

Elles flottent, elles flottent les lentilles...

La création de nouveaux objectifs, aux performances exceptionnelles, nécessite l'emploi de nombreux types de verres. Minolta, un des deux principaux fabricants japonais de verre optique, fabrique par exemple 160 verres différents! Une lentille simple peut être considérée comme un ensemble de prismes imbriqués (fig. 1).

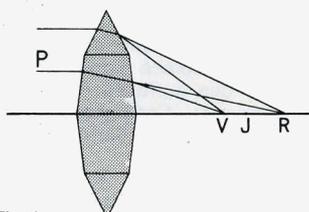


Fig. 1.

Certes, elle forme une image d'un objet, mais elle décompose la lumière blanche en ses éléments constitutifs: violet, jaune, rouge... (V.J.R. sur la fig. 1). Les différentes images colorées ne sont pas au point en même temps, et de plus elles ne sont pas de même taille: l'image rouge est la plus grande et l'image violette la plus petite. On dit alors que l'image est entachée d'*aberration chromatique*. Pour diminuer ces effets, on utilise classiquement une combinaison de deux lentilles collées, constituées de verres optiques différents: le *doublet* (fig. 2).

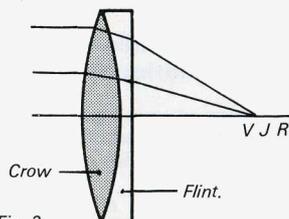


Fig. 2.

On associe une lentille convergente en verre très réfringent, mais qui éparille peu les différentes longueurs d'onde lumineuse, (le crown), à une lentille divergente de verre aussi peu réfringent que possible, mais qui disperse relativement plus la lumière afin de corriger les aberrations chromatiques de la précédente, (le flint).

Le doublet est encore souvent utilisé sur de très longues focales, comme les objectifs à mise au

point rapide de 400 et 640 mm de Novoflex. Dans la pratique, il donne toute satisfaction.

Pour réduire l'encombrement de ces objectifs, égal à leur focale, on a fait appel depuis longtemps à un groupe de lentilles divergentes: on a alors un téléobjectif. Classiquement, les objectifs sont corrigés pour les deux longueurs d'onde ayant le plus grand effet photographique: le bleu-violet et le jaune. Ils sont dits *achromatiques*.

Dans la grande majorité des cas cette correction est suffisante pour l'ensemble des couleurs du spectre visible. Toutefois, on sait qu'en lumière infrarouge, une correction de mise au point est nécessaire.

Il n'en va pas de même pour les téléobjectifs de très longue focale: la correction pour deux couleurs du spectre est parfois insuffisante et les aberrations accrues par l'emploi du groupe divergent arrière. On doit donc corriger l'objectif pour trois longueurs d'onde au lieu de deux, celui-ci est dit *apochromatique*. Les objectifs apochromatiques ont été utilisés en microscopie pour la première fois par Abbe (1886).

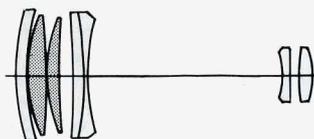
Le verre le plus approprié à la fabrication de téléobjectifs apochromatiques est un verre peu réfringent et à faible indice de dispersion.

Cependant, en général, un verre qui disperse peu le spectre dans son ensemble, est également peu dispersif pour une partie de ce spectre. La correction d'un objectif pour une partie seulement du spectre (pour laquelle des aberrations chromatiques subsistent) n'est donc pas possible avec les verres habituels.

Aussi certaines firmes ont-elles fait appel à de nouveaux verres ayant un faible pouvoir dispersif pour l'ensemble du spectre, mais qui se montrent très dispersifs (et donc pourvus d'un large pouvoir compensateur) pour une fraction donnée du spectre. D'autres verres produisent des effets inverses. Ces verres spéciaux sont désignés sous le nom anglais « d'extra partial dispersion glass ».

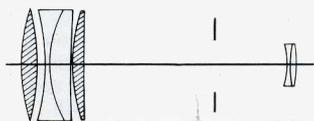
On les utilise en combinaison avec des verres particulièrement

peu dispersifs. Le matériau le plus connu est la fluorine, ou fluorure de calcium (CaF₂), utilisé sur les objectifs de microscopes dès la fin du siècle dernier. Mais il fut longtemps difficile de fabriquer des grandes lentilles de fluorine. Canon réussit à le faire en 1969 et a en équiper trois téléobjectifs (f/2,8 et f/5,6 de 300 et f/5,6 de 500 mm) qui ont représenté, malgré leur prix élevé, un progrès spectaculaire dans les objectifs de très longue focale, tant par une meilleure définition que par une forte réduction de taille (fig. 3). Le f/5,6 de 300 mm ne mesure en effet que 168 mm et pèse 850 g. Puis, Konica a mis sur le marché un f/6,3 de 300 mm encore plus petit (146 mm de long).

Fig. 3.
Canon f/5,6 de 300 mm.

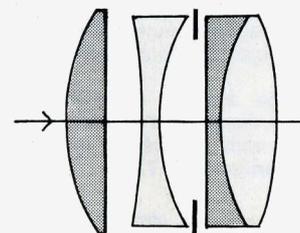
Cependant, la fluorine est assez sensible à la température, à l'humidité et assez fragile. Aussi doit-on protéger les lentilles de fluorine avec une lame de verre à faces parallèles.

Pour éviter l'utilisation de ce matériau, Nikon a récemment mis au point un verre à très faible pouvoir de dispersion, dit « verre ED » (« Extra-low Dispersion glass ») qui ne présente pas les inconvénients de la fluorine. Ce nouveau type de verre a permis la réalisation de six téléobjectifs très puissants f/2,8 et 4,5 de 300, f/5,6 de 400 et 600 mm, f/8 de 800 et f/11 de 1200 mm que l'on verra à la Photokina (fig. 4). Leur correction chromatique est considérée comme très supérieure aux objectifs apochromatiques Nikon de même focale.

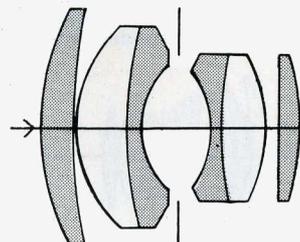
Fig. 4.
Nikkor-ED f 5,6 de 300 mm.
Les éléments en verre ED sont hachurés.

Les lentilles flottantes

Les objectifs de focale et d'ouverture moyenne appartiennent en général à des formules optiques simples et éprouvées, qui donnent en principe toute satisfaction. L'exemple le plus connu est le *Tessar*, inventé en 1902 par le Dr Rudolph des Ets Carl Zeiss (fig. 5), qui comporte quatre lentilles dont deux collées.

Fig. 5.
Objectif anastigmat dissymétrique type Tessar.

La réalisation d'objectifs plus lumineux que le Tessar (ouvert à f/3,5 ou f/2,8) nécessite des lentilles plus grandes, donc entachées de plus fortes aberrations optiques. Pour corriger celles-ci on fait donc appel à un plus grand nombre de lentilles (5 à 7 pour un objectif standard ouvrant à f/2 et plus) dont les aberrations se minimisent mutuellement: c'est le « type Gauss » (fig. 6), imaginé par le même Dr Rudolph en 1896.

Fig. 6.
Objectif anastigmat symétrique type Gauss.

En général, les objectifs sont calculés pour fournir une image optimum à une distance de prise de vue importante, de l'ordre de 100 fois la longueur focale. Mais les objectifs de faible luminosité donnent en fait satisfaction, même en photomacrographie.

Il en va autrement des objectifs très lumineux, qui à courte

distance peuvent fournir une image complètement floue sur les bords.

Il est bien connu des possesseurs d'appareils reflex 24x36, dont l'objectif standard est très lumineux, qu'avec des bagues-allonge, l'optique doit être diaphragmée au moins à f/8, et cela non seulement pour gagner de la profondeur de champ, mais aussi pour réduire la courbure de champ de l'image. Le phénomène peut même se constater sans bague-allonge, avec certains objectifs réputés, ouverts à f/1,4!

L'image fournie de l'objet à courte distance n'est donc pas plane, mais courbée et incurvée vers l'arrière (fig. 7).

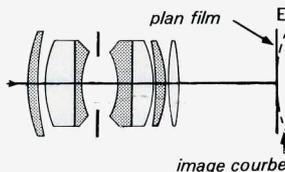


Fig. 7. Le phénomène de la courbure de champ. On ne peut pas mettre au point en même temps au centre et à la périphérie de l'image.

Ceci est dû souvent, à courte distance, à une correction excessive par le groupe de lentilles situé de part et d'autre du diaphragme.

Une augmentation supplémentaire du nombre de lentilles (fig. 8) améliore certes l'image, mais non de manière fondamentale.

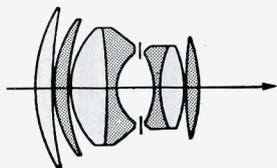


Fig. 8. Objectif Canon f/1,2 de 50 mm du Canon VII (1964).

On a alors eu l'idée, pour les courtes distances, de décaler certains éléments optiques par rapport à d'autres. L'idée n'est pas neuve; elle a été employée sur certains appareils à objectifs fixes et sur les zooms.

Autrefois, sur un grand nombre d'appareils à objectif non interchangeable, équipés d'objectifs

de type « triplet » ou « Tessar », la mise au point ne se faisait pas en écartant l'ensemble de l'objectif du plan du film, mais seulement en écartant la *lentille frontale* du reste du film: un déplacement de 1 mm de la lentille frontale vers l'avant augmente la convergence de l'ensemble optique et suffit pour passer de l'infini à 1 mètre tandis qu'avec un système de mise au point intéressant l'ensemble de l'objectif, un décalage de 3 mm au moins serait nécessaire. D'où une très grande facilité de construction. Le rendement optique de ce système a été contesté. Dans la pratique, il donnait toute satisfaction; on a même pu se demander si l'augmentation de la distance entre la lentille frontale et les autres ne contribuait pas, à courte distance, au maintien de la qualité de l'image en compensant la tendance de surcorrection des éléments postérieurs. Ce fut, en tout cas, le premier exemple d'objectifs à lentilles flottantes, mobiles les unes par rapport aux autres.

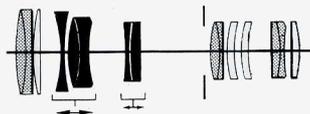


Fig. 9. Zoom Minolta Rokkor f/3,5 de 80 à 160 mm (1964).

Le principe du zoom est également basé sur l'emploi de lentilles flottantes. Le flottement des lentilles modifie normalement la convergence d'un ensemble afocal situé en avant de l'objectif proprement dit. Mais, en principe dans les premières réalisations, les lentilles mobiles se déplaçaient toutes ensemble, de la même valeur ou tout au moins, dans le même sens (fig. 9). Les zooms actuels ont le plus souvent trois groupes mobiles indépendants les uns des autres. Ceci a permis, surtout en photo, d'atteindre une plus grande amplitude de variation, et surtout, la réalisation de zooms télé-grand-angle (fig. 10). Le dessin des zooms est devenu très complexe, mais l'emploi de l'ordinateur a permis de les calculer plus aisément et surtout

plus rapidement: on soumet un certain nombre d'« idées » à la calculatrice qui les met au point et choisit la meilleure en fonction de critères nombreux (qualité optique notamment en macro, facilité de réalisation, encombrement, etc.).

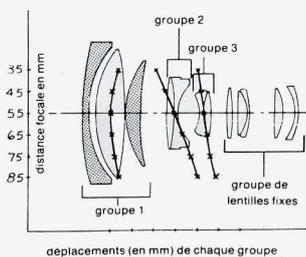


Fig. 10. Zoom Vivitar f/2,8 de 35 à 85 mm.

L'adoption de systèmes flottants a permis d'augmenter beaucoup les performances (en particulier la planéité d'image) des objectifs à focale fixe: objectifs standard à très haute luminosité et grands angulaires.

L'objectif Canon f/1,2 de 55 mm, qui comporte aussi une lentille asphérique, a un élément arrière qui recule légèrement vers la mise au point (fig. 11). Grâce à ce procédé, l'image est presque parfaitement plane. L'objectif Canon f/1,2 de 85 mm est construit sur le même principe. C'est surtout dans la gamme des

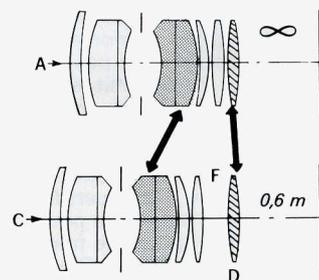


Fig. 11. Sur l'objectif Canon f/1,2 de 55 mm aux distances rapprochées, l'objectif est avancé, sauf élément postérieur qui se rapproche du film. La planéité d'image est presque parfaite.

grands angulaires que l'adoption de systèmes flottants a fourni les résultats les plus appréciables. Le Nikkor f/2,8 de 24 mm fut le premier du genre: les groupes antérieur et postérieur se déplacent aux courtes distances. Il en va de même pour l'objectif Minolta Rokkor f/2 de 28 mm.

Dans le NPC n° 49, nous avons essayé l'objectif VFC Rokkor f/2,8 de 24 mm dont le groupe antérieur, qui « flotte » lors de la mise au point, peut être volontairement déplacé pour photographier des surfaces concaves ou convexes. Cette ingénieuse réalisation a reçu l'Interkamera 1975 Honorary.

Souvent, plusieurs techniques modernes sont employées simultanément pour créer des objectifs d'ouverture numérique spectaculaire. Canon et Zeiss font à la fois appel aux éléments asphériques et aux lentilles flottantes (Canon f/1,4 de 24 mm, Zeiss f/1,4 de 35 mm). Olympus a réduit la taille de ses grands angulaires (f/3,5 de 21 mm, f/2 de 24 et 35 mm) en dédoublant l'élément antérieur, tout en utilisant un système flottant.

L'adoption des lentilles flottantes a permis d'éliminer presque complètement les défauts de courbure de champ et d'astigmatisme que l'on considérait il y a une dizaine d'années comme un défaut inhérent aux grands angulaires de forte luminosité.

Les lentilles asphériques

Nous avons vu que les objectifs sont formés d'un certain nombre de lentilles, en général au moins quatre.

Ces lentilles sont en principe toujours sphériques, c'est-à-dire que leur surface a la forme d'une calotte de sphère. En effet, les lentilles des objectifs de qualité ne sont pas fondues, mais polies. Le verre est appliqué sur des surfaces en rotation, concaves ou convexes, de rayon convenable, et enduites d'abrasifs de plus en plus fins. Plusieurs lentilles de même courbure peuvent ainsi être façonnées à la fois. La forme est nécessairement sphérique, car la sphère est la seule surface dont la courbure

Elles flottent, elles flottent les lentilles...

soit partout identique à elle-même.

Evidemment, il existe aussi des lentilles dont une face est plane, et a été façonnée sur un plan enduit d'abrasifs.

Les lentilles sphériques ont présenté en outre l'avantage de permettre un calcul optique relativement simple, mais, à l'époque de l'ordinateur, l'intervention de lentilles asphériques dans un objectif ne pose plus de difficultés majeures à cet égard.

Les lentilles sphériques ont des inconvénients. Les aberrations subsistent : *aberrations de sphéricité* par exemple ; l'image d'un point n'est pas située dans le même plan suivant que l'on considère les rayons passant par le centre et la périphérie de l'objectif ; il en résulte un halo de diffusion : *aberration de la coma* : l'image d'un point apparaît sur la pellicule sous forme d'une queue de comète, d'autant plus prononcée que l'on s'écarte du centre. En outre des distorsions (changement de forme de l'image) peuvent se manifester.

Ces aberrations sont d'autant plus fortes que l'objectif est plus lumineux ou de plus courte focale. On a donc eu recours à des formules optiques plus complexes et à des verres à base de terres rares (verres au lanthane), dont l'indice de réfraction peut atteindre deux au lieu de 1,5 pour le verre ordinaire. L'adoption de systèmes flottants permet aussi de réduire, lorsqu'on met au point à courte distance, des aberrations qui n'ont pu être corrigées qu'à l'infini.

Le terme de « *lentille asphérique* » concerne des éléments optiques très divers ; habituellement, l'une des surfaces est plane ou sphérique, l'autre « asphérique », c'est-à-dire parabolique ou hyperbolique, en chapeau de gendarme, etc.

Ces lentilles permettent une réduction radicale des aberrations inhérentes aux lentilles sphériques : aberrations de sphéricité et de la coma notamment. Là encore, ce sont les techniques de la microscopie qui ont ouvert la voie : le condenseur d'Abbe, inventé vers 1875, utilise seulement deux lentilles ; la lentille inférieure ayant une surface

inférieure parabolique. Certes, il ne prétend pas au rendement optique de condenseurs à cinq ou six lentilles qui ont été mis au point par la suite, mais avec une construction très simple, il reste encore le plus utilisé en observation visuelle.

L'usage d'éléments asphériques en photographie était donc très tentant. Des prototypes d'objectifs ont permis d'atteindre des ouvertures numériques exceptionnelles : objectif de Lee ouvert à f/1, objectif de Gray ouvert à f/0,7 et de Djian à f/0,57 !

Il y a 10 ans, l'objectif commercialement réalisé le plus lumineux était le Canon f/0,95 de 50 mm du Canon VII à télémètre ; il ne comportait pas d'éléments asphériques et sa définition laissait quelque peu à désirer...

Pourquoi ce décalage de près d'un siècle ? Parce que, pendant très longtemps, les surfaces asphériques ont été très difficiles à réaliser : on fabriquait une ébauche en verre moulé, ébauche qui était ensuite polie à la main pour lui conférer son aspect définitif. Ce procédé était aléatoire ; la qualité du résultat obtenu suffisait pour éclairer uniformément une préparation microscopique, mais non pour fournir une photographie « fouillée » et exempte d'aberrations, à moins d'un soin considérable... ce qui coûtait cher.

En dépit de toutes ces difficultés, Leitz lança sur le marché dès 1965 l'objectif Noctilux f/1,2 de 50 mm, destiné au Leica M à télémètre dont une lentille asphérique permettait, même à pleine ouverture, un piqué remarquable avec une formule de « Gauss » au demeurant très classique. Mais cet objectif d'avant-garde coûtait fort cher. Le triple environ du f/0,95 de 50 mm de Canon... Il est maintenant remplacé par le Noctilux f/1 de

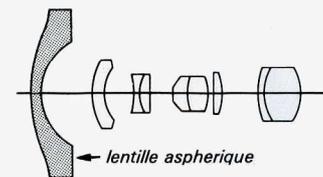


Fig. 12.
OP fish eye Nikkor f/5,6 de 10 mm.

50 mm (voir page 77). Vers la fin des années 60, Canon réalisa un prototype f/1,2 de 55 mm destiné à ses appareils reflex, et utilisant aussi un élément asphérique. Cet objectif fut commercialisé en 1971 et présentait des avantages considérables par rapport aux réalisations antérieures de la marque. A peu près au même moment, Nikon lançait sur le marché l'OP fish-eye Nikkor f/5,6 de 10 mm (fig. 12) dont la lentille avant en forme de « chapeau de gendarme » permet un éclairage remarquablement uniforme de l'ensemble du film, ce qui intéresse les océanographes, les urbanistes, etc. (voir NPC N° 46, mai 76, p. 109-110).

Bien que les fabricants d'optiques tiennent secrètes leurs méthodes de polissage, il était évident que de nouvelles techniques avaient été mises au point, qui permettaient la production (au moins en petite série) d'objectifs asphériques.

Pour réaliser une lentille asphérique, on part d'une lentille à surface sphérique polie. Cette surface est ensuite usée et repolie à la forme voulue. Le polissage final, dont la précision détermine la qualité de l'objectif, est très délicat à réaliser. Mais de grands progrès ont été faits récemment dans ce domaine.

Canon vient d'expliquer les bases de sa méthode, mise au point par la Zygo Corporation et la Wesleyan University des Etats-Unis. La pièce à polir est placée dans une pièce sans présence humaine afin d'éliminer toute variation de température, et elle est entourée d'un bain d'huile pour maintenir constante la température. Les vibrations sont éliminées lors de l'usure du verre par divers dispositifs. La pièce de verre est attaquée par des outils en matière plastique souple, recouvert de pointes en diamant. Elle est comparée à une surface type grâce à une jauge à aiguille et à un interféromètre à laser. La lentille obtenue est ainsi presque terminée et n'a besoin que du poli final, qui se fait avec une poudre d'oxyde de cérium. La taille et le polissage sont plus précis que ceux obtenus par les procédés antérieurs, la précision atteignant 0,1 μ (0,0001 mm)

voire davantage et, en outre, elle revient cinq à dix fois moins cher, ce qui permet une production en grande série. Carl Zeiss a essayé une autre méthode : une couche moulée de résine époxy, de forme convenable, est déposée à la surface de la lentille ce qui la rend asphérique.

Ces nouvelles méthodes ont permis de construire en série des objectifs aux caractéristiques exceptionnelles : Super-Takumar f/3,5 de 15 mm d'Asahi Pentax (fig. 13) Canon f/1,4 de 24 mm (fig. 14) et Zeiss Distagon f/1,4 de 35 mm pour Contax RTS.

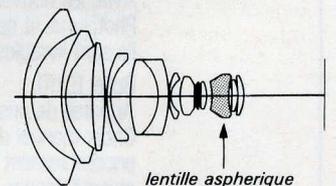


Fig. 13.
SMC Takumar f/3,5 de 15 mm.

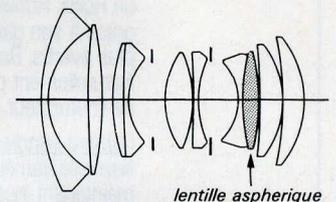


Fig. 14.
Canon FD f/1,4 de 24 mm Asphérique.

Les avantages des lentilles asphériques sont tels que, si on parvient à abaisser les coûts de production (*), on pourra aussi simplifier les formules optiques des objectifs courants. Verrons-nous bientôt d'excellents objectifs standard à deux lentilles ? Ou des petits zooms pas chers à cinq lentilles ?

La technologie moderne permet en tous cas de construire en grande série des optiques qui reprennent des idées très anciennes, mais qui n'avaient pu être exploitées jusqu'alors que sous forme de prototypes ou d'emplois très particuliers.

L. Colbère

* N.D.L.R. — C'est parfois le cas avec certains appareils bon marché qui ont parfois un piqué remarquable malgré des lentilles en plastique moulé mais... asphériques.