

INSTRUMENTS D'OPTIQUE

I INTRODUCTION

Un instrument d'optique présente différentes caractéristiques :

- le grandissement, le grossissement ou la puissance permettent de comparer les dimensions linéaires ou angulaires de l'image et de l'objet.
- le champ définit le domaine de l'espace-objet dont l'instrument donne des images satisfaisantes.
- la clarté compare les grandeurs photométriques de l'image et de l'objet.
- le pouvoir séparateur exprime la capacité de l'instrument à percevoir les petits détails.

I.1 Effet « d'agrandissement »

La définition relative à cette qualité dépend du type d'instrument utilisé.

I.1.1 Instruments objectifs : grandissement

Les instruments objectifs donnent des images réelles (image d'une fente sur un écran par une lentille, objectif photographique, agrandisseur photographique, ...). Le grandissement γ du système optique est alors défini par la relation sans dimension :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Avec \overline{AB} la taille de l'objet et $\overline{A'B'}$ la taille de l'image (grandeurs algébriques).

I.1.2 Instruments subjectifs : grossissement - puissance

Ces instruments donnent des images virtuelles. Tous les systèmes destinés à la vision humaine (lunette astronomique, télescope, microscope, loupe, ...) rentrent dans cette catégorie car un œil normal ne peut voir nettement que des objets situés devant lui. L'image en sortie étant virtuelle, on n'utilise plus le grandissement car on ne peut pas mesurer directement $\overline{A'B'}$. On a alors recours à la notion de grossissement ou de puissance.

Grossissement :

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

Avec

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

α = angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu

Remarque :

La valeur de α dépend de l'endroit où se situe l'objet par rapport à l'œil. S'il est accessible, il doit être placé au punctum proximum de l'œil pour une observation optimale. La position du punctum proximum dépendant de la personne et de l'âge, une distance standard de 25 cm a été adoptée. Lorsqu'on calcule α avec cette valeur, on obtient le grossissement commercial G_C . La valeur de β dépend aussi des conditions d'utilisation. L'image finale donnée par l'instrument doit

être dans la zone d'accommodation de l'œil et il vaut mieux qu'elle soit rejetée à l'infini pour qu'un œil normal (œil emmétrope) puisse l'observer sans effort (pas d'accommodation nécessaire). On parle dans ce cas de grossissement intrinsèque.

Puissance :

$$P = \beta / \overline{AB} \quad \text{En m}^{-1} \text{ ou dioptries}$$

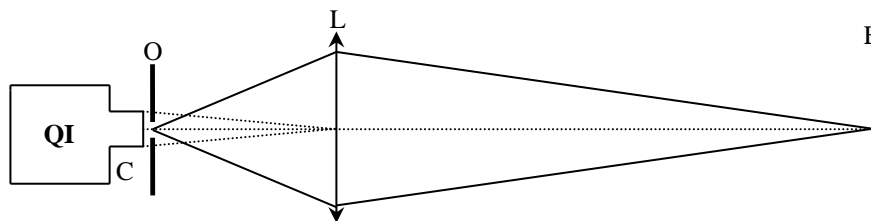
β et \overline{AB} ont les mêmes définitions que précédemment. La valeur de la puissance dépend des caractéristiques de l'instrument et des conditions d'utilisation. La puissance intrinsèque P_i correspond là aussi au cas où l'image est rejetée à l'infini.

I.2 Expériences de bases

Les manipulations suivantes sont les plus simples que l'on puisse faire en optique et les plus fréquentes que l'on réalise en montage. Il est donc indispensable de savoir les maîtriser parfaitement.

I.2.1 Formation de l'image d'une fente, d'un trou

La projection de l'image d'une fente ou d'un trou doit respecter certaines règles pour que cette image soit « propre ». Dans la plupart des cas, on procède de la façon suivante :



On utilise une source de lumière blanche équipée d'un condenseur C. L'objet O (fente par exemple) est placé à la sortie de la lampe. L'écran doit être à une distance d'au moins $4f$ de l'objet (f = distance focale de L) pour pouvoir former une image réelle. On translate la lentille sur l'axe optique jusqu'à obtenir une image nette sur l'écran puis on l'oriente en respectant la règle des 4P (cf. [1], p. 39). On ôte alors l'objet et on ajuste le tirage du condenseur pour former l'image du filament sur la lentille L. On replace ensuite l'objet à la sortie de la lampe, on refait la mise au point, on vérifie le centrage de la lentille sur l'axe optique et on l'oriente pour que la normale à sa surface soit alignée avec l'axe optique (on minimise ainsi la coma ; cf. [2], p. 29). Tous ces réglages doivent conduire à une image nette présentant peu d'aberrations. On peut s'entraîner à projeter l'image d'une fente sur un écran en changeant la position de l'écran et/ou la lentille de projection (150, 250 mm). On peut aussi regarder l'influence de la focale du condenseur (6, 10, 20 cm) suivant la distance objet/lentille de projection. Il est indispensable de réussir à retrouver à chaque fois une image de bonne qualité sinon on ne peut réussir des montages en optique.

Explications du réglage :

La méthode proposée n'est pas la plus lumineuse mais elle a plusieurs avantages. Le placement de l'objet en sortie de lampe permet d'éclairer une surface maximum de l'objet. La focalisation de l'image du filament de la lampe sur la lentille de projection L apporte plusieurs bénéfices :

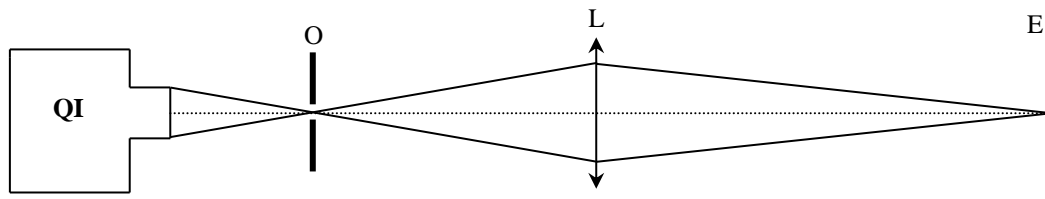
- on élimine les éventuels soucis liés à l'image parasite du filament donnée par la lentille L.

- les rayons lumineux traversent L au voisinage de son centre optique donc on satisfait au mieux les conditions de Gauss. On limite aussi les distorsions en coussinet ou en barillet (cf. [2]; p. 31) puisque que l'image du filament, qui est un diaphragme naturel, est situé sur L.

Le choix du condenseur dépend principalement de la distance focale de la lentille L utilisée (les distances mises en jeu interviennent aussi mais dans une moindre mesure). La focale de C doit être en général un peu plus faible que celle de L . Un condenseur de 6 cm convient bien à une lentille L de 15 cm de focale, un condenseur de 10 ou 20 cm est mieux adapté pour les lentilles de 25 cm, ... On peut tester différentes combinaisons de lentilles et condenseurs pour le vérifier.

Remarque :

Cette méthode est peu lumineuse (notamment si l'objet est un trou) et conduit à une grande profondeur de champ (cf. [1], § 1.7.3) puisqu'on éclaire une petite portion de la lentille L . Si on souhaite plus de lumière lorsqu'on projette l'image d'un trou, on peut le placer au voisinage du point de convergence du condenseur.



On a alors plus de lumière mais on est gêné par l'image du filament, les aberrations chromatiques du condenseur et les aberrations géométriques de la lentille L puisqu'une plus grande partie de sa surface est éclairée.

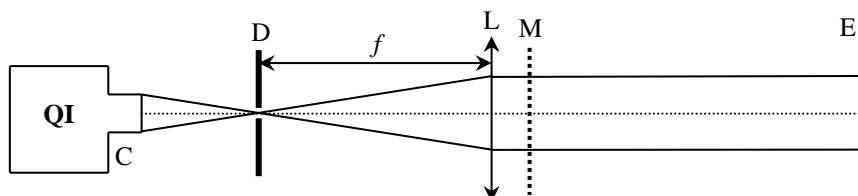
I.2.2 Projection d'un objet de grande taille

Les montages précédents ne conviennent pas aux objets de grande taille car ils ne sont plus uniformément éclairés et ne se comporte pas comme une « vraie source » pour la lentille L . Il faut alors placer un verre dépoli diffusant entre la lampe et l'objet. Le condenseur n'a théoriquement plus d'utilité si le dépoli est parfaitement diffusant mais il peut cependant permettre de rabattre une partie de la lumière. On peut s'entraîner à faire l'image d'une grande grille ou de n'importe quoi d'assez étendu (des tubes en verre servant à la vérification de la loi de Jurin par exemple).

Une autre alternative consiste à remplacer le condenseur de la lampe par une lentille de courte focale et de plus grande ouverture comme une lentille de Fresnel (cf. [1], p. 19 et 20). On rencontre ce genre de dispositif dans les rétroprojecteurs (la lentille est accolée sur la vitre de projection), les caisses de supermarché, l'arrière des bus, ...

I.2.3 Obtention d'un faisceau de lumière parallèle

Manipulation :



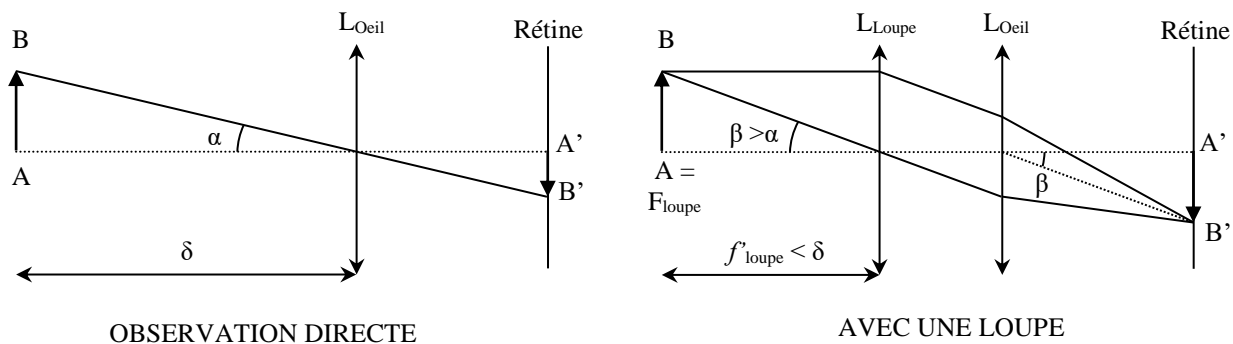
Il vaut mieux prendre un condenseur C assez convergent (6 cm par exemple) si on souhaite un montage compact. On recule l'ampoule de la lampe au maximum et on place un petit diaphragme D au point de convergence du faisceau (où se trouve l'image du filament de la lampe) en prenant soin de bien centrer le trou pour limiter les irisations. On place ensuite D au foyer de la lentille L en procédant par auto collimation : on se sert d'un miroir plan M placé à la suite de L pour renvoyer le faisceau sur lui-même et on déplace l'ensemble lentille/miroir jusqu'à ce que le faisceau réfléchi

reconverge sur D. Chaque point source donne alors un faisceau parallèle en sortie de L mais la section globale du faisceau tend à augmenter avec la distance. L'effet est d'autant plus notable que le trou source est gros puisque les points sources situés hors de l'axe optique donnent en sortie des faisceaux de lumière parallèles inclinés par rapport à l'axe optique.

II LA LOUPE

[1], p, 28-29.

C'est une lentille convergente permettant une « vision agrandie » de l'objet. Sa distance focale doit être inférieure au punctum proximum de l'œil pour obtenir un effet d'agrandissement et une personne emmétrope doit placer l'objet dans le plan focal objet de la loupe pour qu'il puisse voir son image sans effort :



La loupe fait partie des instruments subjectifs puisqu'elle donne une image virtuelle. On la caractérise donc par le grossissement ou la puissance. On montre facilement les relations suivantes :

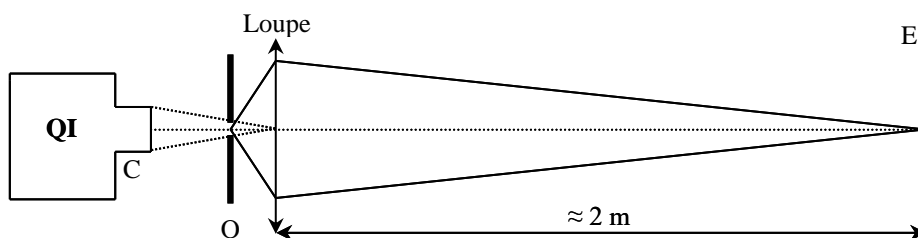
$$P_i = \frac{1}{f'_{loupe}}$$

$$G_{Ci} = \frac{P_i}{4} = \frac{1}{4f'_{loupe}}$$

Les loupes du commerce ont typiquement des grossissements commerciaux compris entre 3 et 12, soit des focales comprises entre 8 et 2 cm.

Manipulation :

On peut étudier une loupe du commerce et vérifier la valeur de son grossissement commercial intrinsèque en mesurant sa distance focale avec le montage suivant :

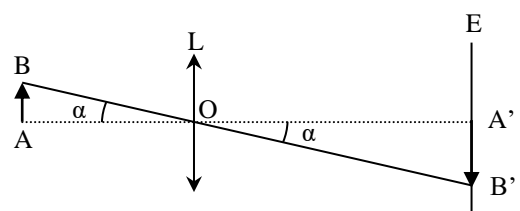


Objet : mire micrométrique en verre ou pied à coulisse réglé sur 1 mm à défaut.

Exploitation :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA'}} \rightarrow \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$



$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \rightarrow \gamma = 1 - \frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}} \rightarrow \boxed{\overline{OF'} = f' = \frac{\overline{OA'}}{1 - \gamma}}$$

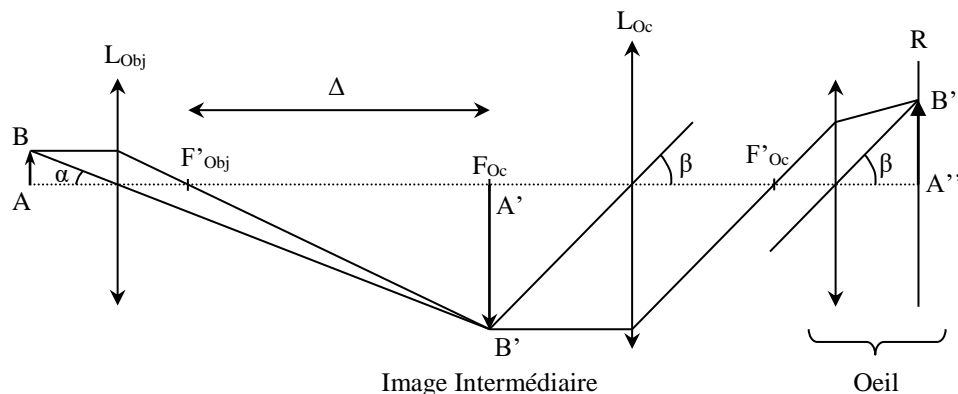
→ La mesure du grandissement permet d'obtenir la distance focale de la loupe et son grossissement commercial intrinsèque G_{Ci} . Le choix d'une distance $\overline{OA'}$ importante permet de minimiser l'incertitude sur la mesure.

Remarque :

La position de l'œil par rapport à la loupe n'influe pas sur le grossissement si l'objet est dans le plan focal objet de la loupe mais on a intérêt à placer son œil assez près de la loupe pour ne pas limiter le champ d'observation en largeur.

III LE MICROSCOPE

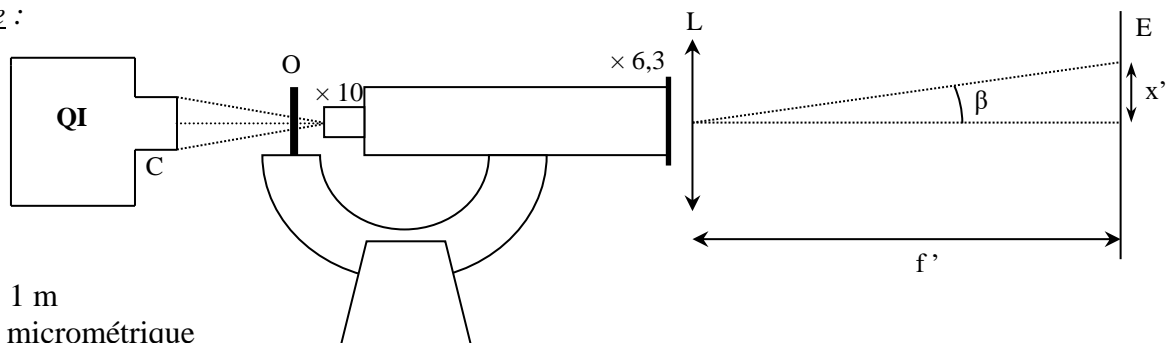
L'appareil est schématiquement constitué de deux lentilles. La première, nommée objectif, est une lentille de très courte focale destinée à former une image intermédiaire agrandie de l'objet. La deuxième, l'oculaire, joue le rôle d'une loupe. L'image intermédiaire est placée dans son plan focal objet pour obtenir une image finale rejetée à l'infini (image visible sans effort pour un emmétrope). L'intervalle optique est la distance entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire (valeur standard : 160 mm). C'est un paramètre important du microscope car il intervient dans l'expression du grandissement de l'objectif. La valeur du grandissement inscrit sur un objectif n'est donc valable que si on respecte cet intervalle. Le chiffre marqué sur l'oculaire correspond à son grossissement commercial intrinsèque. On obtient le grossissement commercial intrinsèque total du microscope en multipliant ces deux chiffres.



III.1 Mesure directe du grossissement

[1], § 1.10.2.5

Montage :



$L : f' = 1 \text{ m}$

O : mire micrométrique

Il vaut mieux prendre un grossissement raisonnable et un objectif à une seule lentille pour simplifier les mesures. On a utilisé ici un objectif de grandissement $\gamma_{ob} = \times 40$ et un oculaire de grossissement $G_{oc} = \times 6,3$. On s'attend donc à avoir un grossissement global $G_{micro} = \gamma_{ob} G_{oc} = 252$.

On place l'écran dans le plan focal image de la lentille convergente L pour simuler une observation à l'infini. On ajuste la mise au point du microscope pour avoir une image nette sur l'écran. On mesure la distance x' séparant deux traits sur l'image de la mire. On en déduit l'angle $\beta \approx x'/f'$ sous lequel un observateur voit cette image. On calcule l'angle $\alpha \approx x/\delta$ sous lequel l'observateur verrait la mire à l'œil nu en la plaçant au punctum proximum (valeur standard : $\delta = 25$ cm). On en déduit alors le grossissement commercial intrinsèque du microscope $G_{micro} = \beta/\alpha$. On a obtenu par cette méthode un grossissement de 259, soit une valeur proche de la valeur attendue. Si on trouve un écart notable, c'est que l'intervalle optique Δ n'est probablement pas totalement respecté. Il faut alors mesurer la longueur D du tube du microscope (elle doit être proche de 160 mm si le microscope est standard) et corriger cette distance compte tenu de la position du foyer image de l'objectif et du foyer objet de l'oculaire pour obtenir l'intervalle optique réellement employé.

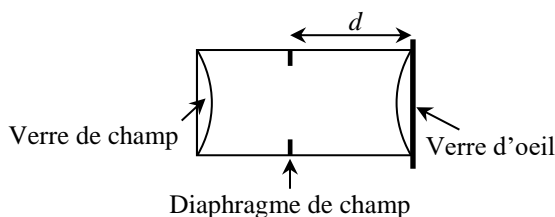
III.2 Etude de l'oculaire

Vérification du grossissement :

Il suffit de mesurer sa distance focale par la méthode du § II. Si l'oculaire employé est négatif (cf. [1], § 1.10.2.3), son foyer objet n'est pas directement accessible. On le place sur l'axe optique du montage en mettant le verre d'œil du côté objet (sens inverse de la normale). On mesure le grandissement γ du montage, on en déduit la focale de l'oculaire puis son grossissement commercial. On doit trouver une valeur proche de celle annoncée.

Foyer objet :

Le foyer objet de l'oculaire est, par principe, au niveau du diaphragme de champ. Ce diaphragme est situé entre le verre de champ et le verre d'œil dans un oculaire négatif. On peut le vérifier en retirant le verre de champ et en plaçant son doigt ou un bout de papier au niveau du diaphragme (on doit le voir net). C'est ici que l'objectif doit former l'image intermédiaire.



On peut alors mesurer la distance d séparant le diaphragme de l'épaulement de l'objectif.

III.3 Etude de l'objectif

Mesure de la distance focale :

Même manipulation qu'au § II.1. On place cette fois-ci l'objectif dans son sens normal d'utilisation sur l'axe optique. On en déduit sa distance focale f' .

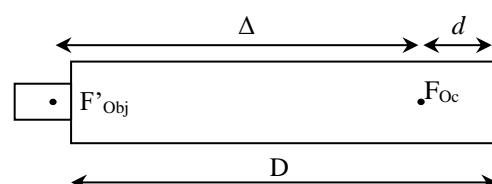
Position du foyer image :

Elle est simple à trouver si l'objectif est constitué d'une seule lentille (F' est à la distance f' de la lentille). Dans le cas contraire, se reporter à la référence [1], § 1.10.2.2 pour une méthode de détermination de cette position.

III.4 Calcul de l'intervalle optique

On l'obtient avec les mesures précédentes :

Une fois Δ connu, on peut calculer le grandissement de l'objectif dans les conditions d'utilisation, recalculer la valeur du grossissement du microscope et comparer à la mesure directe du § II.2.1.

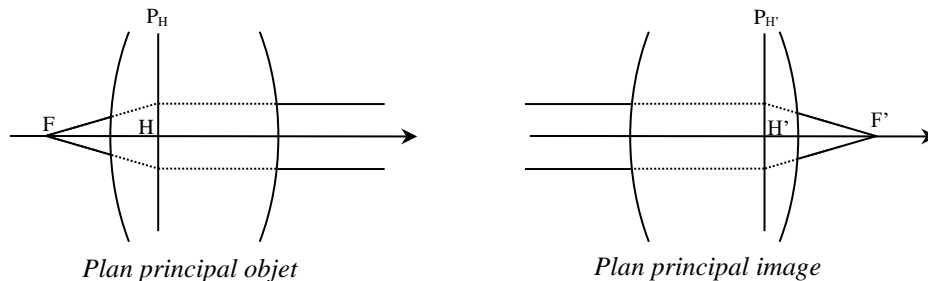


IV LES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES

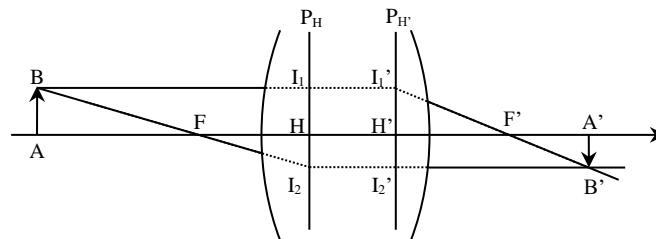
[1], p. 31 et suivantes.

IV.1 Introduction

Un objectif photographique est un assemblage plus ou moins complexe de plusieurs éléments qu'on ne peut pas assimiler à une lentille mince → pour décrire la formation d'une image par ce système optique « épais », on le modélise en donnant la position de ses plans principaux et de ses foyers (cf. [1], p. 31 et [3], § 6.2) :



Le plan principal image $P_{H'}$ se trouve à l'intersection fictive d'un rayon incident parallèle à l'axe optique (ou son prolongement symbolique) avec le rayon émergent correspondant (ou son prolongement symbolique). Par définition, ce rayon émergent (ou son prolongement dans le cas des systèmes divergents) passe par le foyer image F' puisque le rayon incident est parallèle à l'axe optique. De même, le plan principal objet P_H se trouve à l'intersection fictive d'un rayon émergent parallèle à l'axe optique (ou son prolongement symbolique) avec le rayon incident correspondant (ou son prolongement symbolique). Par définition, ce rayon incident (ou son prolongement dans le cas des systèmes divergents) passe par le foyer objet F puisqu'il correspond à un rayon émergent parallèle à l'axe optique. Ces plans principaux sont perpendiculaires à l'axe optique et leurs intersections H et H' avec cet axe sont appelés points principaux objet et image. Ces points et plans principaux sont conjugués par le système optique, avec un grandissement transversal $\gamma = 1$ pour les plans. Ils n'ont qu'une signification symbolique permettant de déterminer la position et la grandeur des images et définir les distances focales objets et images. La construction d'une image se fait alors en suivant les mêmes principes que ceux utilisés pour les lentilles minces, mais avec des rayons réels ou équivalents s'appuyant sur les foyers et les plans principaux :



Les distances focales ne sont plus définies par rapport à un point unique O comme dans le cas des lentilles minces, mais par rapport aux points principaux H et H' . On a donc :

$$f = \overline{HF} ; f' = \overline{H'F'} \quad \text{Avec, dans l'air : } \overline{HF} = -\overline{H'F'} \quad \text{soit} \quad f = -f'$$

La position de l'image par rapport à l'objet peut s'obtenir grâce à la relation de conjugaison du système épais avec origine aux points principaux :

$$\frac{1}{\overline{H'A'}} - \frac{1}{\overline{HA}} = \frac{1}{\overline{H'F'}} = \frac{1}{f'}$$

Le grandissement principal est, quant à lui, donné par : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{H'A'}}{\overline{HA}}$

On retrouve évidemment les formules des lentilles minces lorsqu'on suppose que H et H' sont confondus en un point unique, le centre optique O.

Remarque :

Les plans principaux ne sont pas forcément situés à l'intérieur du système optique. Le plan principal objet P_H peut être à droite ou à gauche du plan principal image $P_{H'}$ et l'un ou l'autre, voire même les deux, peuvent être à l'extérieur des limites physiques de l'objectif dans l'espace objet ou image. Par exemple, un téléobjectif a, de par sa nature, un plan principal image $P_{H'}$ situé à l'avant de l'objectif, donc dans l'espace objet (cf. [1], p. 32).

IV.2 Mesure de f' : recherche de P_H et $P_{H'}$

Les distances $\overline{H'F'} = f'$ ou $\overline{HF} = f$ correspondent à ce qu'on appelle couramment la focale d'un objectif photographique. Ce type de système optique a cependant une contrainte importante à respecter : il doit former l'image de l'objet sur une surface réceptrice (pellicule, capteur) située toujours au même endroit, et ce quelle que soit la position de l'objet par rapport à l'appareil. Dans les objectifs dits figés, cette opération de mise au point s'effectue par une translation en bloc du système optique pour faire coïncider l'image avec la surface réceptrice → leurs points cardinaux F, H, H' et F' se déplacent conjointement et la distance focale reste constante. Par contre, la mise au point s'effectue par déplacement d'un ou plusieurs éléments du système optique par rapport aux autres pour les objectifs dits flottants (majoritaires dans les optiques modernes) → dans ce cas, elle entraîne obligatoirement une modification relative de la position des points cardinaux qui peut impacter la valeur de la distance focale. Celle annoncée par le constructeur correspond alors à une mise au point à l'infini. On en tire une conséquence pratique en cas de doute sur la nature de l'objectif : il vaut mieux **régler l'objectif à l'infini pour mesurer expérimentalement sa distance focale**. On peut facilement mesurer la distance focale f' d'un objectif photographique. Il suffit de projeter l'image d'un petit objet avec un très fort grandissement. On a alors¹ :

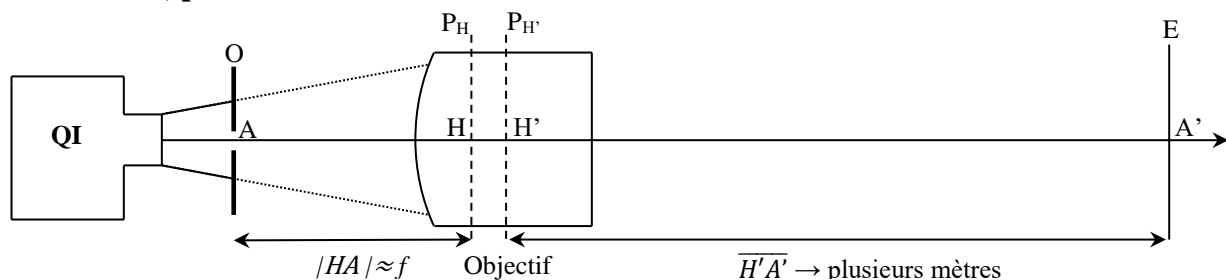
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{H'A'}}{\overline{HA}} \rightarrow \frac{1}{\overline{HA}} = \frac{\gamma}{\overline{H'A'}}$$

$$\frac{1}{\overline{H'A'}} - \frac{1}{\overline{HA}} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{\overline{H'A'}} - \frac{\gamma}{\overline{H'A'}} = \frac{1-\gamma}{\overline{H'A'}} = \frac{1}{f'} \rightarrow \boxed{f' = \frac{\overline{H'A'}}{1-\gamma} = \frac{\overline{H'A'}}{1+|\gamma|}}$$

Un grandissement important améliore la précision sur la mesure de f' (image plus grande, donc plus facile à mesurer) et permet de déterminer les positions de P_H et $P_{H'}$ avec une bonne approximation. On suppose la position de $P_{H'}$ connue pour commencer (on verra comment l'obtenir par la suite).

Montage :

[1], p. 23



O : objet de petite dimension connue précisément → exemple : pied à coulisse réglé sur 5 mm.

¹ Le grandissement γ est **négatif** dans cette formule (une image réelle fournie par un système convergent est inversée).

L'objectif doit être placé avec sa face d'entrée dirigée vers l'objet. On a intérêt à prendre un objectif lumineux et ouvert au maximum afin de réduire la profondeur de champ pour apprécier plus facilement le moment où on conjugue exactement l'objet avec l'écran (variation plus rapide de la netteté → mesure plus précise de γ). La manipulation a été testée avec un Zeiss Sonnar 85 mm f/2 ouvert au maximum **et réglé à l'infini**. Il y a un compromis à faire pour avoir une image exempte d'aberrations qui conditionne la façon dont on éclaire l'objet.

Exemple de résultat :

Pied à coulisse : $d = 5 \pm 0,1$ mm (précision évaluée sur le pointé des graduations secondaires de l'instrument).

$\overline{H'A'} = L = 452 \pm 3$ cm (mesuré au mètre ruban sur une paillasse avec H' connu).

Image de O sur E : $D = 26,1 \pm 0,3$ cm (précision évaluée par répétition de la mise au point et prise en compte des aberrations résiduelles).

$$\rightarrow f' = \frac{L}{1 + \frac{D}{d}} = \frac{Ld}{d + D} = 85 \text{ mm}$$

Si on utilise la méthode des incertitudes indépendantes, le calcul d'incertitude sur f' donne :

$$\frac{\Delta f'}{f'} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \frac{1}{(d + D)^2} \left(\Delta D^2 + \frac{D^2}{d^2} \Delta d^2\right)} \approx \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \frac{1}{D^2} \left(\Delta D^2 + \frac{D^2}{d^2} \Delta d^2\right)} = 2 \text{ mm}$$

On a donc au final : $f' = 85 \pm 2$ mm. On voit que le résultat obtenu corrobore la donnée constructeur.

Recherche de P_H :

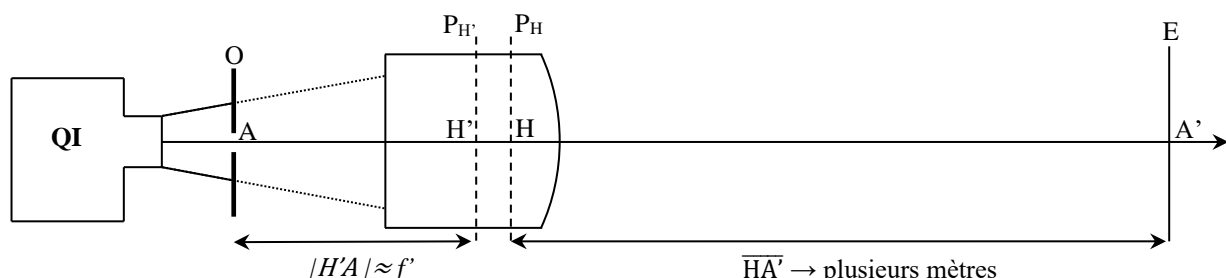
Comme on a formé une image à une distance très éloignée de l'objectif comparée à sa focale, on peut considérer que l'objet est quasiment dans le plan focal objet de l'instrument. La relation de conjugaison permet en effet de montrer qu'on a, avec les distances mises en jeu dans l'expérience² :

$$\overline{HA} = \frac{\overline{H'A'}}{f' - \overline{H'A'}} f' = \frac{452}{8,5 - 452} f' = -1,02 \cdot f'$$

L'hypothèse d'un objet situé dans le plan focal objet de l'objectif est donc valable ici à 2 % près → On trouve la position de P_H en comptant ≈ 85 mm à partir de l'objet. On s'aperçoit alors qu'il est situé 1 cm après le début de l'objectif.

Recherche de $P_{H'}$:

On a supposé connue la position de P_H dans l'expérience précédente. Pour trouver ce plan, il suffit de refaire la manipulation en inversant le sens de l'objectif.



² Le signe – dans l'expression suivante est liée au fait que HA est compté négativement par rapport à l'axe optique.

Le principe est le même ; on forme une image nette de l'objet sur l'écran éloigné. L'objet est alors pratiquement dans le plan focal image de l'objectif et il suffit de compter ≈ 85 mm à partir de l'objet pour trouver P_H . L'expérience montre qu'il se situe dans l'objectif, à ≈ 42 mm de sa monture \rightarrow les plans P_H et P_H' sont distants de moins d'1 cm et ils sont tous les deux situés dans l'objectif, plutôt vers l'avant.

Tirage mécanique :

L'objet étant pratiquement situé en F' , la distance entre l'objet et la monture de l'objectif nous donne son tirage mécanique (c'est la distance à laquelle doit être placée la surface réceptrice de l'appareil photo par rapport à la monture). La mesure de cette distance montre que le tirage mécanique vaut ≈ 40 mm. C'est sensiblement plus court que le tirage mécanique des montures les plus courantes, généralement compris 44 et 47 mm. L'objectif utilisé est cependant assez particulier puisqu'il s'agit d'une optique Zeiss Ikon développée dans les années 60/70 pour les boîtiers Contarex de la même marque. Le tirage mécanique annoncé est 46 mm mais la forme particulière de la monture sur ce type de boîtier laisse à penser qu'il ne correspond pas à une mesure depuis le bord externe de l'objectif mais depuis le bord interne \rightarrow il faut alors rajouter 6 mm à notre résultat et on retrouve alors la donnée constructeur.

Influence de la mise au point :

La mesure de f' a été faite en ayant réglé la mise au point à l'infini. On peut recommencer l'expérience en réglant l'objectif à sa distance minimale de MAP. On s'aperçoit alors que le grandissement reste le même. La distance focale ne change donc pas avec la mise au point \rightarrow cette focale fixe fait partie des systèmes optiques figés³.

Comparaison avec un zoom :

On a refait les mêmes expériences avec un téléobjectif Pentax 28-200 mm f/3,8-5,6 utilisé sur un boîtier argentique. Avec l'objectif calé à 200 mm, ouvert au maximum et la mise au point faite sur l'infini, on a pour $d = 5$ mm et $L = 435$ cm une image de largeur $D = 10,4$ cm \rightarrow On obtient $f' = 199,5$ mm, une valeur très proche de celle annoncée. La position du plan P_H se trouve alors à ≈ 8 cm en avant de l'objectif.

L'expérience fait avec l'objectif placé en sens inverse montre que le plan P_H' est situé quant à lui à 1 cm en avant de l'objectif \rightarrow les deux plans sont dans le milieu objet et sont séparés d'environ 7 cm. La distance entre l'objet et la monture nous donne le tirage mécanique de la monture Pentax. On trouve une valeur de ≈ 45 mm cohérente avec la donnée constructeur (45,46 mm). On peut aussi comparer ce résultat à la profondeur, par rapport à la monture, à laquelle se situe l'obturateur du boîtier reflex accompagnant l'objectif (il faut soulever délicatement le miroir de renvoi d'image pour accéder à l'obturateur). Là aussi, on trouve un résultat très proche de 45 mm.

On peut aussi regarder l'influence de la mise au point. On a refait l'expérience avec le zoom calé à 200 mm, mais avec la mise au point au minimum. Le grandissement est notablement modifié cette fois ci et on trouve que la distance focale ne vaut plus 200 mm dans ces conditions mais est plus proche de 145 mm !

IV.3 Influence de l'ouverture sur la luminosité des objectifs

Un intérêt fondamental des lentilles (ou des miroirs) dans la formation d'une image est leur aspect collecteur de lumière. Un appareil à fort grossissement ne sert à rien si, compte tenu de la sensibilité du récepteur, il n'est pas suffisamment lumineux. On peut jouer sur la luminosité d'un objectif en modifiant son nombre d'ouverture NO (cf. [1], p. 34 ou [3], p. 683). Les valeurs des nombres d'ouvertures NO sont

³ Cela semble cohérent avec le fait que le bloc optique semble se déplacer en bloc lorsque l'on modifie la mise au point.

standardisées selon une progression géométrique en $\sqrt{2}$ afin de modifier l'éclairement du récepteur par un facteur 2 lorsqu'on passe d'un nombre d'ouverture au suivant.

Manipulation :

Cf. [1], p. 34 pour le montage.

Il faut disposer d'un objectif permettant le contrôle manuel de l'ouverture. On a utilisé ici un objectif Leica 35 mm (l'expérience est aussi possible avec le Pentax 28-200). On peut faire varier manuellement son NO de 2 à 16. On place cet objectif à 50 cm minimum du calque et on éclaire le calque avec une lampe Quartz Iode **alimentée en continu** (alimentation 30 V – 10 A réglée à 12 V) afin d'avoir un éclairement le plus stable possible. On place une photodiode dans le plan image du calque en la polarisant en inverse⁴ avec une tension de 12 V. On ajuste la résistance de charge de façon à avoir un signal assez fort à ses bornes à l'ouverture de 2. On mesure ensuite la tension aux bornes de cette résistance pour différentes valeurs du nombre d'ouverture. On mesure aussi le signal avec le cache vissé sur l'objectif pour voir s'il faut corriger les mesures. On calcule alors le rapport des tensions éventuellement corrigées pour deux valeurs successives du NO. Voici à titre indicatif le résultat d'une série de mesure pour une distance entre le calque et l'objectif de 57 cm et une résistance de charge de 20 000 Ω :

NO	2	2,8	4	5,6	8	11	16
Vd (V)	7,41	4,08	2,05	1,01	0,49	0,25	0,09
Vr (V)	7,33	3,63	1,80	0,90	0,45	0,24	0,09
Vd/Vd'	1,81	2,00	2,03	2,05	1,96	2,74	
Vr/Vr'	2,02	2,02	2,00	1,98	1,91	2,59	

Signal au noir : 0,8 mV

On a constaté une variation dans les mesures suivant que l'on « descendait » ou « remontait » les NO. L'expérience a été répétée trois fois. On a constaté à chaque fois le même problème avec une très bonne reproductibilité des résultats, ce qui laisse supposer un défaut systématique dans le calage du diaphragme au NO souhaité suivant le sens de rotation de la bague d'ouverture. On présente donc ici la moyenne sur les 3 expériences (3 descentes, 3 montées). Les valeurs V_d correspondent aux tensions mesurées lorsqu'on « descendait » les NO, les valeurs V_r correspondent aux mesures en « remontant » les NO. Quoi qu'il en soit, et quel que soit le sens de parcours, le rapport des tensions entre deux NO successifs est bien voisin de 2 à l'exception notable du rapport V_{11}/V_{16} (vu sa valeur, le signal au noir n'a pas été pris en compte dans les calculs). Cet écart avec les NO les plus grands est probablement dû à une petite erreur sur le diamètre du diaphragme d'ouverture. Par définition (cf. [3], p. 682) le nombre d'ouverture est égal au rapport de la distance focale de l'objectif sur le diamètre de la pupille d'entrée :

$$NO = \frac{f'}{2R_{PE}}$$

Le diamètre de la pupille d'entrée pour l'objectif proposé ($f' = 35$ mm) a donc les valeurs suivantes :

NO	2	2,8	4	5,6	8	11	16
$2R_{PE}$ (mm)	17,5	12,5	8,75	6,25	4,37	3,2	2,2

On conçoit donc qu'une petite erreur sur le diamètre du diaphragme d'ouverture a des conséquences plus importantes sur la quantité de lumière reçue avec les NO les plus grands, et ce d'autant plus que

⁴ Elle se comporte alors comme un détecteur linéaire en éclairement tant qu'on ne la dépolarise pas et que le courant inverse est négligeable.

la quantité de lumière reçue est, dans les conditions usuelles de la photographie, proportionnelle à la surface de la pupille, donc à son diamètre au carré.

Précaution à respecter :

Il faut éloigner suffisamment l'objectif du calque pour que les résultats aux faibles NO, donc aux grandes ouvertures, soient conformes à ce que l'on attend. On a par exemple rapproché l'objectif à 10 cm du calque et on a répété les mesures avec le même protocole (la résistance a été réajustée de façon à obtenir approximativement le même signal à $NO = 2$) :

NO	2	2,8	4	5,6	8	11	16
Vd (V)	7,414	4,500	2,292	1,142	0,566	0,295	0,114
Vr (V)	7,415	3,991	2,011	1,017	0,524	0,281	0,114
Vd/Vd'	1,649	1,967	2,013	2,031	1,940	2,698	
Vr/Vr'	1,859	1,988	1,984	1,953	1,886	2,568	

On avait cette fois ci un signal au noir de 6,7 mV dont on a tenu compte dans le calcul des rapports de tension. On constate cette fois ci une dégradation des résultats sur le rapport $V_2/V_{2,8}$ (il n'est plus tout à fait égal à 2). Cela est lié au fait que l'éclairement d'un instrument objectif est, en toute rigueur, proportionnel au carré de l'ouverture numérique $n \cdot \sin u$ (cf. [3], p. 510, 566 et 682-685). Dans les conditions courantes de la photographie (objets éloignés par rapports à la focale de l'objectif), l'ouverture numérique est proportionnelle au diamètre de la pupille d'entrée, donc inversement proportionnelle à NO et ce jusqu'à des ouvertures assez importantes (1,4). On est loin de ces conditions ici : l'objet est très proche de l'objectif et on ne peut assimiler le sinus à l'angle u .

Remarques :

L'ouverture maximale d'un objectif a souvent un impact direct sur son prix et son poids. A titre d'exemple, la société Leica commercialise une focale fixe de 50 mm ouvrant à 0.95 (record pour les objectifs « grand » public). Il pèse 630 grammes et coûte 8 000 euros. Un 50 mm de la même marque ouvrant jusqu'à 1.4 coûte 2600 euros et pèse 490 grammes. Celui n'ouvrant qu'à 2 au minimum ne coûte que 1200 euros pour 290 grammes. Chez Canon, les 50 mm ouvrant à 1.2, 1.4 et 1.8 valent respectivement 1400 euros (545 gr), 425 euros (290 g) et 110 euros (130 g).

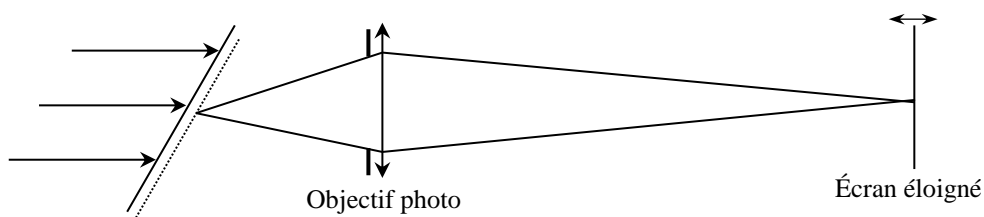
La luminosité n'est pas le seul intérêt à l'emploi d'objectif très ouvert. Cela permet aussi de réduire la profondeur de champ pour s'affranchir de l'arrière-plan en photographie de portrait.

IV.4 Influence de l'ouverture sur la profondeur de champ

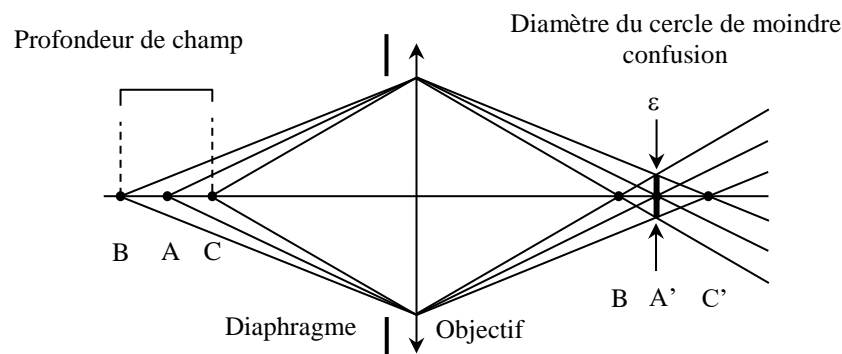
La profondeur de champ correspond à la zone de l'espace dans laquelle l'objet doit se trouver pour que l'on puisse en obtenir une image comme nette sur le récepteur → elle dépend de la limite de résolution du capteur.

Expérience :

L'objet est une grille contrastée de pas 1 mm accolée à un calque. On l'incline à 45° autour d'un axe vertical et on forme une image nette de son centre sur l'écran. On peut alors regarder l'influence qu'à l'ouverture sur l'image :



On peut vérifier que le nombre de traits vus nettement est une fonction croissante du nombre d'ouverture (cf. [1], p. 35-36 pour plus de détails) → Plus le diaphragme est fermé plus la profondeur de champ est grande. Cela s'explique facilement car l'influence de l'ouverture sur la profondeur de champ est un phénomène purement géométrique :



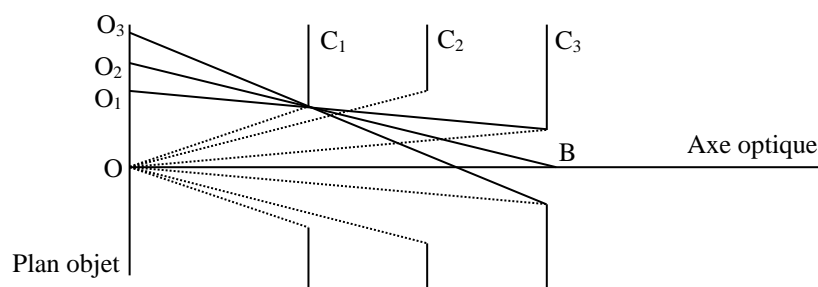
La mise au point étant faite sur A, son image A' sur la pellicule est ponctuelle si on suppose l'instrument parfait. L'image sur la pellicule d'un point de l'axe différent de A est une tâche et les points pour lesquels cette tâche a un diamètre inférieur à celui du cercle de moindre confusion sont ceux du segment BC. Si le diamètre ε correspond à la limite de résolution du récepteur, tous les points entre B et C seront considérés comme nets → la profondeur de champ est la distance BC. Elle est d'autant plus grande que le diaphragme est petit.

V 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.

V.1 Pré requis

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 $C_1, C_2, C_3 \dots$:



V.1.1 Diaphragme d'ouverture

De O, point central du plan objet, celui qui est vu sous le plus petit angle constitue la pupille d'entrée de l'instrument (C_3 ici). 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. A titre d'exemple, dans un appareil photographique simple, 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).

V.1.2 Diaphragme de champ

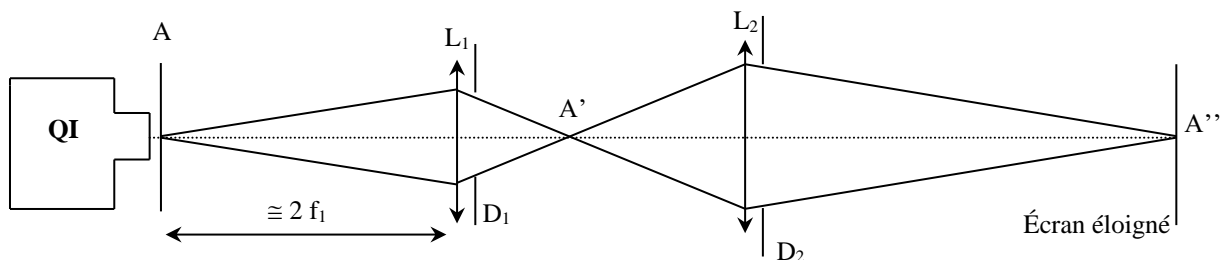
De B, point central de la pupille d'entrée, le conjugué vu sous le plus petit angle constitue la lucarne d'entrée de l'instrument (C_1 ici) ; le diaphragme qui lui correspond dans l'instrument est dit diaphragme de champ. C'est lui qui détermine la fraction du plan objet dont le système forme l'image.

Détermination des champs en largeur :

Sur la figure précédente la portion $O-O_1$ définit le champ de pleine lumière : dans cette zone, tous les rayons issus d'un point et passant dans la pupille d'entrée ne sont arrêtés par aucun diaphragme. La portion O_1-O_3 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 O_3 , d'où une gradation de la lumière dans la portion image correspondant à la partie objet O_1-O_3 .

V.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 (une lunette de visée par exemple).



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

On place 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 différents diaphragmes sont directement accessibles sans qu'on ait besoin de chercher leurs conjugués optiques.

V.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 dimension, mais son éclairement diminue. D_1 est donc diaphragme d'ouverture et, comme il est son propre conjugué 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.

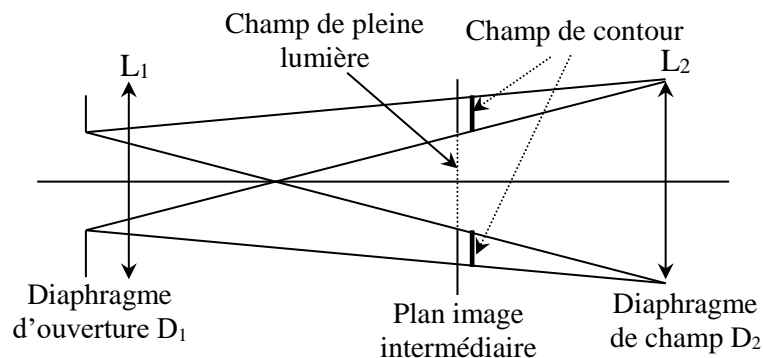
V.2.2 Recherche du diaphragme de champ

On ôte D_1 , on ferme 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 son propre conjugué dans l'espace image, il est aussi lucarne de sortie. La lucarne d'entrée est l'image de D_2 donnée par L_1 . 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.

V.2.3 Suppression du champ de contour

On ôte D_1 et D_2 . L'image sur l'écran n'a pas un éclairement uniforme (les bords sont plus sombres). Pour supprimer le champ de contour, on peut placer un diaphragme dans le plan de l'image intermédiaire A' (son image sur E doit être nette) et le refermer 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. [2], 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 supprimer le champ de contour et réduire la lumière parasite (lunette astronomique, microscope, etc...).

V.2.4 Utilisation d'une lentille de champ

On ôte les diaphragmes et on ajoute dans le plan de l'image intermédiaire A' une lentille L_3 de grand diamètre dont la focale est telle que l'image de L_1 soit à peu près sur L_2 (une focale de 10-15 cm convient ici). On constate que le champ en largeur de l'appareil est augmenté et que les aberrations sont réduites (image plus nette et moins déformée). Cela est lié au fait que la lentille de champ renvoie vers la lentille L_2 les rayons qui s'écartent de l'axe optique (cf. [2], p.106). Une application importante du verre de champ se rencontre dans les oculaires (oculaire de microscope par exemple).

VI ABERRATIONS

VI.1 Aberrations géométriques

Elles résultent des écarts à l'optique de Gauss (une lentille sphérique n'est stigmatique et aplanétique que dans ces conditions) → elles apparaissent pour des points objets non axiaux, une grande ouverture des faisceaux, et des pincesaux lumineux très inclinés. Dans ce cas, 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 (cf. [2], p.25) des termes en :

- h^3 qui correspond à l'aberration sphérique. Elle apparaît lorsqu'on a un faisceau très ouvert (ordre 3 en h) et c'est la seule aberration qui existe pour un point situé sur l'axe optique (ordre 0 en y').

- $h^2 y'$ qui correspond à la coma. Elle apparaît lorsque le point image est légèrement décalé de l'axe (ordre 1 en y') avec une ouverture de faisceau relativement importante (ordre 2 en h).

- hy'^2 qui correspond à l'astigmatisme et à la courbure de champ. Cette aberration apparaît lorsque le point image est encore plus décalé de l'axe optique (ordre 2 en y') avec un diaphragme peu ouvert (ordre 1 en h).

- y'^3 qui correspond à la distorsion. Ce défaut s'observe avec une très faible ouverture (ordre 0 en h) lorsque le point image est très décalé de l'axe optique (ordre 3 en y'). 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.

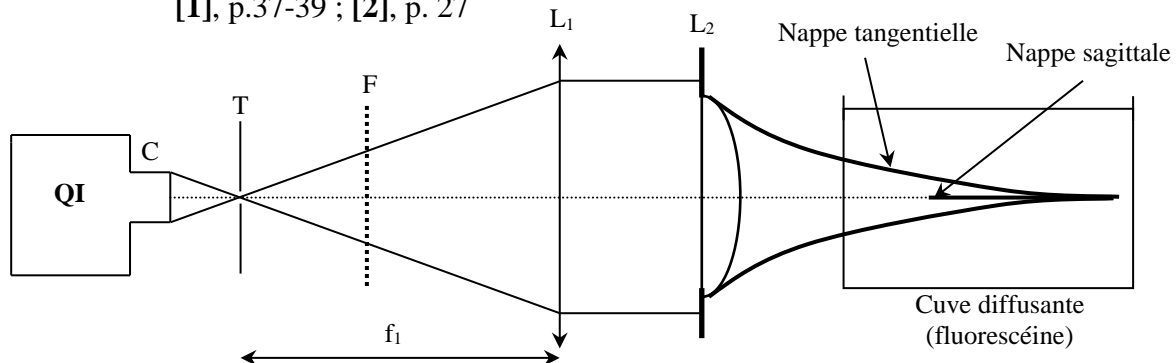
On ne présentera pas ici toutes les aberrations possibles mais celles que l'on rencontre le plus fréquemment en montage : l'aberration sphérique, la coma (aberrations d'ouverture : points axiaux ou quasi axiaux envoyant des faisceaux larges) et la distorsion (aberration d'inclinaison : points éloignés de l'axe envoyant des rayons inclinés en pinces fins).

VI.1.1 Aberration sphérique (h^3)

$y'^0 \rightarrow c$ est la seule pour un point axial
 $h^3 \rightarrow$ grande ouverture du faisceau

Manipulation :

[1], p.37-39 ; [2], p. 27



C : 6 cm

F : filtre jaune gélatine

TS : trou ϕ 1mm

L1 : lentille Leybold 50 cm

L2 : lentille plan convexe de focale 10 – 20 cm

Le trou source doit être petit (point axial). On ajuste le tirage de la lampe pour éclairer totalement la lentille L1. Cette lentille sert à former un faisceau parallèle pour exploiter quantitativement cette manipulation (l'aberration s'observe même si le faisceau d'entrée n'est pas parallèle). On conseille la lentille Leybold car son grand diamètre permet d'éclairer totalement la lentille L2. On conseille de prendre une lentille plan-convexe pour L2 car elle présente une forte aberration sphérique.

On commence en ne respectant pas la règle des 4 P. On observe l'apparition de la nappe tangentielle en premier puis la nappe sagittale en déplaçant la cuve. Le rajout d'un diaphragme (le centrer avec soin) ou le respect de la règle des 4 P doit atténuer ces aberrations. On peut exploiter quantitativement cette manipulation en mesurant la longueur ℓ_1 de la nappe sagittale lorsque l'on respecte les 4P et cette même longueur ℓ_2 lorsqu'on ne respecte pas cette règle. Le rapport ℓ_2 / ℓ_1 vaut 3,86 avec une plan convexe lorsque le faisceau incident est parallèle. Le calcul aboutissant à ce résultat n'est pas simple mais il consiste dans le principe à déterminer dans chaque cas la trajectoire du faisceau qui passe à une distance donnée du centre optique en utilisant directement la loi de Descartes sans simplification. On conseille de remplacer la cuve diffusante par un écran translucide dépoli monté sur un banc d'optique pour effectuer les mesures de ℓ_1 et ℓ_2 .

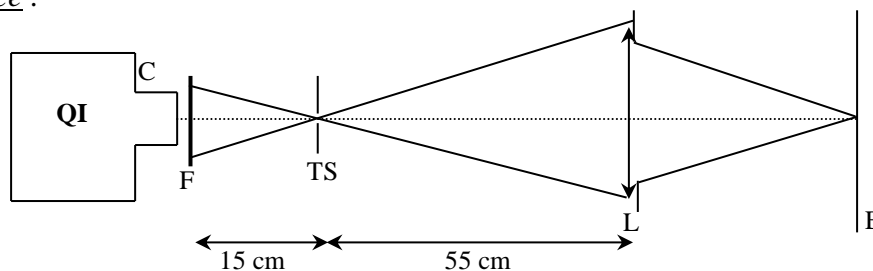
Conclusion :

Lorsqu'on utilise une lentille, on placera toujours la face la plus plate du côté de ce qu'il y a de plus proche entre l'écran et l'objet pour réduire l'aberration sphérique.

On peut refaire l'expérience avec une lentille achromatique. On constate une aberration nettement moins importante. Les achromats sont constitués de deux lentilles (une convergente, une divergente) de dispersion différente liées par du baume du Canada (demander à l'enseignant d'en démonter une). Cette disposition permet d'atténuer à la fois les aberrations chromatiques et géométriques → ces lentilles sont **à utiliser en priorité** dans les montages d'optique, les lentilles simples étant moins bonnes du point de vue des aberrations.

VI.1.2 La coma ($h^2 y'$)

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

Mise en évidence :

C : 6 cm

F : filtre gélatine jaune

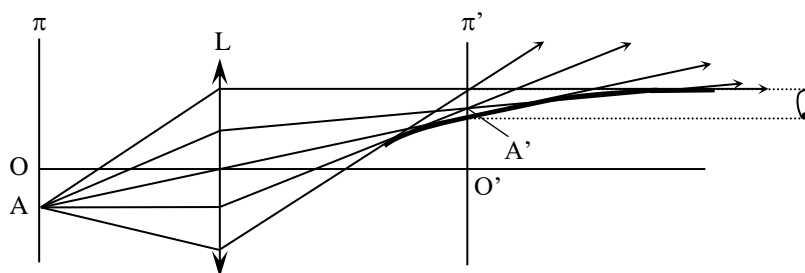
TS : trou source \varnothing 1 mm

L : lentille \times 15 cm avec écran noir adapté

On déplace E pour trouver l'image de TS (L doit être parfaitement perpendiculaire à l'axe optique en horizontal et vertical). Une fois sur cette image, on incline la lentille pour observer la coma.⁵

Explication :

C'est l'aberration de sphéricité par continuité quand on décale O.

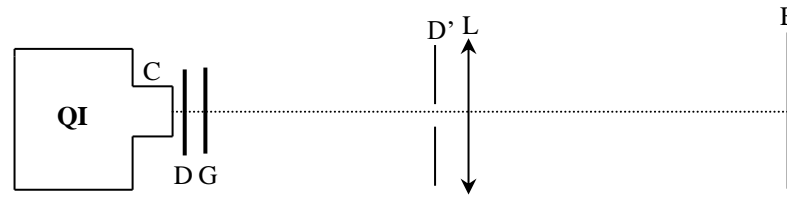


Elle intervient souvent dans les montages lorsqu'on forme l'image d'un trou ou d'une fente (un bord est alors net et pas l'autre). Si l'image présente cette aberration, on la corrige en alignant l'axe optique de la lentille avec le trou source. Le sens dans lequel se développe la coma renseigne sur l'axe à corriger (vertical ou horizontal).

VI.1.3 La distorsion (y'^3)

h^0 → diaphragme très fermé
 y'^3 → objet étendu

⁵ Incliner la lentille revient au même que décaler le trou source de l'axe optique.

Montage :

C : condenseur x 6

D : dépoli

G : grille pas 0,5 cm

D' : diaphragme

L : plan convexe x 20 grand diamètre

On place le diaphragme D à différents endroits sur l'axe optique. On s'aperçoit alors qu'il n'y a pas de distorsion lorsque D est sur L. On a de la distorsion en barillet lorsque D est placé avant L et de la distorsion en coussinet lorsque D est situé au-delà de L. Se reporter à [2], p. 31 pour l'explication de ces phénomènes. 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, il faut ajuster le tirage de la lampe pour placer S' sur L : la distorsion est éliminée et la luminosité est accrue.

VI.2 Aberrations chromatiques

Cette aberration provient de la dispersion du verre (formule de Cauchy) :

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

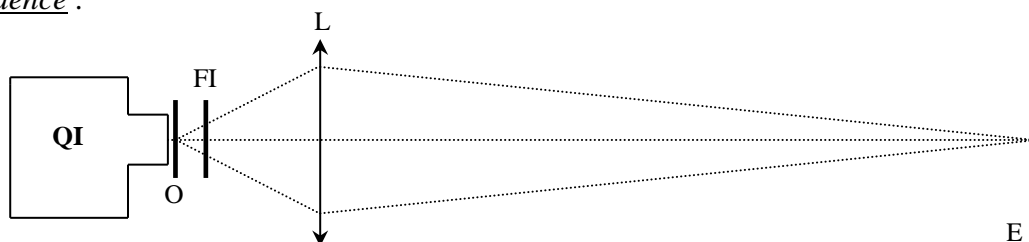
$$\text{Or : } \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \rightarrow f = f(\lambda)$$

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

$\Delta n/(n - 1)$ représente le pouvoir dispersif du verre (cf. [1], p. 41). On le calcule par convention de la façon suivante :

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

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

Mise en évidence :

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 m

Les écarts de mise au point étant assez faibles, on conseille de placer l'objet et la lentille sur banc d'optique. On commence par faire une image la plus nette possible avec un des filtres interférentiels puis on passe à l'autre filtre. L'image doit alors être légèrement floue et il faut réajuster la position de L pour retrouver une image nette. On met ainsi en évidence une différence de distance focale suivant la longueur d'onde. On ne propose pas d'exploitation quantitative pour cette manipulation car les résultats sont peu précis.

VII ROLE DE LA DIFFRACTION

Ce phénomène, résultant de la limitation latérale du faisceau, constitue la limite ultime au pouvoir séparateur d'un instrument (cette qualité exprime l'aptitude d'un instrument d'optique à séparer et à percevoir des détails rapprochés linéairement ou angulairement). Se reporter au montage « Diffraction » pour la manipulation.

Si la diffraction constitue la limite ultime, il faut savoir que d'autres facteurs interviennent avant dans la pratique :

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

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

- la structure discontinue du récepteur intervient aussi (structure granulaire de l'œil ou d'une plaque photographique).

- dans les spectroscopes à fentes, la largeur des fentes utilisées peut 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).

Bibliographie :

- [1] : Sextant : Optique expérimentale
- [2] : Duffait : Expériences d'optique – Agrégation de Physique
- [3] : Balland : Optique Géométrique ; Imagerie et Instruments
- H PREPA : Optique 1^{ère} année MPSI - PCSI – PTSI