

Instrumentes d'optique

Notes pour un montage d'agrégation

13 mai 2021

L'objectif de ce montage est de présenter certaines propriétés générales des instruments d'optique. Il faudra aborder les aspects liés à l'optique géométrique ainsi que ceux liés à l'optique ondulatoire. Afin de faire tenir la leçon dans les 30 minutes imparties, il est en général préférable de s'en tenir à la présentation exhaustive d'un seul voire deux instruments d'optique (lunette astronomique, microscope, téléobjectif, jumelles...) et de ne pas se limiter à la seule construction d'un modèle de principe sur banc d'optique (il faut effectuer des manipulations avec un véritable instrument). Voici un exemple de plan :

1 Introduction

L'œil humain est limité. Il ne peut pas voir les objets trop proches de lui (punctum proximum) et les objets lointains deviennent vite trop petits pour être discernables... Il est essentiellement adapté à l'observation des objets avec lesquels nous interagissons quotidiennement. Il ne peut pas à lui seul nous permettre d'observer les plus petits constituants de la matière qui nous constitue, ni d'étudier les plus reculés confins de notre espace. C'est pourquoi on construit des instruments d'optique, qui nous permettent de former des images discernables d'objets que notre œil peinerait à voir tout seul. On s'intéressera ici aux instruments faits à partir de lentilles, et on mettra en évidence leurs propriétés et leurs limites.

2 Les propriétés des lentilles

Il est possible de présenter quelques limites des lentilles convergentes : les aberrations géométriques et chromatiques. On préférera employer une lentille dont les deux faces ne sont pas identiques, et assez convergente pour que les aberrations se voient assez bien.

Sur un banc d'optique, projeter l'image d'un objet sur un écran avec une telle lentille (un pochoir éclairé en lumière blanche par exemple). On remarque que les contours de l'image sont irisés et partiellement flous : la lumière semble légèrement dispersée. C'est une conséquence de l'aberration chromatique qui découle de la variation de l'indice optique du milieu constitutif de la lentille avec la longueur d'onde du rayonnement incident : on la quantifie assez bien avec la *formule de Cauchy* pour la lumière visible. Cela va compliquer l'obtention d'une image nette (à chaque longueur d'onde la position de l'image nette diffère... Il est d'ailleurs possible d'obtenir des mesures quantitatives).

Pour les aberrations géométriques, il suffit d'observer la déformation sur les bords de l'image de l'objet. On peut montrer que l'obtention de l'image optimale se fait si on respecte la règle des quatre P (plus plat, plus près).

Le but est de conduire logiquement à la formulation des conditions de Gauss (rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique et proches de celui-ci) permettant de réaliser le stigmatisme approché : dans ces conditions, les défauts liés aux aberrations présentées sont les moins marqués. Il s'agit d'une limite des instruments d'optique découlant de l'optique géométrique.

3 Le pouvoir de résolution

Du fait de la diffraction, l'image d'un point à travers un instrument d'optique ne peut pas être un point : ce sera toujours une tache de diffraction. Les objets diffractants sont les constituants de l'instrument : diaphragmes, miroirs, armatures des lentilles... On peut mesurer le pouvoir de résolution d'un instrument fictif en prenant comme référence le *critère de Rayleigh*. C'est une manipulation assez simple à mener au moyen d'une bifente d'écartement réglable et d'une fente simulant un objet diffractant dans l'instrument. Il est sans doute préférable de faire cette mesure sur un instrument fictif étant donné que les instruments réels sont construits avec des dispositifs complexes (lentilles accolées, huiles, prismes...) qui peuvent limiter efficacement les aber-

rations et augmenter le pouvoir de résolution, au point où il devient difficile à mesurer. On pourrait cependant tenter de faire une comparaison au moins qualitative entre le dispositif fictif et l'instrument réel à ce niveau. Voir le poly ENS en bibliographie.

4 Lunette astronomique

Il s'agit d'un instrument permettant d'observer les objets lointains. On peut en construire un modèle de principe sur banc optique avec deux lentilles convergentes. Elle est constituée d'un objectif de grande distance focale et d'un oculaire de petite distance focale. Les points focaux image de l'objectif et objet de l'oculaire sont confondus, rendant le système afocal. Elle renvoie une image à l'infini d'un objet à l'infini (configuration la moins fatigante pour l'œil de l'observateur). L'image est inversée, ce qui présente un inconvénient qui fait qu'elle a été peu utilisée pour observer des objets terrestres. Afin de pallier à cet inconvénient, Galilée a construit une lunette utilisant une lentille divergente comme oculaire : l'image est ainsi dans le bon sens, mais on le paye par un encombrement accru du système.

On mesurera le grossissement de l'instrument. On présentera les diaphragmes de champ et d'ouverture.

5 Microscope

Le microscope réalise une image à l'infini d'un objet situé à une distance finie. Dans ces conditions la grandeur pertinente à utiliser pour le caractériser est la puissance. Cependant on peut définir un grossissement commercial en introduisant une mesure d'angle observé depuis une distance convenue (typiquement le punctum proximum moyen d'un œil humain, 0,25m) pour l'objet à distance finie. Ainsi :

$$G = \frac{\beta \times 0,25\text{m}}{d}$$

avec β l'angle d'observation de l'objet à travers l'instrument (image à l'infini), d la dimension caractéristique de l'objet (pas de la grille par exemple), observé depuis le punctum proximum (on calcule l'angle en faisant l'approximation des petits angles $\tan\theta \approx \theta$). Il est constitué d'un objectif que l'on

peut modéliser par une lentille convergente de distance focale très faible, et d'un oculaire (modélisé par une lentille convergente de distance focale plus grande) ; le système est afocal.

Construction du microscope simplifié (voir Bellier) : lien entre intervalle optique et grossissement (ce qui m'embête avec cette manipulation c'est que le microscope est censé être afocal...) Mesure du grossissement commercial d'un microscope : comparaison avec les indications constructeur. Mesure du pouvoir de résolution (voir TP ENS) pour le microscope commercial, comparaison avec le microscope fictif.

Note pratique

Pour réaliser les images, préférez utiliser comme objet une petite grille de pas connu : vous pourrez plus facilement observer les aberrations géométriques et ne serez pas trop gêné pour mesurer la taille de votre image même si les éléments optiques utilisés (lentilles) diaphragment et tronquent ainsi votre image. Pour le microscope commercial notamment, on emploiera une mire micrométrique.

Bibliographie

Bellier, J.-P. et Guéant, D. (2020). *Expériences de Physique : Optique, Mécanique, Ondes, Fluides*. Dunod.

Sextant (1997). *Optique expérimentale*. Hermann.

<http://ressources.agreg.phys.ens.fr/static/TP/serie1/InstrumentsOptique.pdf>