

CLAIRAUT L'OPTICIEN

Jean-Claude Pecker, astrophysicien, membre de l'Académie des sciences,
président d'honneur du CLEA

À travers les Cahiers Clairaut, le CLEA continue à fêter le tricentenaire de la naissance d'Alexis Clairaut.

Dans une précédente livraison des *Cahiers Clairaut* (CC141, p 2), nous avons retracé les grandes lignes de la vie de l'homme protéiforme que fut Alexis Clairaut. Sa contribution à l'optique des objectifs achromatiques est considérable. Elle tient dans trois mémoires (*Histoire et Mémoires de l'Académie des sciences*, 1756, p.380-437, 1757, p. 524-550, 1762, p. 578-631). La justification de ses travaux est claire ; il l'exprime au début de son premier mémoire: « *Tout le monde sait que les télescopes Newtoniens ont, à même longueur, un avantage immense sur les Lunettes d'approche ordinaires; on sait de plus, pour peu que l'on ait de connoissance dans l'Optique, que cet avantage vient de ce que le miroir de métal qui sert d'objectif aux premiers réunit dans le même foyer les rayons de toutes les couleurs qui composent les faisceaux de lumière, pendant que dans les autres l'objectif qui est de verre & agit par réfraction, donne un foyer particulier pour chacune de ces couleurs* ». Autrement dit, une optique ordinaire est « chromatique », l'indice de réfraction du verre étant différent d'une « couleur » (une « longueur d'onde », dirait-on aujourd'hui) à l'autre. Le violet, le bleu sont plus déviés que le jaune, que le rouge... La figure 1 illustre cette propriété. C'est donc à la recherche de l'« achromatisme » que va s'intéresser Clairaut pendant quelques années, non sans s'être tenu au courant des recherches effectuées dans le même but par d'autres chercheurs européens.

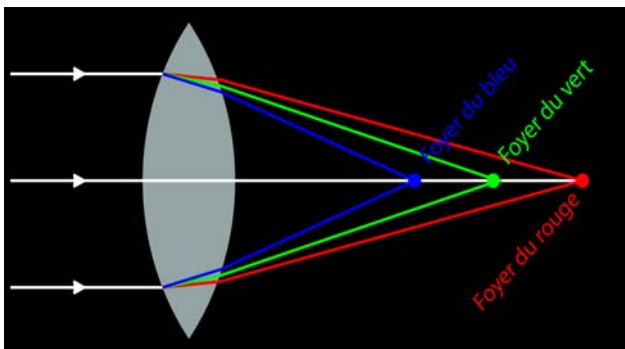
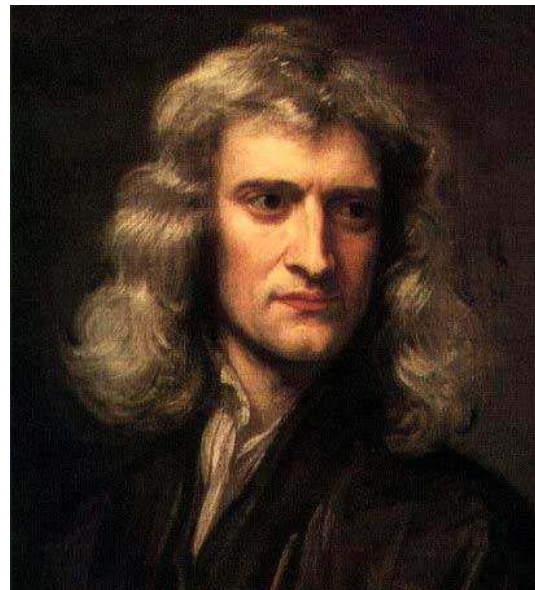


Fig.1. Chromatisme d'une lentille

Les pionniers : Newton, Hall, Euler, Dollond, Klingersterna

Les années 1750-1760 ont vu le développement, en plusieurs lieux européens, des efforts vers l'achromatisme des optiques. Il semble que ce soit Chester Moore Hall (1703-1771) juriste britannique qui ait inventé les premières lentilles achromatiques en 1729 ou 1733, et qui les ait utilisées pour fabriquer la première lunette astronomique sans aberrations chromatiques. Nous n'en savons guère plus.



Newton

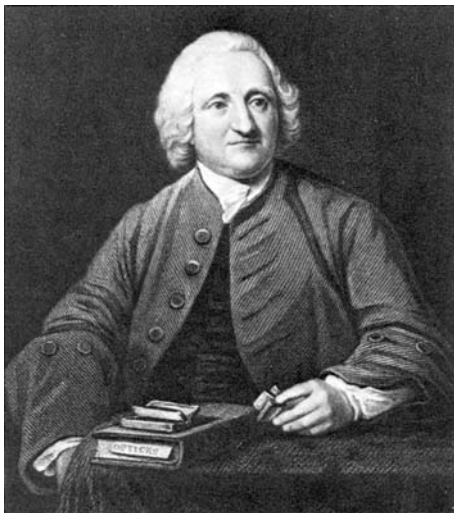
Newton avait bien mis en évidence l'inégale réfrangibilité des rayons de différentes couleurs. Dans le cadre de la théorie newtonienne qui admet que les faisceaux de lumière sont constitués de "grains de lumière", Clairaut s'avance d'ailleurs dans une réflexion qu'il appelle « métaphysique » (nous dirions sans doute plutôt « phénoménologique ») ; et il associe la déviation des rayons lumineux par la traversée du verre à l'attraction exercée par la matière sur ces grains. Il attribue à la différente réfrangibilité des différentes couleurs au fait que cette attraction dépend de la vitesse des

grains, et que cette vitesse n'est pas la même pour différentes couleurs. Une telle conception, dont nous savons qu'elle est erronée, ne joue cependant aucun rôle dans les travaux quantitatifs qu'entreprendra Clairaut par la suite.



Euler

Dès 1747, le mathématicien suisse Leonhard Euler (1707-1783) imagina de fabriquer des objectifs avec deux matières différemment réfringentes, avec l'espoir qu'elles pourraient se compenser mutuellement. Il envisageait des combinaisons formées de deux lentilles de verre non accolées, et contenant de l'eau entre elles. Les calculs d'Euler fournissent une solution mathématique de qualité, mais non réaliste, compte tenu des indices de réfraction réels des verres et de l'eau.



Dollond

L'opticien érudit anglais John Dollond (1706-1781) de Londres, où son fils Peter allait installer en 1750 des ateliers d'optique, se mit alors à réfléchir à ces questions. Dès la parution du mémoire d'Euler, il s'était rendu compte que les courbures calculées par Euler pour ses lentilles n'étaient guère réalistes. Il

substitua aux lois de la réfraction supputées par Euler celles qu'Isaac Newton (1643-1727) avait établies par la mesure. Mais cela ne permettait d'aboutir à un achromatisme parfait qu'à l'infini !

Le débat entre Euler et Dollond se poursuivit, ce dernier opposant les expériences de Newton aux calculs d'Euler. Clairaut, ayant examiné les éléments de la dispute, se range du côté de Dollond pour la valeur des indices de réfraction, mais reste admiratif de l'approche analytique d'Euler.



Klingenstierna

En 1755, un astronome suédois de l'Université d'Upsal aujourd'hui Uppsala), Samuel Klingenstierna (1698-1765) fait communiquer ses résultats¹ à Dollond comme à Clairaut, et montre clairement que les expériences de Dollond étaient à refaire. Ce que fit Dollond illico.

Il commença par construire des prismes d'eau à inclinaison variable, constitués de deux plaques de verre, enfermant de l'eau ; lorsqu'elles sont accolées à un prisme de verre, une telle combinaison permet de voir des images dont l'irisation dépend de l'angle du prisme d'eau. Mais en construisant des objectifs à partir de cette idée, il se heurta aux mêmes difficultés que celles qu'il avait reprochées à Euler. Dollond cependant savait qu'il existe des verres dont les propriétés réfringentes étaient très différentes de celles des verres « ordinaires » qu'il utilisait. Ainsi utilisa-t-il deux verres, le « crystal d'Angleterre » ou « flintglass » (aujourd'hui, nous disons simplement le « flint »), dont la réfrangibilité dans le rouge diffère le plus de celle du violet, et le « crownglass » (ou « crown »), un verre verdâtre,

¹ Via un savant voyageur suédois du nom de Ferner.

qui donne la moindre différence de réfrangibilité. Il expérimenta avec des prismes de flint et de crown accolés, jusqu'à trouver une combinaison quasiment achromatique ; puis en associant une lentille de « crystal » concave à une lentille convexe de verre commun, ou de crown. Mais la courbure des lentilles était trop forte et les aberrations géométriques étaient encore insupportables. Et c'est à ce point que l'intervention de Clairaut l'analyste fut décisive.

La méthode de Clairaut

Clairaut commence par une expérimentation systématique, en utilisant des verres différents et des prismes d'angles variés, afin de déterminer, pour chaque « couleur », les indices de réfraction. Et c'est ensuite une série d'équations, où ces indices serviront de coefficients, et où les inconnues seront d'abord les angles des prismes à associer. Dans un second temps, les inconnues seront les courbures des deux lentilles à associer, donc la distance focale de chacune d'elles pour chaque couleur, soit quatre inconnues. Lorsque l'on impose aux deux lentilles d'être précisément accolées, la courbure des deux faces accolées des deux lentilles doit être la même, et il y a donc seulement 3 inconnues. Le fait de se donner une distance focale pour une couleur « moyenne », le jaune par exemple, donne une équation. Le fait d'imposer au système d'avoir pour deux autres couleurs (violet et rouge) cette même distance focale, fournit les deux autres équations, et l'on peut en principe résoudre le système. Cela assurera un chromatisme approximatif. Il faut accepter que, pour le bleu, le vert et l'orange le système aura des foyers différents, - mais peu différents - si bien que l'irisation des images sera presque parfaitement supprimée.

Clairaut appliquera les lois de Descartes, alors bien connues et acceptées.² Il suppose d'abord que l'angle d'incidence sur chacune des surfaces traversées par la lumière soit « petit » autrement dit que l'on travaille au voisinage de l'axe optique du système optique envisagé, si bien que les lois de Descartes, où interviennent les sinus de ces petits angles, en deviennent faciles à appliquer, en raison des approximations de bonne qualité alors possibles.

Grâce à un exercice systématique, utilisant divers couples de verres, tantôt le verre commun avant le flint, tantôt l'inverse, Clairaut propose donc, comme en se jouant, plusieurs combinaisons achromatiques

possibles; et surtout il montre comment il est possible d'en construire d'autres.

Dans une ultime étape, Clairaut résout les équations lorsqu'on se trouve loin de l'axe optique du système, lorsque l'angle d'incidence est élevé, et lorsqu'on utilise non plus deux mais trois lentilles. Ce qui est admirable lorsqu'on lit les trois gros mémoires de Clairaut c'est la façon dont, ayant assuré lui-même la détermination expérimentale des indices de réfraction, il a su tout ramener à des problèmes de géométrie qu'il s'est ingénié à résoudre par des méthodes analytiques. Cette méthode très complète fait de Clairaut le père de l'optique d'aujourd'hui.

Après Clairaut

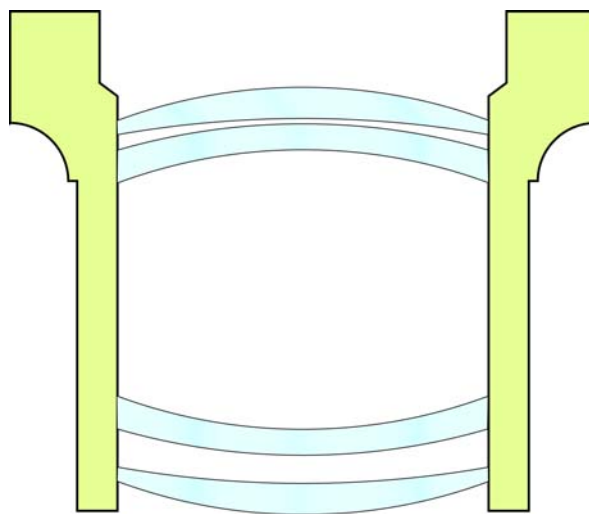


Fig.2. Objectif achromatique de Clark.³

Clark proposa en 1889 deux doublets symétriques dans lesquels les deux lentilles sont bien séparées. En général la lentille convergente est en crown et la divergente en flint.

La descendance de Clairaut est donc innombrable. Les fabricants de lunettes astronomiques comme ceux des objectifs utilisés en photographie et en cinématographie, n'utilisent plus seulement deux ou trois verres, crown, « verre ordinaire », et flint, mais plusieurs, quatre, cinq, plus, pour encore améliorer l'achromatisme. Les aberrations géométriques sont aussi corrigées, et l'optique d'aujourd'hui a une qualité que l'on n'espérait pas au temps de Clairaut. Il n'en reste pas moins que c'est son travail de pionnier qui a permis les superbes optiques modernes. ■

² $\sin(\alpha_{\lambda 1}) = n_{\lambda} \sin(\alpha_{\lambda 2})$, où $\alpha_{\lambda 1}$ représente l'angle d'incidence, $\alpha_{\lambda 2}$ l'angle d'émergence dans le second milieu, et n_{λ} l'indice de réfraction pour la couleur de longueur d'onde λ .

³ Cette figure est inspirée de l'ouvrage "Conception et construction de télescopes et astrographes amateurs", De Boeck publ., Bruxelles, 2012, sous la direction de Charles Rydel, dont le chapitre 3 décrit de nombreux objectifs achromatiques ou "achromats".