656	1,514	49,20	30	38,40
rouge sombre	768	1,511	49,07	30	38,14

2. Le prisme est éclairé par un faisceau blanc (donc contenant toutes les longueurs d'onde citées dans le tableau) avec l'angle d'incidence $i = i_m(\text{jaune}) = 49,33^{\circ}$ pour toutes les couleurs. Déterminer pour chacune r , r' , i' puis D par les relations données au 1) Compléter les cases vides du tableau suivant :

couleur	λ (nm)	indice n	$i(^{\circ})$	$r(^{\circ})$	$r'(^{\circ})$	$i'(^{\circ})$	$D(^{\circ})$
UV proche	361	1,539	49,33				
bleu sombre	434	1,528	49,33				
bleu-vert	486	1,523	49,33	29,87	30,13	49,86	39,19
jaune	589	1,517	49,33	30,00	30,00	49,33	38,66
rouge	656	1,514	49,33	30,07	29,93	49,07	38,40
rouge sombre	768	1,511	49,33	30,13	29,87	48,81	38,14

3. On réalise l'expérience schématisée ci-dessous. L'image de la fente se forme sur l'écran à une position plus ou moins déviée selon sa couleur. On suppose que la distance prisme-écran est de 50 cm. Quelle est la distance sur l'écran entre les images de la fente bleu sombre et rouge sombre ?



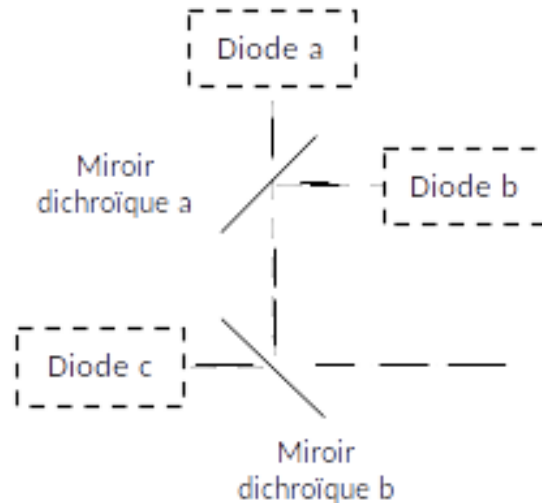
4.6 Fabrication d'une lumière blanche à partir de diodes électroluminescentes

Les diodes électroluminescentes (Light Emitting Diodes (LED) en anglais) sont largement utilisées pour l'affichage. Avec l'évolution de cette technologie, un grand nombre de diodes couvrant l'ensemble du spectre de l'ultraviolet à l'infrarouge sont disponibles. On souhaite ici réaliser une source dans le visible à partir d'une association de ces diodes. Pour cela, nous disposons des diodes avec les caractéristiques suivantes (on considère que les spectres sont représentés par une gaussienne et la largeur spectrale indiquée correspond à la largeur à mi-hauteur de la gaussienne) :

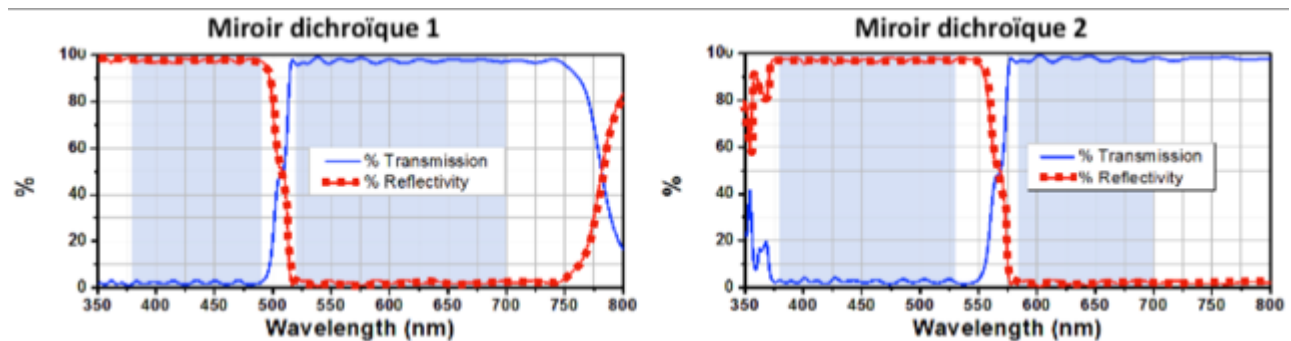
Nom	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Longueur d'onde centrale	365 nm	465 nm	525 nm	635 nm	850 nm	1050 nm
Largeur à mi-hauteur du spectre d'émission	15 nm	25 nm	35 nm	15 nm	40 nm	55 nm

1. Quelles sont les diodes qui peuvent permettre de réaliser une source de lumière visible ? Tracer les différents spectres sur un même graphique. Quelle sera la couleur de la source de lumière issue de la combinaison de ces diodes ? Quelle synthèse des couleurs est ici mise en œuvre pour prédire la couleur obtenue ?

On propose de réaliser le montage optique ci-après pour réaliser cette source.



Un miroir dichroïque a la propriété de réfléchir certaines longueurs d'onde et d'en transmettre d'autres. On dispose de deux miroirs dichroïques dont on connaît les propriétés spectrales d'après les spécifications du fabricant (spectres ci-dessous). Malheureusement, les références des miroirs ont été perdues, l'utilisateur doit donc les identifier visuellement pour savoir lequel est le miroir 1 ou le miroir 2



2. Repérer sur les spectres les longueurs d'ondes associées au bleu, au vert, au rouge. En déduire de quelle couleur doit apparaître chacun des miroirs en réflexion éclairés par une source de lumière blanche. Cette couleur est-elle identique en transmission ? Si non, indiquez quelle est la couleur de chacun des miroirs observés en transmission.
3. Indiquer comment les diodes et les miroirs doivent être placés dans le montage précédent, connaissant leurs propriétés spectrales, afin d'obtenir à la sortie du montage une lumière qui s'approche d'une lumière blanche.
4. Une fois le montage réalisé, on essaie d'éclairer différents objets pour vérifier que les trois diodes fonctionnent bien et pour observer le rendu des couleurs. On constate qu'une pomme rouge et un citron jaune apparaissent tous les deux rouge à l'observateur. Quelle est la diode défectueuse dans le montage précédent ?

Exercices de l'annexe B : Mesures physiques, incertitudes et modélisation

5.1 Incertitude relative

1. Une lentille mince a pour distance focale $f' = (10,0 \pm 0,6)$ cm. Donner l'incertitude relative de la distance focale f' (en %)
2. La vitesse de propagation v d'une onde électromagnétique dans un milieu d'indice n a été mesurée : la valeur obtenue est $v = 2,01326 \cdot 10^8$ m/s et l'incertitude relative est de 2%. Quelle est la valeur de δn de l'incertitude sur l'indice n ?

5.2 Volume d'une bille

On mesure le diamètre D d'une bille d'acier à l'aide d'un pied à coulisse au de $\frac{1}{50}$ mm près. On lit $D = 10,02$ mm. Ecrire D avec son incertitude absolue sous la forme $D = \dots \pm \dots$. Quel est le volume V de la bille, avec son incertitude ? Ecrire le résultat sous la forme $V = \dots \pm \dots$.

5.3 Incertitude sur le sinus d'un angle

Connaissant l'incertitude sur i (en degrés), quelle est l'incertitude sur $\sin i$?

Application numérique : compléter le tableau ci-contre.

$i(^{\circ})$	$\delta i(^{\circ})$	$\delta i(rad)$	$\sin i$	$\cos i$	$\delta \sin i$
2,5	1				
35	1,5				
40	2,5				

5.4 Incertitude sur une grandeur mesurée indirectement

Au cours du TP S1-S2, l'une des méthodes pour déterminer l'indice optique n d'un matériau est la mesure du minimum de déviation D_m d'un rayon lumineux en fonction de son angle d'incidence sur un prisme d'angle au sommet A . La modélisation montre la relation :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

L'incertitude sur la mesure de D_m est notée δD_m . L'incertitude sur la valeur de n s'en déduit par la formule $\delta n = |\frac{dn}{dD_m}| \delta D_m$ (méthode de la dérivée). Dans cette formule, A est un paramètre constant. Exprimer δn en fonction de A , D_m , et δD_m .

5.5 Puissance dissipée dans une résistance électrique

Une résistance R soumise à un courant électrique I délivre une puissance P donnée par la relation supposée $P = RI^2$. Pour vérifier cette relation, un étudiant applique différents courants à une résistance inconnue immergée dans de l'eau dont l'augmentation de température renseigne sur la puissance dissipée. Les résultats sont reportés sur le graphe ci-joint. Les incertitudes sur I et I^2 sont négligeables.

1. Les points de mesures vous semblent-ils en accord avec la relation attendue ? Pourquoi ?
2. On cherche à ajuster les mesures par une droite. Que représente la pente de cette droite ? En quelle unité s'exprime-t-elle ?
3. Utiliser le graphe ci-joint pour déterminer la pente de la droite ajustant au mieux les mesures. Quelle est l'incertitude sur la valeur de la pente ? Exprimer le résultat sous la forme $x \pm \delta x$.

