

FORMATION DES IMAGES EN OPTIQUE

INTRODUCTION

Un instrument d'optique présente un certain nombre de caractéristiques. Ce sont :

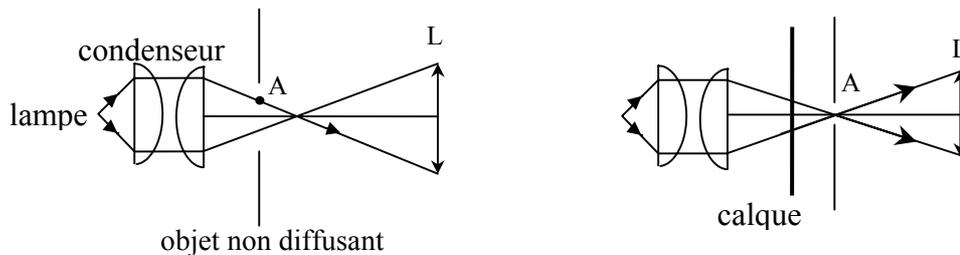
la puissance, le grossissement et grandissement, qui permettent de comparer les dimensions linéaires ou angulaires de l'image et de l'objet.

le champ, qui définit le domaine de l'espace-objet dont l'instrument donne des images satisfaisantes.

la clarté, qui concerne la comparaison des grandeurs photométriques de l'image et de l'objet .

le pouvoir séparateur, qui traduit la capacité d'un instrument à percevoir des petits détails de l'objet.

Ce T.P. est limité à l'étude d'instruments formateurs d'images mais les spectrographes à prisme et à réseau font aussi partie des instruments d'optique. La plupart des expériences nécessitent l'emploi d'objets dont chaque point émet des rayons lumineux dans un angle suffisamment ouvert. Si l'objet n'est pas diffusant, on placera juste avant lui une feuille de papier calque.



Sur la figure de gauche, "un seul rayon" passe par le point A, et il ne traverse pas la lentille L (effet de diaphragme de champ indésirable). Le calque peut être omis dans le cas d'un trou placé au point de convergence du faisceau ou d'une fente très fine (diffraction).

I GROSSISSEMENT - PUISSANCE

1.1 Définitions

1.1.1 Grossissement

$$G = \beta / \alpha \quad \text{sans dimension}$$

β : angle sous lequel on voit l'objet à travers l'instrument.

α : angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu (si l'objet peut être déplacé, on le placera au punctum proximum).

1.1.2 Puissance

$$P = \beta / Y \quad \text{en m}^{-1} \text{ ou dioptries.}$$

β : même définition

Y : dimension linéaire de l'objet

Remarques :

- on parle du grossissement d'une lunette, de la puissance d'un microscope. On définit

le grossissement commercial G_C d'un microscope bien que l'objet ne soit pas visible à l'œil nu, en prenant : $\alpha = Y/\delta$ avec $\delta = 0,25m$ soit $G_C = P/4$

- le grandissement n'est envisageable que lorsqu'on obtient une image réelle d'un objet réel, situé à distance finie (exemples : objectif photographique, agrandisseur photographique... etc.).

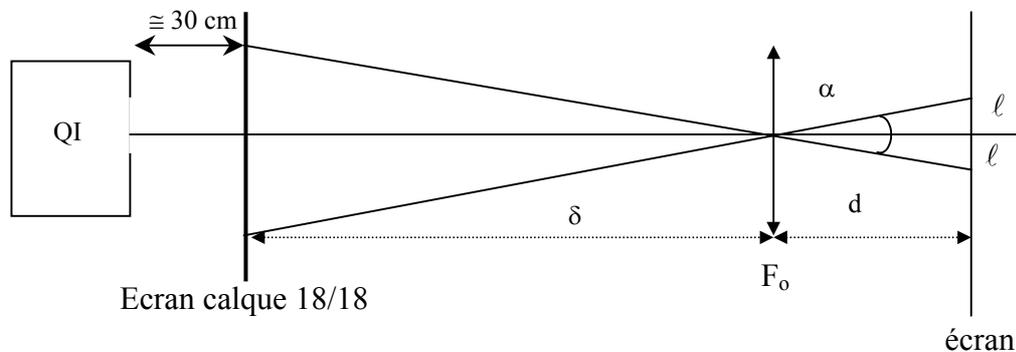
Expérience :

On étudie ces grandeurs dans le cas d'une loupe schématisique. On se servira d'une lentille mince convergente associée à une autre lentille schématisant l'œil. Afin de rendre les mesures réalisables devant un auditoire, on a multiplié sensiblement par 20 les distances focales de la loupe et de l'œil. Pour la loupe, $F_1 = 50$ cm (par exemple) et pour l'œil, $F_o = 33$ cm.

Pour δ , la distance minimale de vision distincte, prendre une longueur supérieure à 200 cm (si on voulait reproduire exactement le système oeil-loupe, il faudrait prendre $25 \times 20 = 500$ cm).

1.2 Observation à l'œil nu (lentille F_o seule de focale f_o)

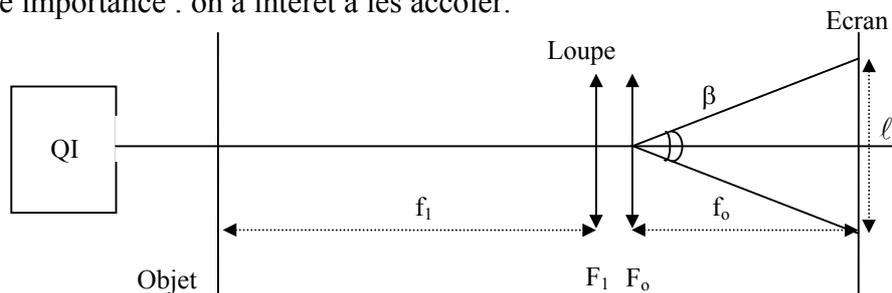
L'objet est un quadrillage noir reproduit sur un papier calque placé à une trentaine de cm de la QI utilisée sans condenseur. Mesurez la dimension l de l'image sur l'écran et l'angle α sous lequel est vue sur cette image.



Calculer $\alpha = l/d$ avec d très voisin de f_o .

1.3 Observation à la loupe (lentille F_1 , avec "l'œil" F_o)

L'objet est maintenant situé dans le plan focal objet de la loupe, qui en donne une image à l'infini. L'œil vise cette fois sans accommoder, et l'image est dans le plan focal de la "lentille-œil". La distance entre l'œil et la loupe n'a plus aucune importance : on a intérêt à les accoler.



Mesurez la dimension l de l'image et l'angle β sous lequel elle est vue ; calculez $\beta = l/f_o$

En déduire :

- le grossissement $G = \beta/\alpha$. Montrez qu'il est égal à δ/f_1
- la puissance $P = \beta/Y$ (Y = dimension de l'objet). Montrez que $P = 1/f_1$ pour une observation à l'infini.

Remarque :

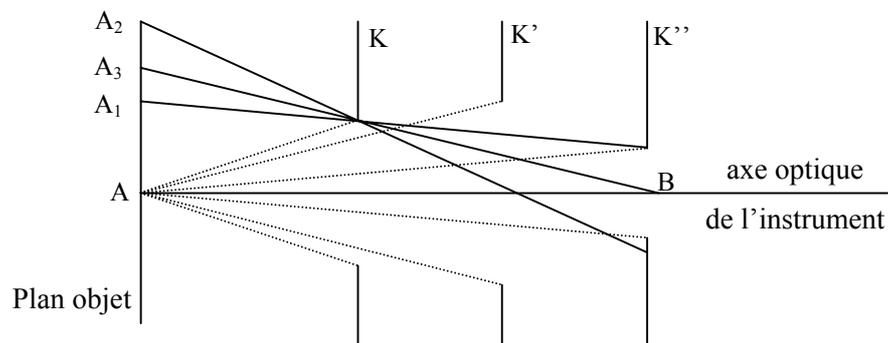
une loupe véritable a une puissance de l'ordre de 50 à 100 dioptries.

II CHAMP EN LARGEUR ET OUVERTURE

Le champ d'un instrument d'optique est la portion d'espace visible à travers l'instrument et dont l'image est "satisfaisante" ; il se définit donc par deux dimensions : sa largeur (angulaire ou linéaire) et sa profondeur.

2.1 Pré requis

Il est indispensable de connaître les définitions des pupilles et lucarnes de l'instrument. Un instrument d'optique comporte un certain nombre de lentilles et de diaphragmes qui ont chacun leur "conjugué optique" dans l'espace objet et dans l'espace image (conjugué par rapport à la partie du système situé en avant ou en arrière). Ceux de l'espace-objet portent le qualificatif "d'entrée" ceux de l'espace-image le qualificatif de "sortie". Raisonnons par exemple dans l'espace objet :



Les lentilles et diaphragmes de l'instrument (œil compris) y ont leur conjugué K K' K''...

2.1.1 Diaphragme d'ouverture

De A, point central du plan objet, celui qui est vu sous le plus petit angle constitue la pupille d'entrée de l'instrument (ici K''). La lentille ou le diaphragme réel qui lui correspond dans l'instrument est le diaphragme d'ouverture. C'est lui qui limite l'éclairement de l'image.

Exemple :

Dans un appareil photographique, le diaphragme placé tout contre l'objectif constitue à la fois de diaphragme d'ouverture et la pupille d'entrée (son image dans l'espace objet est confondue avec lui-même).

2.1.2 Diaphragme de champ

De B, point central de la pupille d'entrée, le conjugué vu sous le plus petit angle constitue la lucarne d'entrée de l'instrument (ici K) ; le diaphragme qui lui correspond dans l'instrument est dit diaphragme de champ. C'est lui qui détermine la fraction du plan objet dont le système forme l'image.

Détermination des champs en largeur :

Sur la figure précédente la portion A-A₁ définit le champ de pleine lumière : tous les rayons issus de cette zone et passant dans la pupille d'entrée ne sont arrêtés par aucun diaphragme.

La portion A₁-A₂ définit le champ de contour : un certain nombre de rayons peuvent passer à travers l'instrument sans être arrêtés par aucun diaphragme, mais

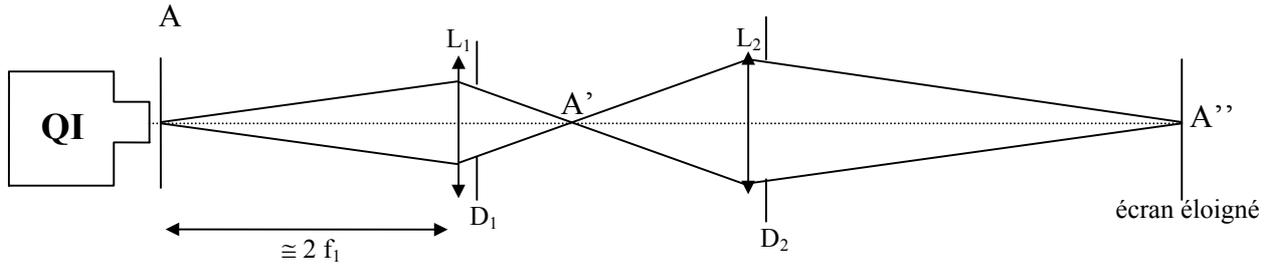
ils sont de moins en moins nombreux quand on s'approche de A_2 (d'où une gradation de la lumière dans la portion image correspondant à la partie objet A_1-A_2).

$A-A_3$ représente le champ moyen.

Expérimentalement on reconnaîtra le diaphragme d'ouverture à ce qu'une modification de son diamètre change la luminosité du centre de l'image alors que le diaphragme de champ modifie uniquement la portion visible de l'objet.

2.2 Mise en évidence

On réalise un instrument d'optique artificiel avec deux lentilles et deux diaphragmes. Il est intéressant en montage de coupler cette étude à l'observation des éléments constitutifs d'un instrument réel (on dispose à Rennes d'une lunette de visée).



A : grille de pas 5 mm sur calque

L_1 : lentille 250 mm avec écran bois adapté

L_2 : lentille 150 mm avec écran bois adapté

$D_1 D_2$: diaphragmes → les fixer sur des pieds latéraux pour pouvoir les accoler aux lentilles

Placez D_1 le plus près possible de L_1 ; D_2 aura diverse positions. Pour raisonner, on se placera dans "l'espace intermédiaire", entre les deux lentilles, c'est à dire dans une portion d'espace où les diaphragmes divers sont directement accessibles sans qu'on ait besoin de chercher leurs conjugués optiques.

2.2.1 Recherche du diaphragme d'ouverture

Ouvrir D_2 au maximum. Si on agit sur D_1 en le fermant de plus en plus, l'image sur E reste sensiblement de même dimensions, mais son éclairement diminue. D_1 est donc diaphragme d'ouverture et, comme il est dans l'espace objet, il est aussi pupille d'entrée. La pupille de sortie D'_1 est l'image de D_1 donnée par L_2 ; la rechercher en plaçant un petit objet sur L_1 et en recherchant son image. La pupille de sortie constitue le cercle oculaire. Tous les rayons lumineux contribuant à la formation de l'image qui ont traversé D_1 passent dans ce cercle. C'est ici qu'on placera l'œil dans le cas d'un appareil subjectif.

2.2.2 Recherche du diaphragme de champ

Otez D_1 . Fermez D_2 . L'image sur l'écran diminue en dimension, l'éclairement restant sensiblement constant. D_2 est donc diaphragme de champ et, puisqu'il est dans l'espace image, il est aussi lucarne de sortie. La lucarne d'entrée est l'image de D_2 donnée par L_1 .

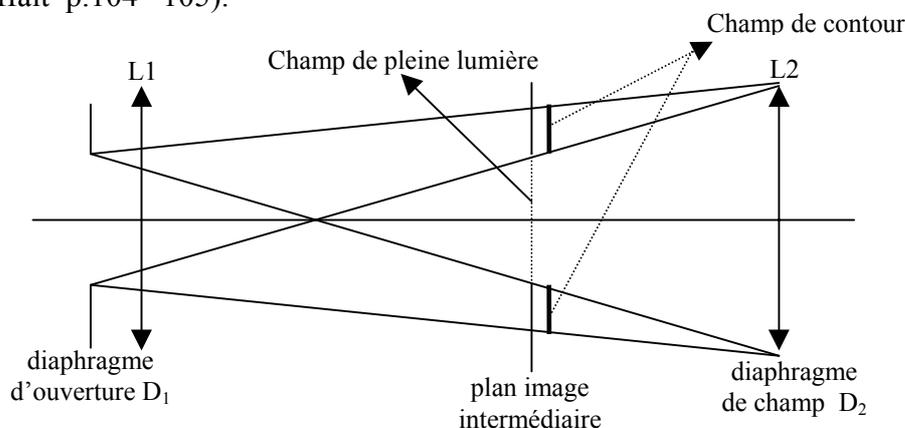
Note :

Si on diminue trop le diamètre de D_2 , il viendra un moment où l'angle sous lequel on le voit depuis A' sera inférieur à celui sous lequel on voit D_1 . D_2 sera alors aussi diaphragme d'ouverture.

Ne pas atteindre ce cas car il ne correspond pas à un cas réel. C'est à peu près toujours la monture de la première lentille (objectif) qui est diaphragme d'ouverture (sauf quelques fois quand il y a intervention de l'œil) et celle du premier verre de l'oculaire (en général composé) qui est diaphragme de champ.

2.2.3 Suppression du champ de contour

Otez D_1 et D_2 . L'image sur l'écran n'a pas un éclairement uniforme (les bords sont plus sombres). Placez un diaphragme dans le plan de l'image intermédiaire A' (son image sur E doit être nette). Refermez ce diaphragme jusqu'à ce que la luminosité de l'image soit homogène. Ceci se produit lorsque D_2 recouvre juste la partie champ de contour (cf. Duffait p.104 –105).



Les instruments d'optique réels correspondent à ce cas : la luminosité est limitée par l'objectif et un diaphragme de champ est placé dans le corps de l'instrument pour réduire la lumière parasite (lunette astronomique, microscope, etc...)

2.2.4 Utilisation d'une lentille de champ

Otez les deux diaphragmes. Ajoutez dans le plan de l'image intermédiaire A' une lentille L_3 dont la focale est telle que l'image de L_1 soit à peu près sur L_2 et de grand diamètre (une focale de 10-15 cm convient ici). Le plan de mise au point sur l'écran étant légèrement modifié, on déplacera L_2 pour réobtenir une image nette. On constate que le champ en largeur de l'appareil est augmenté et que les aberrations sont réduites (image plus nette et moins déformée). Expliquez le rôle de la lentille de champ (elle renvoie vers la lentille L_2 les rayons qui s'écartent de l'axe optique \Rightarrow cf Duffait p.106).

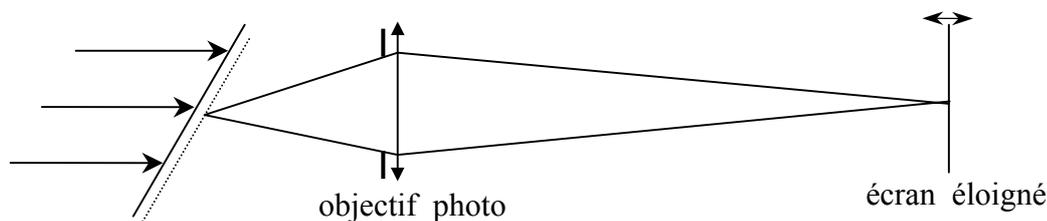
Applications : oculaires, transport d'image (endoscope et périscope).

III CHAMP EN PROFONDEUR

On utilisera ici un appareil photo. Il possède un diaphragme gradué : le "nombre d'ouverture" n indiqué est par définition $n = f / D$ où f est la distance focale et D le diamètre du diaphragme. Les valeurs de n sont standardisées et varient (en général) comme une progression géométrique de raison $\sqrt{2}$ (raison égale à 2 pour le flux). L'influence de l'ouverture sur la profondeur de champ est un phénomène simple, purement géométrique.

Expérience :

L'objet est une grille contrastée de pas 1mm accolée à un calque. L'incliner à 45° autour d'un axe vertical et formez une image nette de son centre sur l'écran. Fermez le diaphragme. Observez.



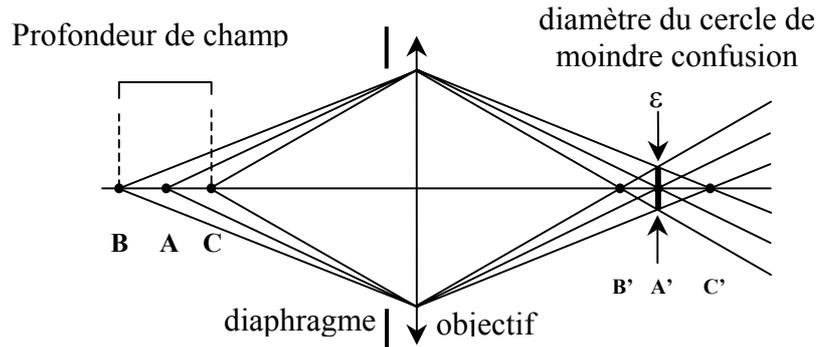
Vérifiez que le nombre de traits est une fonction croissante du nombre d'ouverture (pour plus de détails, se reporter au Sextant p. 35-36).

Conclusion :

Plus le diaphragme est fermé plus la profondeur de champ est grande.

Explication :

La mise au point étant faite sur A, son image A' sur la pellicule est ponctuelle. L'image sur la pellicule d'un point de l'axe différent de A est une tache et les points pour lesquels cette tache a un diamètre inférieur à celui du cercle de moindre confusion sont les points du segment BC. La profondeur de champ est la distance BC. Elle est d'autant plus grande que le diaphragme est petit.



IV POUVOIR SEPARATEUR

Cette grandeur exprime l'aptitude d'un instrument d'optique à séparer et à percevoir des détails rapprochés (linéairement ou angulairement). Différents facteurs peuvent le limiter :

- les aberrations du système optique (aberrations géométriques et chromatiques).

Ce sont souvent ces aberrations qui limitent la résolution de vos montages lorsqu'ils sont mal faits !

- quand l'instrument d'optique est parfait (il ne présente pas d'aberration), le

pouvoir de résolution est limité par la diffraction qui résulte de la limitation du faisceau.

- dans les spectroscopes à fentes, la largeur des fentes utilisées peuvent aussi

limiter la résolution (si l'image géométrique d'une fente est plus grande que le $\Delta\lambda$ que l'on veut résoudre par exemple).

- la structure discontinue du récepteur intervient aussi (structure granulaire de

l'œil ou d'une plaque photographique par exemple).

Les chapitres suivants abordent le rôle des aberrations et de la diffraction.

V ABERRATIONS GEOMETRIQUES

Elles résultent des écarts à l'optique de Gauss → elles apparaissent pour des points objets non axiaux, une grande ouverture des faisceaux et des pinceaux lumineux très inclinés.

5.1 Classification

En utilisant les notations habituelles (cf. Duffait p.25), l'écart entre l'image paraxiale et l'image effectivement obtenue est une fonction de h (distance entre le rayon et l'axe optique dans la pupille d'entrée) et de y' (distance entre l'image et l'axe optique). En se limitant au début du développement on obtient les termes en :

- h^3 → aberration sphérique
 ordre 3 en h : nécessite un diaphragme très ouvert pour apparaître.
 ordre 0 en y' : existe seulement pour un point image sur l'axe optique.
- h^2y' → coma
 ordre 2 en h : apparaît pour un diaphragme moins ouvert.
 ordre 1 en y' : le point image doit être légèrement décalé de l'axe.
- $h y'^2$ → astigmatisme et courbure de champ
 ordre 1 en h : apparaît pour un diaphragme peu ouvert.
 ordre 2 en y' : le point image doit être plus décalé de l'axe.
- y'^3 → distorsion
 ordre 0 en h : existe pour un diaphragme très petit.
 ordre 3 en y' : le point image doit être très décalé de l'axe.

Cette dernière aberration est différente des autres car elle n'influe pas sur la netteté de l'image puisqu'elle est indépendante de h . Par ailleurs, dans le cas d'une lentille unique, elle s'annule quand la pupille d'entrée est située sur la lentille. Pour la voir, il faudra donc écarter le diaphragme de celle-ci.

5.2 Aberrations d'ouverture

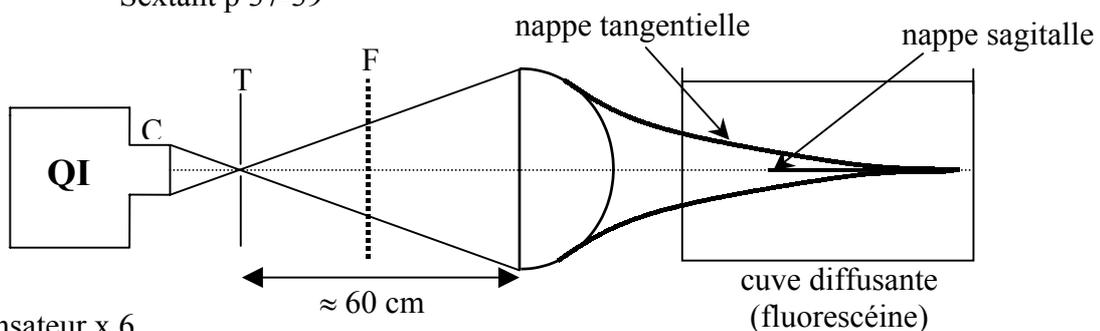
Cela concerne des points axiaux ou quasi axiaux envoyant des faisceaux larges. Ce type d'aberration se rencontre dans les appareils à petit champ recevant des faisceaux ouverts (microscopes, téléobjectif ...)

5.2.1 Aberration sphérique (h^3)

- y'^0 → c' est la seule pour un point axial
 h^3 → grande ouverture du faisceau

Mise en évidence :

Sextant p 37-39



C : condensateur x 6

F : filtre jaune gélatine

TS : trou ϕ 1mm Phywe 8201

L : Lentille plan convexe sur support de bois.

Le trou source doit être petit (point axial). Le placer à 20 cm du condenseur. Ajustez le tirage de la lampe pour éclairer totalement la lentille. On conseille de prendre une lentille plan convexe car c' est elle qui présente la plus forte aberration sphérique (cf. Duffait p. 27). violez la règle des 4 P (cf. Sextant p. 39).

A montrer :

L'apparition de la nappe tangentielle en premier puis la nappe sagittale (en déplaçant la cuve).

L'effet d'un diaphragme (le centrer avec soin) et l'atténuation de l'aberration en respectant la règle des 4 P.

On peut faire du quantitatif dans les deux derniers cas en mesurant l'évolution de la longueur de la nappe sagittale dès qu'elle apparaît sur le bord de la cuve lorsqu'on la déplace (on peut alors remplacer la cuve par un écran dépoli). **Il faut alors travailler en lumière parallèle** (cf. Duffait, p 27 et Sextant p 37- 40).

Conclusion :

Lorsque l'on utilisera une lentille plan convexe, on placera toujours la face convexe du côté des rayons les moins convergents, on réduira ainsi l'aberration sphérique.

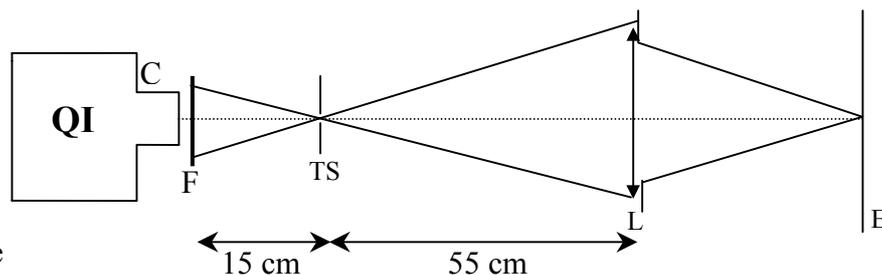
Remarque :

On peut refaire l'expérience avec une lentille sur support laiton. On constate une aberration nettement moins importante. Toutes ces lentilles sont des achromats. Pour cela, elles sont réalisées au moyen de deux lentilles liées par du baume du canada (demander à l'enseignant d'en démonter une) → ces lentilles sont **à utiliser en priorité** dans les montages d'optique, les lentilles simples étant trop mauvaises du point de vue des aberrations.

5.2.2 La coma (h^2y')

y'^1 → point objet voisin de l'axe
 h^2 → faisceau moins ouvert.

Mise en évidence :



- C : × 6 cm
- F : filtre gélatine jaune
- TS : trou source Ø 1 mm
- L : lentille × 15 cm avec écran noir adapté

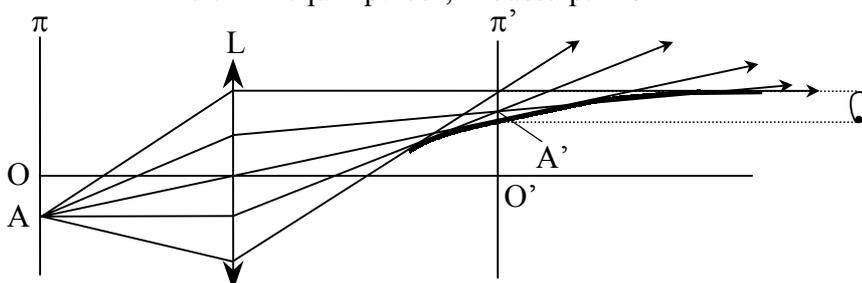
Les distances données permettent une observation optimale. Elles imposent en revanche d'éclairer une surface légèrement supérieure à la lentille d'où la nécessité de l'écran sur L.

A montrer :

Déplacez E pour trouver l'image de TS. Juste avant cette image, observez l'aberration sphérique résiduelle (L doit être parfaitement perpendiculaire à l'axe optique en horizontal et vertical). Une fois sur l'image, inclinez la lentille et observez le coma (incliner la lentille revient au même que décaler le trou source de l'axe optique).

Explication :

cf. Annequin p.173 , Moussa p. 219



En fait, c'est l'aberration de sphéricité par continuité quand on décale O.

Importance pratique de la coma :

Elle intervient souvent dans les montages avec un trou ou une fente comme objet. Si son image présente cette aberration, la corriger en alignant l'axe optique de la lentille avec le trou source. Le sens dans lequel se développe la coma renseigne sur l'axe à corriger (vertical ou horizontal).

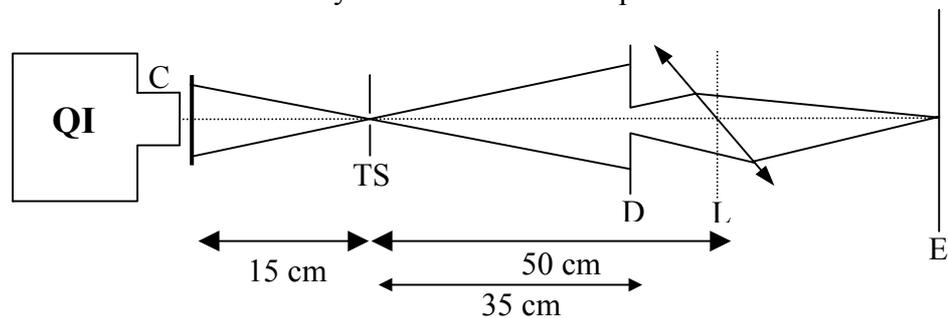
5.3 Aberration d'inclinaison (de champ)

Elles interviennent pour des points éloignés de l'axe qui envoient sur le système optique des rayons inclinés en pinceaux fins. Ces aberrations s'observeront dans les appareils à grand champ (objectifs photo grand angle, rétroprojecteurs...).

5.3.1 Astigmatisme (hy^2)

$h^1 \rightarrow$ diaphragmer encore plus la lentille
 $y^2 \rightarrow$ incliner encore plus la lentille

Mise en évidence :



C : condenseur $\times 6$ cm

F : filtre jaune

D : diaphragme à iris

L : lentille notée astigmatisme

E : écran

La lentille utilisée pour l'observation de la coma peut aussi convenir pour cette manipulation mais elle nécessite un diaphragme plus fermé et donne donc des images plus petites, donc moins spectaculaires. De même, la lentille astigmatisme peut servir à l'étude de la coma mais son observation s'accompagne simultanément de l'astigmatisme. On sépare moins bien les deux phénomènes.

Réglages :

Fermez le diaphragme de moitié ($\phi \cong 1,5$ cm). Se placer derrière la lentille (perpendiculaire à l'axe optique dans un premier temps). Ajustez sa position de façon à ce que le faisceau lumineux la touche en son centre. Déplacez l'écran de façon à trouver l'image de TS.

Décalez la lentille de 45° par rapport à l'axe optique. Recentrez la lentille par rapport au faisceau (regardez derrière la lentille). Déplacez l'écran ; vous devez observer la droite focale transversale, la droite focale sagittale et le cercle de moindre confusion. Si on change l'axe de fixation de la lentille, la position des droites verticales et horizontales est inversée.

Remarques :

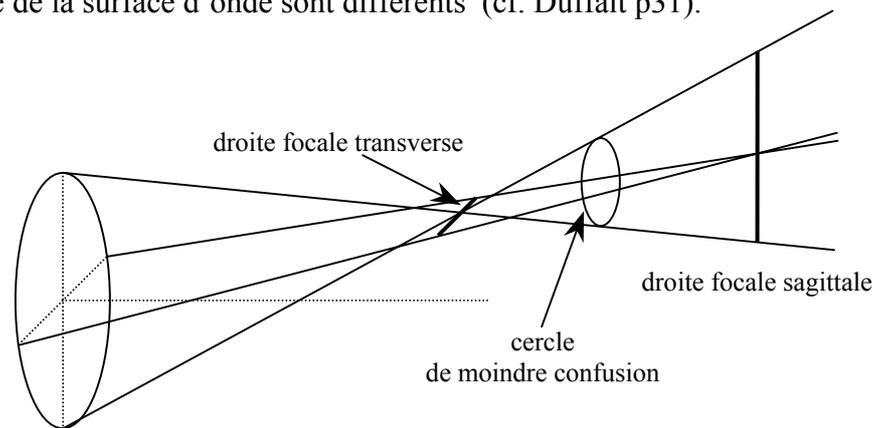
L'ouverture du diaphragme est d'une importance capitale pour cette manipulation. S'il est trop ouvert, l'observation des droites est gênée par la coma. Si c'est le cas, refermer le diaphragme. Elles seront cependant d'autant plus grandes (et donc visible par le jury) et séparées (car ce sont des portions de caustiques) que D est ouvert \rightarrow ne pas trop le refermer !

Le cercle de moindre confusion sera d'autant plus parfait que le diaphragme est fermé (sinon la coma gêne) .

\rightarrow En conclusion, il faut jouer sur D suivant ce que l'on veut montrer !

Explication :

La lentille présente deux convergences différentes selon le plan que l'on envisage car les rayons de courbure de la surface d'onde sont différents (cf. Duffait p31).



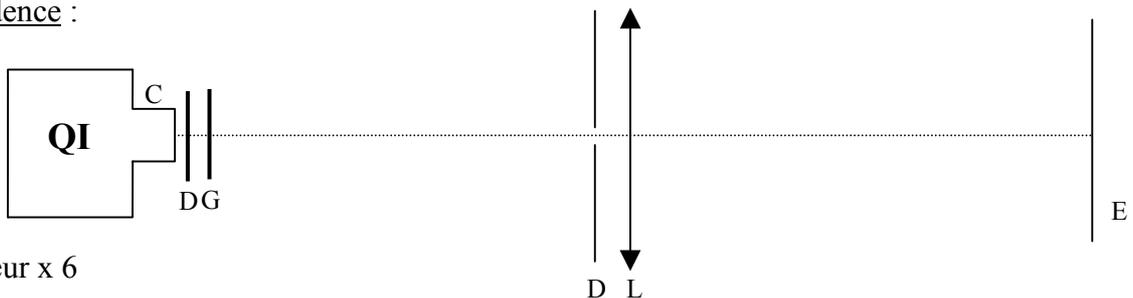
Une conséquence de cette aberration est la courbure de champ (cf. Berty p.71 ou Moussa p. 221). On ne propose cependant aucune manipulation sur le sujet car les résultats sont rarement convaincants.

5.3.2 La distorsion (y^3)

$h^0 \rightarrow$ diaphragme très fermé

$y^3 \rightarrow$ objet étendu

Mise en évidence :



C : condenseur x 6

D : dépoli

G : grille pas 0,5 cm

D : diaphragme

L : plan convexe x 20 grand diamètre

D sur L : pas de distorsion

D avant L : Barillet

D après L Coussinet

} cf. Duffait p. 31

Importance pratique :

Cette aberration perturbe fréquemment la projection d'un objet transparent étendu avec une source ponctuelle car c'est alors l'image de S (par le condenseur) qui joue le rôle de pupille limitante. Pour y remédier, ajustez le tirage de la lampe pour placer S' sur L : la distorsion est éliminée et la luminosité est accrue .

VI ABERRATIONS CHROMATIQUES

6.1 Principe

Elles proviennent de la dispersion du verre.

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad \text{formule de Cauchy} \quad \left. \vphantom{n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2}} \right\} \Rightarrow f = f(\lambda)$$

$$\text{Comme } \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

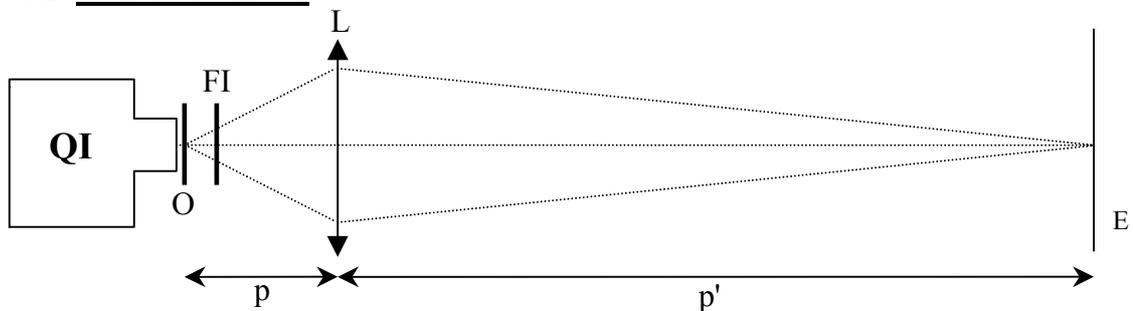
$$\frac{1}{f} = (n-1)A \Rightarrow f = \frac{1}{(n-1)A} \quad \rightarrow \quad \text{en passant par les log : } \boxed{\frac{\Delta f}{f} = -\frac{\Delta n}{n-1}}$$

$\frac{\Delta n}{n-1}$ représente le pouvoir dispersif du verre (cf. Bertly, tome IV p 76 ou Sextant p. 41). On le calcule par convention de la façon suivante (cf. Sextant p. 41) :

$$PD = \frac{n_B - n_R}{n_J - 1}$$

ou n_B , n_J , n_R sont les indices pour les radiations $\lambda_B = 486 \text{ nm}$, $\lambda_J = 589 \text{ nm}$ et $\lambda_R = 656 \text{ nm}$ (ces radiations correspondent à des raies de lampes spectrales – mercure et sodium).

6.2 Mise en évidence



Lampe : QI ou Hg HP

O : rapporteur quadrillé sur dépoli

L : lentille Leybold 500 mm

FI : filtres interférentiels bleu 453,7nm T = 82 % et rouge 650 nm

E écran placé à 2-3 m

Manipulation :

Placez l'objet et la lentille sur banc d'optique. Faire une image la plus nette possible avec un des filtre interférentiel. Changez de filtre \rightarrow montrez qu'il faut réajuster la position de L pour réobtenir une image nette. On met ainsi en évidence une différence de distance focale suivant la longueur d'onde.

6.3 Mesures

$$\text{Formule de conjugaison } \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad \boxed{f = \frac{pp'}{p+p'}}$$

\rightarrow On peut mesurer la distance focale de la lentille pour les différentes longueurs d'ondes à partir des mesures de p et p' . Ces mesures seront d'autant plus précises que la profondeur de champ sera faible. Comme il faut au minimum $4f$ pour former une image, on réglera la distance Objet - Ecran à une valeur légèrement supérieure.

Réglages :

Ajustez sur le banc d'optique la position de l'objet et de l'écran pour avoir $p + p' \approx 2,2 \text{ m}$. Orientez L pour minimiser les aberrations géométriques. Ajustez la position de L pour avoir l'image

de l'objet nette avec le filtre bleu. Mesurez p et p' . Remplacez le filtre bleu par le filtre rouge. Réajustez la position de L pour avoir l'image de l'objet nette. Mesurez de nouveau p et p' . Calculez f_R , f_B , f_{moy} . En déduire le pouvoir dispersif.

Remarque :

L'idéal est d'utiliser une lentille en flint (fort pouvoir dispersif). A Rennes, on n'en a pas. Celle utilisée est en crown. Comparer avec la doc Leybold (λ légèrement différent) ou au Sextant.

On peut aussi faire cette manipulation avec un trou très fin (0,3 mm par exemple) comme objet et une lentille simple non corrigée de \rightarrow prendre alors une lentille de très bonne qualité pour minimiser les aberrations. Se reporter au Sextant p. 41 pour plus de précision à ce sujet.

Tableau des indices de réfraction :

Longueur d'onde en nm	761	656	589	486	397
Substance					
crown léger	1,505	1,508	1,510	1,516	1,525
Flint dense	1,739	1,747	1,755	1,755	1,810
Quartz (rayon ordinaire)	1,539	1,542	1,544	1,550	1,558
Sel gemme	1,537	1,541	1,544	1,553	1,568

Toutes les lentilles en verre de la collection sont des achromats corrigés de l'aberration sphérique. Elles sont réalisées au moyen de deux lentilles liées par du baume du Canada (quel est l'intérêt de cette de liaison ?). Pourquoi les lentilles en quartz sont-elles de qualité médiocre du point de vue des aberrations ? Quel avantage présentent-elles ?

VI ROLE DE LA DIFFRACTION

Se reporter au montage «Diffraction», § 4.1

Bibliographie:

- PEREZ : Optique géométrique, matricielle et ondulatoire.
- BRUHAT-MARECHAL: Optique géométrique
- FLEURY-MATHIEU: Images optiques
- H PREPA : Optique 1^{ère} année MPSI - PCSI - PTSI
- DEVORE-ANNEQUIN ou MOUSSA-PONSONNET.
- GRAY-GAGENT: Electricité, Optique, collection U p. 273 et suivantes.
- DUFFAIT : expériences d'optique
- SEXTANT : optique expérimentale