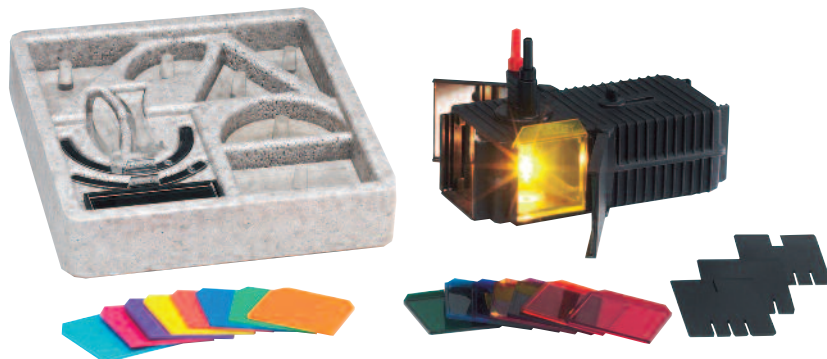


Notice

Coffret d'optique

GEO 30

Réf. 02348



I. DESCRIPTIF

Ensemble permettant de réaliser de nombreuses expériences classiques d'optique géométrique, on citera : étude de la réflexion, réfraction, des lentilles ; lumière et couleurs... etc.

Les éléments composant l'ensemble sont présentés dans un coffret de rangement :

■ La source lumineuse est composée d'une ampoule (12 V/30 W), à filament boudiné et rectiligne, installée dans un boîtier équipé de divers dispositifs permettant :

- une sortie de faisceaux optiques dont la convergence est réglable grâce à une lentille amovible
- une sortie de lumière éclairante
- l'obtention de deux faisceaux supplémentaires grâce à deux miroirs pivotant placés aux deux côtés du boîtier

■ Un jeu de systèmes optiques simples comprenant 11 pièces :

- une lame à faces parallèles (50 x 80 mm)
- trois miroirs différents
- trois prismes rectangulaires : équilatéral et à réflexion totale (prisme isocèle rectangulaire)
- une lentille demi-circulaire (\varnothing 80 mm)
- deux lentilles biconvexes ($F = 7,5$ cm et $F = 15$ cm)
- une lentille biconcave ($F = 15$ cm)

■ Un jeu de deux plaques obturatrices à 1, 2, 3 fentes étroites ou à fente large

■ Un jeu de six filtres et un jeu de cartes de couleurs différentes

La source lumineuse sera alimentée par un générateur de courant à basse tension 12 V (réf. 01981).

Important : les miroirs sont recouverts d'une pellicule de protection (à ôter lors de l'utilisation).

II. FONCTIONNEMENT

L'ensemble optique (réf. 02348) est destiné à être manipulé par les élèves, à plat sur des supports horizontaux que sont leurs paillasse. Cependant on peut l'utiliser sur un support vertical également (tableau, panneau métallique) en appliquant des autocollants magnétiques sur la base de ses éléments.

Pour faciliter l'exploitation des résultats, on manipule les éléments sur une feuille de papier-support (avec disque gradué ou non), la trace des trajets optiques y sera inscrite.

Il est important de protéger les faces des éléments optiques de toutes taches et éraflures. Les manipuler par leur index de préhension.

Pour obtenir des faisceaux de rayons parallèles, utiliser le curseur de réglage de la convergence. Ouvrir les volants du boîtier dès que c'est possible pour éviter l'échauffement du boîtier.

III. EXPÉRIENCES

A - Réflexion :

■ *Réflexion d'un rayon seul :*

Matériel :

- source côté "faisceau" et plaque obturatrice à 1 fente
- miroir plan
- disque rapporteur

Placer le miroir sur le papier-support selon un diamètre du disque gradué. Diriger le rayon lumineux exactement au centre du disque. Repérer le trajet optique par rapport à la surface réfléchissante du miroir.

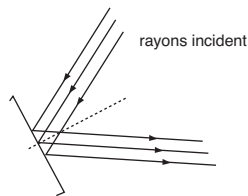
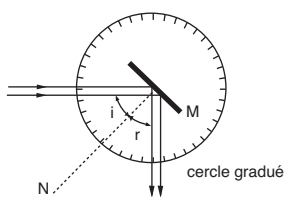
Mesurer la valeur des angles d'incidence (i) et de réflexion (r), par rapport à la normale au miroir plan, passant par le point d'incidence.

Répéter les mesures des angles i et r après avoir fait varier légèrement l'angle d'incidence i .

● *Etudier les cas extrêmes :*

- le rayon incident est perpendiculaire à la surface réfléchissante ($i = 0^\circ$)
- le rayon incident rase la surface réfléchissante du miroir ($i = 90^\circ$)

Vérifier la relation de Descartes $i = r$ quelle que soit l'orientation du rayon d'incident.



■ *Réflexion d'un faisceau lumineux :*

Projeter un faisceau à trois rayons sur le miroir. Vérifier l'égalité $i = r$ pour chaque rayon.

Examiner la position des rayons les uns par rapport aux autres : avant et après la réflexion.

Observer la réflexion d'un faisceau divergent puis d'un faisceau convergent. Rappeler que pour obtenir des rayons divergents ou convergents, on intercale entre la source et le miroir une lentille divergente ou convergente suivant les cas.

■ *Image donnée par un miroir plan :*

Par cette expérience on essaiera de localiser la position d'un point image par rapport au point objet et au miroir plan :

Utiliser un faisceau convergent. Pointer la position du point-objet S, point de concours des rayons sortant de la source, sur la feuille de papier-support.

Placer le miroir plan sur le trajet du faisceau optique. Le point-image S' étant le point de concours des rayons après réflexion sur le miroir, noter sa position ainsi que l'emplacement du miroir.

Répéter les mêmes opérations pour d'autres point-objet/point-image.

Un point-objet réel a, dans un miroir, un point-image virtuel. Un point-objet virtuel a un point-image réel, symétrique de l'objet par rapport au miroir.

■ Réflexions multiples :

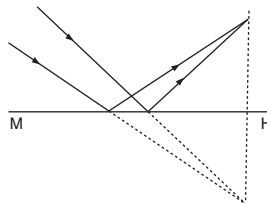
Matériel :

- source à un seul rayon

- deux miroirs

Placer deux miroirs formant une équerre (90°) sur le trajet d'un rayon lumineux.

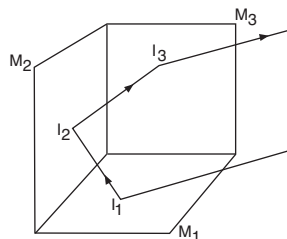
Observer le rayon de réflexion finale. Comparer la direction du rayon réfléchi à celle du rayon d'incident.



Faire la même observation pour différentes valeurs de l'angle incident.

Refaire l'expérience avec les miroirs formant un angle quelconque.

Pour aller plus loin confectionner un réflecteur composé de trois miroirs (formant un triangle rectangulaire et isocèle) collés perpendiculairement, faces réfléchissantes tournées vers l'intérieur. Etudier la réflexion du rayon lumineux sur un réflecteur à trois dimensions. La distance Terre-Lune a été déterminée à l'aide d'un réflecteur à trois dimensions.



■ Rotation d'un miroir plan :

Placer le miroir au centre du disque gradué. Projeter un rayon d'incidence sur le miroir, le rayon lumineux passe par le centre du disque. Noter la position du miroir, du rayon incident et du rayon réfléchi.

Faire varier la position du miroir en le replaçant sur un autre diamètre du disque, faisant ainsi un angle par rapport à une position donnée.

Noter la variation de l'angle d'incidence, et de l'angle de réflexion. La comparer avec l'angle de rotation du miroir.

On constate que le rayon réfléchi tourne d'un angle double de celui du miroir.

La réflexion sur un miroir plan tournant trouve son application dans les galvanomètres de précision où une rotation de faible amplitude est rendue perceptible.

■ Réflexion dans un miroir circulaire et concave :

Matériel :

- source avec plaque à trois fentes

- miroir circulaire (rayon inférieur = $3,50 \text{ cm} \pm 0,05$)

Tracer sur le papier-support un cercle de rayon $r = 3,5 \text{ cm}$ avec deux diamètres perpendiculaires. Repérer le centre géométrique du cercle. Disposer le miroir d'après le tracé, symétriquement par rapport à l'un des deux diamètres.

Projeter le faisceau lumineux parallèlement à l'axe de symétrie du miroir. Repérer les rayons d'incidence et de réflexion. Vérifier si on obtient une caustique (les rayons réfléchis convergent en un seul point).

Décaler légèrement le faisceau tout en conservant la même direction. Refaire les mêmes opérations et les mêmes observations.

Déterminer la distance focale CF du miroir (distance séparant le centre du cercle au point de concours des rayons réfléchis).

Pour aller plus loin, exprimer la distance CF (centre-foyer focal du miroir) en fonction de l'angle d'incidence i et du rayon R du cercle.

Exprimer les facteurs déterminants pour le fonctionnement d'un four solaire de forme sphérique.

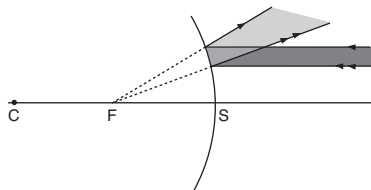
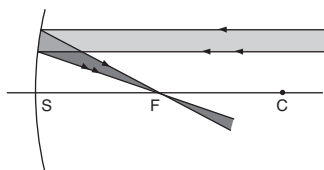
■ Réflexion sur un miroir convexe :

Diriger un faisceau de rayons parallèles sur la face externe du miroir circulaire. Le papier-support indique l'emplacement du miroir ainsi que son axe de symétrie.

Repérer la direction et le sens d'évolution des rayons réfléchis. On obtient un faisceau divergent.

Déterminer le foyer focal virtuel; la distance focale du miroir.

Pour aller plus loin, mesurer l'angle d'incidence et l'angle de réflexion de chaque rayon. Vérifier si les lois de la réflexion sont valables dans le cas d'un miroir non plan.



■ Réflexion dans un miroir parabolique :

Matériel :

- source avec plaque à trois fentes

- miroir parabolique (largeur du bord à bord = 8,1 cm)

Tracer un segment de 8,1 cm de longueur. Tracer la médiatrice du segment. Disposer le miroir parabolique d'après le tracé, symétriquement par rapport à la médiatrice.

La réflexion dans un miroir parabolique permet de faire les mêmes observations que dans le cas d'un miroir circulaire. Déterminer le foyer de la parabole.

Les projecteurs à miroir parabolique donnent un faisceau plus parallèle à partir d'un faisceau d'ouverture quelconque issu de leur foyer, ce qui n'est pas le cas des projecteurs à miroirs sphériques.

B - REFRACTION :

Le phénomène de réfraction est régi par les lois de Descartes :

- Le rayon réfracté est dans le même plan d'incidence défini par le rayon d'incidence et la normale au point d'incidence,

- L'indice de réfraction du milieu réfracté par rapport au milieu d'incidence est constant.

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad \text{on note :} \quad n(2/1) = \frac{n_2}{n_1}$$

Si n est supérieur à 1 : le milieu réfracté est plus réfringent que le premier, et inversement si n est inférieur à 1 le milieu réfracté est moins réfringent que le premier.

■ Réfraction à travers une lentille demi-circulaire :

Matériel :

- source donnant un faisceau à un seul rayon

- lentille demi-circulaire

- disque gradué comme papier-support

Disposer la source de lumière de telle façon que le rayon lumineux soit confondu avec la ligne des 0° du disque gradué. Régler le parallélisme du rayon lumineux. Placer le demi-cylindre dans le centre du disque tel que la face plane soit perpendiculaire au rayon lumineux. Le rayon traverse la lentille sans être dévié.

Faire tourner le disque délicatement de 10 en 10 degrés, le rayon lumineux passe toujours par le centre du disque. Observer et noter les angles d'incidence, de réflexion et de réfraction pour chaque position de la source.

Compléter le tableau suivant :

position	i	r	sin i	sin r	n	(i - r)	i/r

Calculer la valeur moyenne des n .

On en déduit l'indice n du plexiglas par rapport à l'air $n = \sin i / \sin r$.

Noter l'angle de réfraction dans le cas particulier où le rayon d'incidence rase la surface réfringente.

■ Réfraction limite - réflexion totale :

Matériel : les mêmes que dans l'expérience ci-dessus.

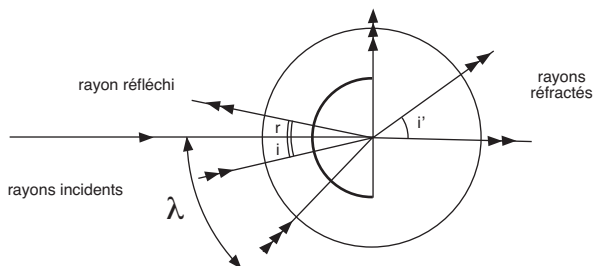
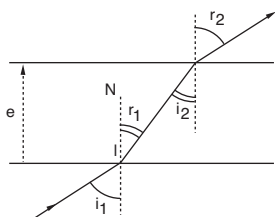
Disposer la source pour obtenir un rayon dans l'axe des 0° . Placer la lentille demi-circulaire dans le centre du disque, face cylindrique tournée vers la source. Le rayon ne change pas de direction.

Faire tourner le disque de 10 en 10 degrés. Vérifier que le point d'émergence du rayon réfracté coïncide avec le centre du disque avant de mesurer l'angle du rayon réfracté.

Continuer d'augmenter l'angle d'incidence jusqu'à ce que le rayon réfracté commence à disparaître, la réflexion commence à être totale. Déterminer l'angle que l'on appellera l'angle limite, caractéristique des deux milieux air-plexiglas. Vérifier que l'angle limite a toujours la même valeur telle que :

$$\sin \lambda = \frac{1}{n} \quad (n \text{ étant l'indice de réfraction déterminé dans l'expérience ci-dessus})$$

Comparer la valeur de l'angle limite avec l'angle du rayon réfracté de l'expérience précédente dans le cas de l'incidence rasante ($i = 90^\circ$).



■ Réfraction à travers une lame à faces parallèles :

Matériel :

- source à un seul rayon
- prisme rectangulaire

Diriger le rayon lumineux perpendiculairement à la face la plus large du prisme. On constate que le rayon incident subit deux réfractions successives sans subir de déviation ni de modification de direction.

Modifier ensuite la position du prisme pour obtenir différents angles d'incidence.

Retracer la marche du rayon lumineux dans chaque situation.

Mesurer les angles et compléter le tableau suivant :

REFRACTION A LA FACE 1

$$i_1 \quad r_1 \quad n_1 = \sin i_1 / \sin r_1$$

REFRACTION A LA FACE 2

$$i_2 \quad r_2 \quad n_2 = \sin i_2 / \sin r_2$$

(n_1, n_2 étant respectivement l'indice de réfraction du plexiglas par rapport à l'air et l'indice de réfraction de l'air par rapport au plexiglas).

On constate que le rayon émergent est parallèle au rayon incident.

Comparer les indices de réfraction à 1 :

- indice supérieur à 1 : le milieu dans lequel se propage la lumière réfractée est plus réfringent que le milieu dans lequel se propage la lumière incidente.
- indice inférieur à 1 : le deuxième milieu est moins réfringent que le premier.

Vérifier si les indices n_2 sont les inverses des n_1 .

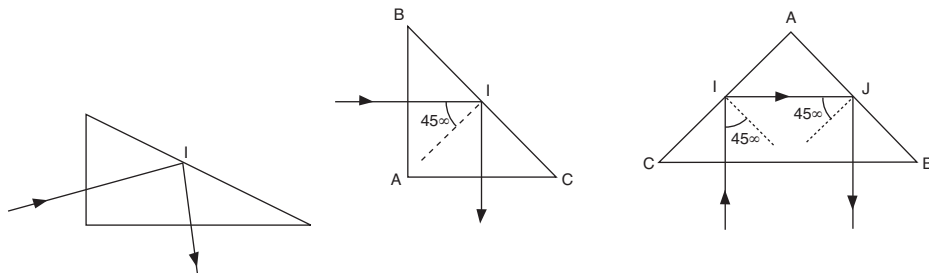
■ Réfraction : Prisme triangulaire

Matériel :

- source un seul rayon
- prisme triangulaire (30° ; 60° ; 90°)

Disposer la source et le prisme de manière que la réflexion soit totale : le rayon pénètre par le premier côté, se réfléchit sur l'hypothénuse du prisme et émerge par le troisième côté.

Observer la marche du rayon lumineux. Etudier la réflexion totale de la lumière au niveau de l'hypothénuse du prisme retrouver le même angle limite que précédemment.



■ Réflexion totale : prisme réflecteur

Matériel :

- source et plaque obturatrice 1 ; 3 fentes
- prisme triangulaire (45°, 45°, 90° rectangle et isocèle)
- feuille plastique transparent et feutres de couleur

Diriger le rayon lumineux perpendiculairement à l'hypothénuse du prisme, le point d'incidence situé à 1/4 de la longueur de l'hypothénuse.

Observer la réflexion du rayon lumineux à l'intérieur du prisme : Le rayon se réfléchit totalement dans le prisme pour redonner un rayon parallèle, de sens opposé au rayon incident.

Refaire l'expérience avec un faisceau à trois rayons de couleurs différentes : découper un petit morceau de feuille plastique transparente: colorer à l'aide des feutres, trois traits de couleurs différentes couvrant les trois fentes.

Observer l'ordre des rayons du faisceau incident, puis l'ordre des rayons du faisceau émergent.

Disposer un deuxième prisme à la suite du premier. Observer la réflexion du faisceau lumineux ainsi que l'ordre des rayons, formuler une règle prévoyant l'inversion de l'image sortant d'un système composé de prismes réflecteurs.

■ Double Réfraction : Déviation par un prisme

Matériel :

- source à un seul rayon
- prisme équilatéral (60° ; 60° ; 60°)

Diriger le rayon vers une face du prisme, en adoptant la direction parallèle à celle de la base du prisme. Le rayon s'émerge du troisième côté après avoir subi deux réfractions successives.

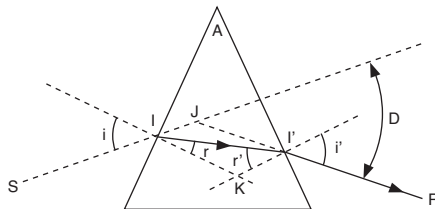
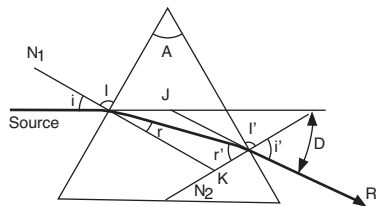
Retracer le trajet du rayon à travers le prisme. Mesurer l'angle d'incidence i , l'angle de réfraction r , l'angle r' (d'incidence arrivant sur la troisième face du prisme) et l'angle i' du rayon émergent par rapport à la normale passant par le point d'émergence du rayon.

Vérifier les relations suivantes :

$$\sin i = n \cdot \sin r \quad n \text{ étant l'indice de réfraction du prisme}$$

$$r + r' = A \quad A \text{ étant l'angle du prisme}$$

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



Le rayon est dévié par le prisme d'un angle D, vérifier également que $D = i + i' - A$. Cette déviation D dépendant de A et de n, varie avec l'angle d'incidence i.

■ Double Réfraction : La déviation minimum

Matériel :

- source à un seul rayon
- différents prismes ($A=30^\circ$; $A=45^\circ$; $A=60^\circ$; $A=90^\circ$)

Diriger le rayon sur une face adjacente à l'angle A du prisme. Le rayon d'incidence est perpendiculaire à cette face.

Faire varier l'angle d'incidence, en faisant pivoter le prisme autour de l'axe passant par A. Mesurer l'angle d'incidence i et la déviation D correspondante pour chaque position.

Repérer la position pour laquelle l'angle de déviation est minimum. Constaté que la déviation passe par un minimum quand le trajet du rayon émergent est symétrique à l'angle incident par rapport au plan bissecteur du prisme.

Répéter l'expérience avec d'autres prismes.

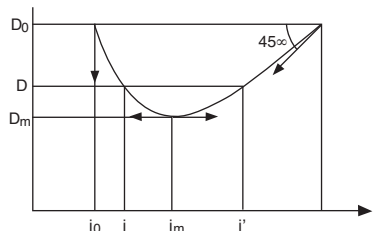
Compléter le tableau ci-dessous après avoir repéré la position pour laquelle l'angle de déviation est minimum :

A	Angle d'incidence i	déviation minimum Dm
60°		
30°		
45°		
90°		

Etudier le cas particulier d'un prisme présentant un angle $A = 90^\circ$.

Vérifier que la déviation minimum est liée aux caractéristiques D et n d'un prisme par la relation :

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



qui permet de calculer l'indice n à partir des valeurs A et Dm, Dm obtenu expérimentalement.

C - Les lentilles

Une lentille est un milieu transparent limité par deux calottes sphériques (l'une de ces deux surfaces peut être plane). Les rayons R , R' de ces calottes sphériques sont appelés rayons de courbure; l'axe de symétrie passant par leur centre (ou passant par un centre et perpendiculaire à la face plane) est appelé l'axe optique de la lentille.

Le centre optique O de la lentille supposée mince est un point où l'axe optique perce la lentille. Tout rayon passant par le centre optique d'une lentille la traverse sans subir de déviation.

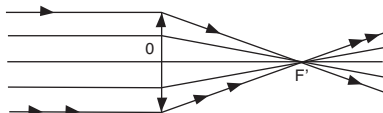
■ Lentilles convergentes : Distance focale

Matériel :

- source munie d'une plaque à 3 fentes
- deux lentilles biconcaves et la lentille demi-circulaire

Préparer le papier-support : tracer un segment de longueur (5,75 - 6,3 - 7,1 cm en fonction de la lentille choisie) correspondant à la distance séparant les bords minces de la lentille.

Tracer ensuite la médiatrice du segment. La lentille sera disposée d'après ces axes, le faisceau sera projeté parallèlement à l'axe de symétrie de la lentille.



Éclairer une des deux faces de la lentille. Repérer le trajet des rayons incidents et émergents. Replacer ensuite la source du côté opposé pour éclairer la deuxième face.

Répéter les mêmes opérations de repérage.

Pour chaque lentille, déterminer les points de convergence (F et F') des 3 rayons émergents. On obtient ainsi les foyers principaux de la lentille.

Déterminer les distances focales (distances du centre optique au foyer).

Remarque : pour les lentilles minces ou les lentilles parfaitement symétriques $R = R'$, $OF = OF' = FF'/2$, les deux foyers principaux sont symétriques par rapport au centre optique.

La lentille demi-circulaire donne des valeurs OF ; OF' sensiblement différentes.

Vérifier, après avoir déterminé les rayons de courbure des deux faces, la formule :

$$\frac{1}{OF} = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) \quad n : \text{indice de réfraction } 1,5 \text{ (plexiglas - air)}$$

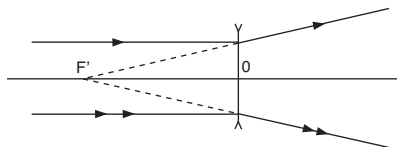
■ Lentilles divergentes : lentilles biconcaves

Matériel :

- source avec plaque à 3 fentes
- lentille biconcave

Préparer le papier-support de la lentille comme dans l'expérience ci-dessus. Projeter l'une puis l'autre face de la lentille avec un faisceau aux rayons parallèles le faisceau doit être parallèle à l'axe principal de la lentille.

reproduire la marche des rayons lumineux sur le papier-support. Déterminer, par prolongement des droites, le foyer virtuel de la lentille.



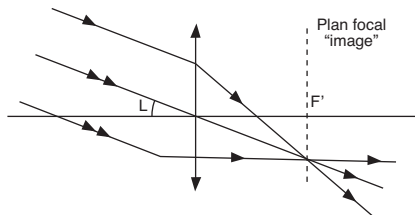
■ Les Lentilles : Les plans focaux

Matériel :

- source avec plaque à 3 fentes
- les lentilles biconvexes ou biconcaves
- disque gradué (ajouter quelques droites supplémentaires autour de l'axe des zéros)

Disposer la lentille au centre du disque, sur un diamètre. Projeter le faisceau lumineux parallèlement à l'axe principal. Déterminer le foyer principal.

Faire incliner légèrement la lentille sur l'axe principal dans un sens ou dans l'autre, on obtiendra différents foyers secondaires, tous contenus sur un segment (ou un plan dans l'espace) perpendiculaire à l'axe principal et coupant cette droite au foyer principal F . Ce plan est appelé le plan focal "image" de la lentille.



IV - LES COULEURS ET LA LUMIÈRE

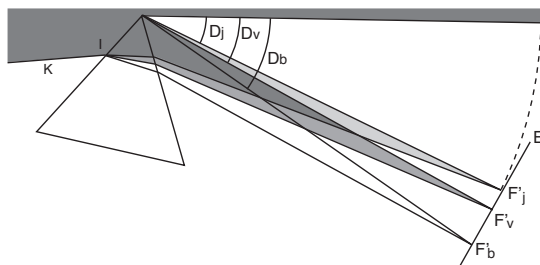
■ La dispersion de la lumière blanche :

Matériel :

- source 1 faisceau large
- prisme équilatéral

Diriger le faisceau à travers le prisme équilatéral de façon à obtenir une déviation maximum. Intercepter le faisceau émergent par un écran blanc (feuille de papier...).

Le rayon de lumière blanche se décompose en donnant un spectre coloré à la sortie du prisme. Le spectre obtenu avec la lumière blanche est un spectre continu, on en déduit que la lumière blanche contient une infinité de radiations lumineuses.



■ Absorption des couleurs :

Matériel :

- source avec plaque à fente large
- prisme équilatéral ($A = 60^\circ$)
- les filtres (rouge-orange-jaune-vert-bleu-indigo-violet)

Disposer la source et le prisme pour obtenir un spectre comme dans l'expérience précédente. Puis placer le filtre ROUGE devant la plaque obturatrice. Observer le spectre de la lumière rouge : on peut considérer que la lumière sortant du filtre est une lumière simple ou monochromatique.

Replacer le filtre rouge entre le prisme et l'écran sur le trajet du faisceau de lumières colorées. Observer les parties du spectre correspondant aux lumières autres que le rouge.

Refaire l'expérience avec d'autres filtres, d'abord simple puis associer avec un autre filtre.

Compléter le tableau semblable à celui proposé ci-dessous, en indiquant si la lumière est transmise ou si elle est absorbée.

PRINCIPALES RADIATIONS DE LA LUMIERE BLANCHE

FILTRES	rouge	orange	jaune	verte	bleue	indigo	violette
rouge							
bleu							
jaune							

■ *Expérience de Newton :*

Matériel :

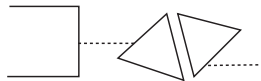
- source avec une fente large
- 2 prismes équilatéraux (ou 1 prisme équilatéral et 1 prisme triangulaire 60°-30°-90°)

Disposer un prisme 60° sur le trajet du faisceau lumineux afin d'obtenir son spectre.

Intercepter le faisceau de lumières dispersées avec le deuxième prisme 60° qui est placé de telle manière que leurs faces soient parallèles et séparées d'une faible distance.

On constate que le deuxième prisme recombine les différentes radiations du spectre en lumière blanche, en même temps il restitue la direction qu'à prise le rayon incident.

L'expérience du disque de couleurs de Newton démontre qu'une superposition des sept couleurs du spectre donne la couleur blanche.



■ *Couleur d'un objet :*

Matériel :

- source de lumière éclairante ou avec plaque à fente large
- filtres de couleur,
- cartons de différentes couleurs

Colorier le faisceau incident en plaçant les filtres colorés devant la source.

Placer un canon de couleur donnée devant une feuille de papier blanc. Eclairer à la fois le carton coloré et le support blanc. Observer la couleur des "rayons réfléchis".

Changer de carton puis refaire la même observation. Noter les observations sur un tableau du type :

Source Objet	"blanche"	rouge	orange	jaune	verte	bleue
rouge	rouge					"noir"
orange	orange					"noir"
jaune	jaune	o. foncé	o. pale		v. clair	"noir"
etc...						

Pour mieux discerner la coloration du rayon réfléchi disposer du papier blanc de façon à ce que la partie non éclairé du carton soit cachée.

■ *Composition des couleurs primaires*

Matériel :

- source côté éclairant
- filtres rouge, jaune et bleu

Ecarter les miroirs latéraux du boîtier. Placer les trois filtres chacun dans son logement. On obtient trois faisceaux dont deux sont dirigeables selon la position des miroirs latéraux. Faire superposer les zones éclairées sur un écran blanc pour obtenir une composition de ces lumières. Observer la composition de deux, de trois couleurs dites primaires.

LISTE DES EXPERIENCES :

■ I - REFLEXION

- Réflexion d'un rayon seul
- Réflexion d'un faisceau lumineux
- Image donnée par un miroir plan
- Réflexions multiples.
- Rotation d'un miroir plan.
- Réflexion dans un miroir circulaire et concave
- Réflexion sur un miroir convexe
- Réflexion dans un miroir parabolique

■ II - REFRACTION

- Réfraction - Lentille demi-circulaire
- Réfraction limite - Réflexion totale
- Réfraction - Lames à faces parallèles
- Réfraction - Prisme triangulaire .
- Réflexion totale - Prisme réflecteur
- Double réfraction - Déviation par un prisme.
- Déviation minimum

■ III - LES LENTILLES

- Lentilles convergentes - Distance focale .
- Lentilles divergentes
- Plans focaux

■ IV - LES COULEURS ET LA LUMIERE

- La dispersion de la lumière blanche
- Absorption des couleurs
- Expérience de Newton
- Couleur d'un objet
- Composition des couleurs primaires

NOTES

DIDACTIK S.A.S. - PIERRON Education - Parc Industriel Sud - Z.I. Gutenberg
2, rue Gutenberg - B.P. 80609 - 57206 SARREGUEMINES CEDEX

Tél.: 03 87 95 14 77 - Fax : 03 87 98 45 91 - Courriel : education-france@pierron.fr - <http://www.pierron.com>