

TP2/3 : Introduction à l'optique géométrique

Objectifs : Dans ce TP, nous allons nous familiariser avec les différents éléments utilisés en optique géométrique : sources (§.I), lentilles, miroirs, banc d'optique... Ce sera l'occasion :
- d'appréhender les notions d'**objets** et d'**images** « réels » ou « virtuels » (§.III),
- de préciser le rôle des grandeurs « distance » ou « diamètre angulaire » (§.II),
- et de vérifier la relation de Descartes pour les lentilles (§.III) et pour les miroirs (§.IV).

I Sources lumineuses

I.1 Sources thermiques

Leur fonctionnement est basé sur l'**émission lumineuse d'un corps chauffé à haute température (incandescence)**. Les matériaux employés (tungstène, carbone) émettent un rayonnement voisin de celui d'un « corps noir », c'est-à-dire : **leur spectre est continu** et couvre l'ensemble du domaine visible, l'œil ayant l'impression d'une lumière blanche. Ce spectre s'étend bien au-delà du visible, notamment dans l'infrarouge.

a Lampes à incandescence ordinaires

Le filament de tungstène est porté à une température d'environ 2800 K. Il est placé dans une atmosphère gazeuse inerte pour ralentir sa vaporisation. Elles peuvent être conçues pour être utilisées en 220 V (éclairage domestique) ou en basse tension (6, 12 ou 24 V).

b Lampes à incandescence quartz - halogène (en particulier quartz - iode)

Le principe est le même mais on ajoute à l'intérieur de l'ampoule un gaz halogène qui protège le filament. Celui-ci peut donc être porté à une température plus élevée (3100 K) que dans une lampe à incandescence ordinaire. C'est l'élément de base de l'éclairage « halogène » et des phares à « iode » des voitures.

Conséquences :

- lumière « plus blanche » : le spectre est toujours continu mais il y a plus de bleu.
- nécessité d'une enveloppe en quartz car aux températures d'utilisation le verre ordinaire se déformerait.

I.2 Lampes spectrales

• **La lumière est émise grâce à une décharge électrique dans un gaz** : sodium, mercure[®], cadmium, hydrogène[®], helium[®] ou autre. Le spectre de la lumière émise n'est pas continu, c'est un **spectre de raies** caractéristiques du gaz utilisé*. Les lampes spectrales ont leur propre alimentation. Elles n'éclairent bien qu'un certain temps après avoir été allumées.

Attention : Si on éteint une lampe spectrale, elle ne se rallume pas toujours immédiatement. Pour éviter tout dommages, si on éteint une lampe, **il faut attendre plusieurs minutes** qu'elle refroidisse avant de la rallumer.

• Principales raies visibles émises par les lampes spectrales utilisées en TP :

Sodium							
λ (nm)	617,5	589,6 et 589,0	568,5	515,2	498,1	466,7	
Couleur	Rouge	Doublet Jaune	Vert-jaune	Vert	Bleu-vert	Violet	
Luminosité	Intense	Intense	Intense	Intense	Intense	Intense	
Mercure							
λ (nm)	579,0	577,0	546,1	491,6	435,8	407,8	404,7
Couleur	Jaune-vert	Jaune-vert	Vert	Bl.-V.	Bleu	Violet	Violet
Luminosité	Intense	Intense	Intense	Intense	Intense	Faible	Intense

I.3 Le laser : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Les lasers couramment utilisés sont les **lasers hélium-néon** et les **diodes laser** à semi-conducteurs. Ce sont des sources de faible puissance lumineuse : 0,5 W ou 0,2 W.

(*) La lampe est constituée de deux électrodes, alimentées le plus souvent à travers une inductance et placées à l'intérieur d'une ampoule transparente contenant l'élément qui fournit le spectre d'émission. En régime stationnaire, la lampe est chaude et l'élément sous forme de vapeur. L'émission thermoélectronique des électrodes provoque un flux d'électrons ; ils entrent en collision avec les atomes de la vapeur qui subissent des transitions vers des états excités. Leur désexcitation produit l'émission de lumière.

Leurs principaux intérêts sont :

- lumière monochromatique ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$ pour hélium-néon). La raie émise est très fine et connue avec une très grande précision.
- faisceau lumineux étroit, sensiblement parallèle et très lumineux. On peut considérer le laser comme une source ponctuelle.
- cohérence (Cf. cours de deuxième année sur les interférences).

Attention : Il est dangereux de regarder directement le faisceau et il faudra contrôler les faisceaux parasites par interposition d'écrans.

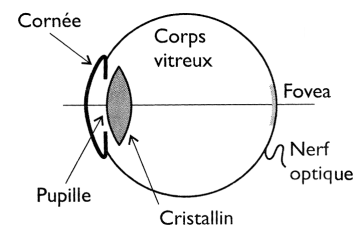
II Observation à l'œil nu

Quel que soit le dispositif optique utilisé (lunette, télescope, etc.), on est très souvent amené à observer directement à travers ce dispositif. Il est donc impératif de bien comprendre le fonctionnement de notre œil. Dans cette partie, on supposera que l'œil de l'utilisateur est sans défauts ou alors est corrigé par des lunettes ou des lentilles.

II.1 Modélisation

L'œil est un système optique complexe, essentiellement constitué des éléments suivants (Cf. figure ci-contre) :

- la **cornée** et le **crystallin**, le tout équivalent à un système convergent, de vergence variable grâce à un système musculaire.
- la **pupille** : sa la taille s'adapte à la luminosité de l'objet observé, permettant de diaphragmer les rayons incidents ;
- la **rétine** : zone constituée de cônes et de bâtonnets où se forme l'image par le cristallin — la zone de visibilité fine correspond à la « fovéa » ou **tache jaune**, au voisinage de l'axe optique ;
- le **nerf optique** : il transmet l'information au cerveau, qui va avoir pour tâche de décoder les informations simultanées fournies par les deux yeux, donnant ainsi la notion de relief et de distance notamment.



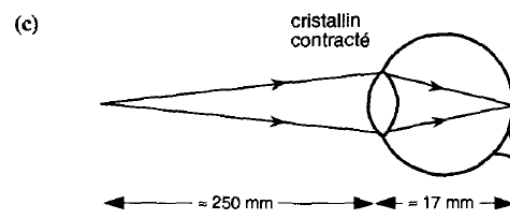
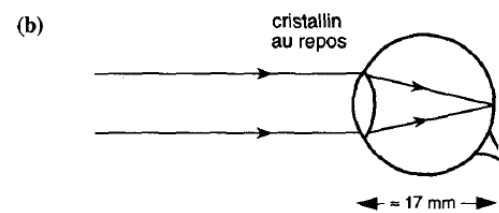
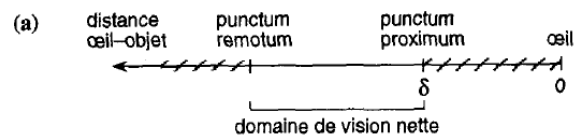
CI : L'œil peut être considéré en première approximation comme constitué d'une lentille convergente (le cristallin) situé à une distance fixe ($\sim 17 \text{ mm}$) d'une surface sensible (la rétine).

II.2 Mise au point

- Un objet placé à grande distance de l'œil (quelques mètres suffisent) est vu net sans aucun effort. L'œil est alors à son *Punctum Remotum* (*PR*), le point le plus éloigné permettant une vision nette. Pour un œil sans défauts (on parle d'œil « normal » ou « **emmétrope** »), ce point est rejeté à l'infini (on voit les étoiles nettes dans le ciel).

- Prendre une règle et observer les graduations en la tenant à bout de bras.
- Rapprocher la règle en fixant les graduations. La vision reste nette, **on dit que l'œil accomode**.
- Arrêter lorsque les graduations deviennent floues. L'objet se trouve au *Punctum Proximum* (*PP*) de l'œil (point le plus rapproché permettant une vision nette).
- Estimer cette distance.

- On remarque une certaine fatigue si on cherche à garder l'objet au *PP*.



- (a) définition des *punctums*
- (b) œil n'accommodant pas (la distance focale standard du cristallin est alors égale à 17 mm)
- (c) œil accommodant au maximum*

(*) Lorsque l'objet se rapproche, la distance cristallin-rétine étant fixe, le cristallin augmente sa convergence par un jeu de muscles pour maintenir une image nette. Cette augmentation de convergence est limitée par d , *punctum proximum*, qui varie beaucoup avec l'âge : quelques centimètres pour un enfant, quelques dizaines de centimètres pour un adulte, plus d'un mètre pour les personnes âgées.

Retenir : Pour un œil normal, les valeurs standards sont :

- $PR = D = +\infty$.
- $PP = d = 25 \text{ cm}$ (sans fatigue). Pour un œil myope, cette distance est réduite.

• Les principaux défauts de la vision sont les suivants :

- la **presbytie** : c'est une réduction avec l'âge de l'amplitude d'accommodation, due à la perte de souplesse du cristallin. Le *punctum proximum* s'éloigne, alors que le **punctum remotum**, correspondant à l'œil au repos, est inchangé;
- la **myopie** : c'est un décalage simultané du *punctum proximum* et du *punctum remotum* vers les courtes distance, sans changement de l'amplitude d'accommodation. Elle se compense à l'aide de lentilles divergentes;
- l'**hypermétropie** : c'est un décalage du *punctum proximum* et du *punctum remotum* vers les grandes distances, sans changement de l'amplitude d'accommodation. Elle se compense à l'aide de lentilles convergentes;
- l'**astigmatisme** : l'œil n'a pas la symétrie de révolution autour de son axe. Il n'y a pas de stigmatisme approché : un point sur l'axe apparaît comme une tâche lumineuse allongée. On le corrige en utilisant des lentilles cylindriques.

→ Prendre maintenant deux objets différents (un dans chaque main) et les placer dans un même plan de front par rapport à l'œil.

→ Décaler ces objets l'un par rapport à l'autre en rapprochant une main et en éloignant l'autre.

On remarque qu'à partir d'une certaine distance, on ne peut plus voir nettement les deux objets simultanément. On appelle **profondeur de champ de l'œil** cette distance (attention, cette grandeur dépend de l'éloignement moyen des objets, comme vous pouvez le vérifier expérimentalement).

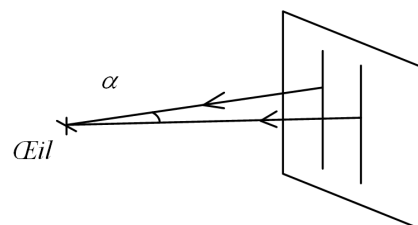
Cl : On retient que pour un œil normal, tout objet placé entre l'infini et le PP peut être vu net. La position occasionnant le moins de fatigue est l'infini. Enfin, deux objets vus nets simultanément n'appartiennent pas forcément au même plan de front.

II.3 Pouvoir de résolution angulaire

→ Sur une feuille blanche, tracer deux traits parallèles distants de $a = 1 \text{ mm}$.

→ S'éloigner de la feuille et estimer la distance b à partir de laquelle on ne peut plus distinguer les deux traits.

→ En déduire une estimation de la valeur de α , **pouvoir de résolution de l'œil** défini comme l'angle minimal que doivent faire deux rayons pour être séparés par l'œil (on donnera α en radians).



III Relation de conjugaison d'une lentille mince

Nous allons déterminer expérimentalement la relation dite de Descartes existant entre la position d'un objet et son image à travers une lentille, à savoir :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \equiv V \quad (*)$$

Cette relation est appelée **relation de conjugaison** de la lentille.

On étudie ici la **lentille** $+20 \text{ cm}$, notée \mathcal{L}_C .

III.1 Rappels théoriques

• On suppose connues les notions d'objet (réel, virtuel), d'image (réelle, virtuelle), de **stigmatisme** et d'**aplanétisme***.

• Les notations seront les suivantes :

- O centre de la lentille;
- AB l'objet étendu; $A'B'$ son image conjuguée par la lentille;
- $p = \overline{OA}$ et $p' = \overline{OA'}$

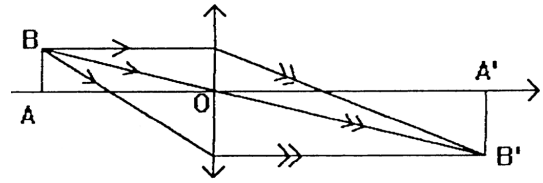
→ Cf Cours O2.
 (*) Un système optique possède la propriété :
 - de stigmatisme lorsqu'à un point lumineux objet il associe un point lumineux image;
 - d'aplanétisme lorsqu'à un objet étendu orthogonal à l'axe optique, il associe un objet étendu objet également orthogonal à l'axe optique.

- $G_t = \frac{A'B'}{AB}$ (grandissement transversal)

- l'axe horizontal étant orienté dans le sens de propagation de la lumière.

- La figure ci-dessous, réalisée avec une lentille convergente, précise ces notations.

Sont représentés trois rayons lumineux issus du **point objet** B et convergeant en B' , **point image** (conjugué) de B (par \mathcal{L}_C).



- La relation de conjugaison relie les **abscisses** p et p' à une grandeur caractéristique de la lentille étudiée, appelée « la distance focale image » et notée f' .

On mesurera p et p' grâce au **banc d'optique**, rail gradué sur lequel peuvent se déplacer les supports d'objet, de lentille et d'écran. On rappelle que p et p' sont des **grandeurs algébriques**. Il faudra donc toujours s'interroger sur leur signe dans les différentes situations envisagées ci-après.

III.2 Montage

→ Placer soigneusement la lentille sur un support ; installer ce support sur le banc d'optique, ainsi que celui de l'objet lumineux (lettre « F » ou « P » dont on mesurera la taille d_0) et celui de l'écran.

→ Lorsque c'est possible, ajuster sa position de telle sorte que l'objet soit entièrement éclairé mais sans obtenir l'image du filament de la lampe sur l'écran (utiliser pour cela la manette située au dos de la lampe). Veiller à ce que tout soit correctement centré par rapport à l'axe de la lentille \mathcal{L}_C . Vérifier également l'alignement en hauteur.

III.3 Objet réel/Image Réelle

a Tracé des rayons

Ce cas correspond au schéma de la figure ci-dessus. Un faisceau *divergent* issu d'un point de l'objet arrive sur la face d'entrée de la lentille et *converge* ensuite après la lentille. Les divers **rayons lumineux émergents** se coupent en un point de l'**espace image réel** (après la face de sortie de la lentille).

CI : Une image réelle est observable sur un écran.

b Mesures

→ Pour au moins 7 valeurs de p , faire l'image de l'objet lumineux sur l'écran.

→ Noter p , p' et $d_i = \overline{A'B'}$ ainsi que les incertitudes correspondantes.

On commencera par une grande distance objet-lentille, puis on diminuera progressivement cette distance.

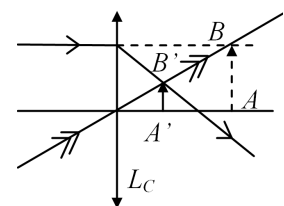
On détaillera sur un exemple (schéma!) l'estimation des incertitudes.

Rque/N.B. : même si l'objectif du TP est la détermination expérimentale des formules de conjugaison, il est fortement conseillé de calculer f' (avec la formule (\star) que nous ne devrions pas connaître mais uniquement du point de vue du TP!) pour vérifier qu'il n'y a pas d'erreur dans les mesures de p et p' .

III.4 Objet virtuel/Image réelle

a Tracé des rayons

- Le faisceau lumineux qui arrive sur la face d'entrée de la lentille est convergent. Les prolongements des rayons incidents se coupent en B après la lentille ; le faisceau issu de la lentille est convergent en B' .

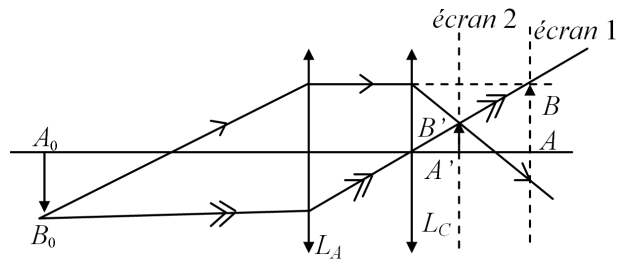


- Il faut donc créer un objet virtuel *pour* la lentille étudiée \mathcal{L}_C . On utilise pour cela une lentille auxiliaire \mathcal{L}_A , qui sera la même que \mathcal{L}_C — *mais qui n'aura pas le même rôle!*

- Le montage permettant d'obtenir un objet virtuel *pour* \mathcal{L}_C représenté sur la figure suivante :

On a donc :

$A_0B_0 \xrightarrow{\mathcal{L}_A} AB \xrightarrow{\mathcal{L}_C} A'B'$
 objet réel pour \mathcal{L}_A et pour $\{\mathcal{L}_A, \mathcal{L}_C\}$
 image réelle pour \mathcal{L}_A
 objet virtuel pour \mathcal{L}_C
 image réelle pour \mathcal{L}_C et pour $\{\mathcal{L}_A, \mathcal{L}_C\}$



b Mesures

- Placer sur la banc la lentille \mathcal{L}_A pour qu'elle forme l'image AB de l'objet lumineux A_0B_0 (lettre « F » ou « P »).
- Noter cette première position de l'écran (écran 1) sur le banc d'optique qui permet d'observer AB ; relever également la dimension d_0 de AB .
- Intercaler la lentille \mathcal{L}_C entre cette position et \mathcal{L}_A et déplacer l'écran (écran 2) pour obtenir l'image nette $A'B'$ de AB .
- En déduire p , p' et d_i (dimension de l'image $A'B'$).

c Exploitation des résultats

- Réunir les mesures des 2 expériences dans un même tableau (attention aux signes!).
- À l'aide du logiciel Regressi, (Fichier) > Nouveau Clavier : définir les variables p et $p1$. On évitera d'appeler p' la seconde variable car Regressi la considérerait comme la dérivée de p !
- Définir une nouvelle grandeur calculée (bouton (Y+)) : $invp = 1/p$ et $invp1 = 1/p1$
- Tracer les courbes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{p'} \text{ en fonction de } \frac{1}{p} \\ G_t = \frac{d_i}{d_0} \text{ en fonction de } r = \frac{p'}{p} \\ D = p' - p \text{ en fonction de } p \end{array} \right.$$

- Modéliser les deux premières courbes (éventuellement par une simple régression linéaire à la calculatrice...); en donner toutes les caractéristiques.
- Commenter les courbes obtenues et le résultat des modélisations.

IV Relation de conjugaison pour un miroir sphérique

Objectif : vérifier la relation de Descartes pour un miroir, à savoir :

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

IV.1 Distinguer simplement les miroirs concaves et les miroirs convexes

- Les miroirs concaves sont convergents et les miroirs convexes sont divergents.
- Utilisés à courte distance :
 - un **miroir concave** renvoie une **image agrandie**, virtuelle et droite (cf. miroirs de maquillage, certains miroirs de salle de bain)
 - un **miroir convexe** renvoie une **image rétrécie**, virtuelle et droite (rétroviseurs de camions et d'autobus).

IV.2 Mesures

On utilise le miroir convergent -20 cm ($V > 0$). À partir d'un **objet réel**, on recherche la position du miroir qui permet d'obtenir une image réelle. On cherche également à évaluer le grandissement transversal algébrique (son signe indique si l'image est droite ou renversée; sa valeur absolue si l'image est plus petite ou plus grande que l'objet).

- Pour le plus grand nombre de positions de l'objet qui autorisent une image réelle, relever les distances \overline{SA} et $\overline{SA'}$ (Attention aux signes!).

IV.3 Exploitation des résultats

→ Même démarche que pour la lentille convergente.

Rque : On doit vérifier $y = ax + b$, avec, pour le miroir convergent, $x = \frac{1}{SA} < 0$ (objet réel),

$y = \frac{1}{SA'} < 0$ (image réelle), $a = -1$ et $b = -V < 0$.

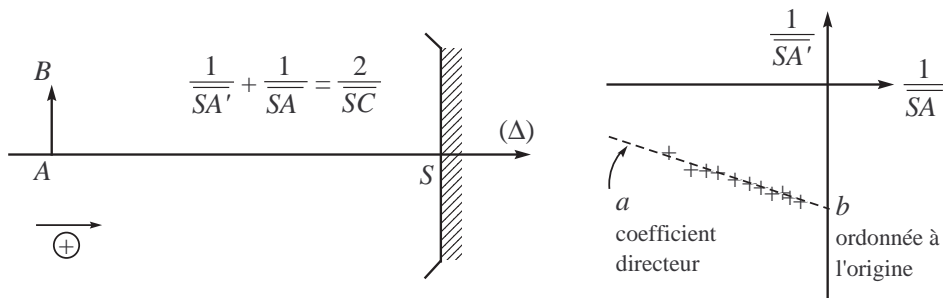
→ Vérifier au tableur ou à la calculatrice que la linéarisation de la courbe $y = f(x)$ est une droite

(a) de coefficient directeur $a = -1$,

(b) d'ordonnée à l'origine $b = -V$

(c) avec un coefficient de régression linéaire tel que $R^2 \simeq 1$.

→ En déduire la vergence V et distance focale $f = f'$ du miroir.



IV.4 Cas particulier : $A \xrightarrow{\mathcal{M}} A' = A$

→ Chercher la position du miroir où l'objet AB et l'image conjuguée $A'B'$ sont dans le même plan.

→ À quel point particulier correspond le point $A = A'$? Quel est le grandissement transversal correspondant ?

→ Faire le schéma correspondant.

→ Déduire la focale $f = \overline{SF}$ du miroir. Comparer à la valeur calculée précédemment.