

## COMME CONTRÔLER et INTERVENIR sur L'OBJECTIF du MICROSCOPE

### INDEX

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	Pag. 2
La compensation	3
Les systèmes CF	6
L'“optique à l'infini” et la “lentille du tube”	7
Le CHOIX: les QUALITÉS à VÉRIFIER à l'AVANCE	7
Les fonctions mécaniques	7
Le but à atteindre	9
Le meilleur contraste	9
La meilleure définition	10
La meilleure résolution	12
La planéité	15
L'équilibrage	16
Problèmes particuliers	16
La valeur du nom du producteur	16
Les CONDITIONS de PRODUCTION et de CONSERVATION	17
Les CONDITIONS de TRAVAIL	20
Les CONTRÔLES DÉFINITIFS	23
L'équilibrage	23
Les aberrations	25
Aberration chromatique transversale	27
Aberration chromatique longitudinale	28
Aberration sphérique	29
Coma	33
Astigmatisme	36
Distorsion	37
Planéité	38
L'examen de la pupille de sortie	39
LE DÉMONTAGE	43
Les outils	43
Les structures mécaniques	46
Les INTERVENTIONS	53
Le nettoyage	53
Les lubrifiants	54
Les décollements	54
La lentille frontale détachée	56
Le recentrage	56
Le réassemblage	60

## CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

### Références bibliographiques

Cette fois, en voulant traiter le sujet “objectifs de microscope”, nous nous préoccupons de clarifier les problèmes pratiques, par ex. le choix, la comparaison, l’entretien, le démontage, etc.

Pour ce faire, il faut avoir bien claires cependant les performances et les conditions de travail de ces systèmes, le fonctionnement général du microscope et quelque principe théorique d’optique.

En voulant éviter des répétitions, nous nous référerons alors souvent au manuel: « Problèmes Techniques de la Microscopie Optique » et à d’autres textes présents dans ce même site, qui peuvent être copiés et imprimés librement. À la fin de ces textes est présente d’autre bibliographie.

Les termes et les symboles introduits ici seront ceux déjà utilisés dans ces textes de façon à éviter au mieux les équivoques.

L’autocitation serait à éviter mais, étant donnée la facilité d’accès à ces textes, il serait sot d’obliger les intéressés à des laborieuses recherches de bibliothèque.

### Un regard d’ensemble

Nous savons tous que la grande partie des caractéristiques de l’image finale du microscope dépend de l’objectif. Mais trop souvent on pense seulement à celui-là et on oublie bien d’autres facteurs, aussi très importants.

Le résultat final dans le microscope dépend par ex. des “Conditions de travail” (voir plus loin), en particulier des caractéristiques de l’objet, et ce résultat doit être comparé avec la destination qu’on souhaite donner à l’image finale, par ex. obtenir le meilleur contraste ou la meilleure résolution, etc.

Ça n’existe pas l’objectif qui est le meilleur de tous les autres en tous les cas ou qui résout tous les problèmes. Ce qu’on gagne d’un côté se perd de l’autre. Ex.: un objectif à contraste de phase produit moins de contraste qu’un objectif normal s’il est utilisé en champ clair, mais une résolution légèrement plus grande. Ce sera l’objet à décider quel est la meilleure technique ou le meilleur objectif pour le résultat particulier qu’on espère d’en obtenir.

### Hétérogénéité des recettes, des solutions constructives et des dénominations.

Les vieilles “classes de correction”, achromatiques, apochromatiques, etc., donnaient une vague indication sur le type de correction<sup>1</sup> de l’aberration chromatique longitudinale (voir le manuel: “Problèmes Techniques de la Microscopie Optique”, Chap. 19.3, et l’article n° 11 dans ce même site) mais elles ne définissaient pas les résidus d’autres aberrations. Les noms de ces classes sont conservés plus qu’autre pour des raisons historiques et commerciales, mais ils sont doublés par une multiplicité de solutions récentes. Chaque constructeur optimise ses propres objectifs en relation au projet des oculaires, tubes, etc. et aux coûts de production, puis en ayant soin de leur donner une dénomination appréciable par le marché. Par ex., il y a des apocromats qui ont une forte ouverture, mais sont pleins d’autres aberrations: ils devraient être déclassés. Ou bien: il y a des achromats de bonne famille qui contiennent de la fluorite<sup>2</sup>: alors ils devraient être considérés demi-apochromats. Et encore, quelques maisons affirment que leurs propres apochromats sont corrigés de chromatique longitudinale pour quatre longueurs d’onde et

---

<sup>1</sup> Quand nous disons “correction” nous entendons “correction de telle ou telle autre aberration”, c’est-à-dire leur réduction, dans les limites posés par les possibilités techniques et par l’augmentation des prix de fabrication.

<sup>2</sup> Fluorite synthétique, car celle naturelle a presque disparu du marché à cause de l’épuisement de l’unique gisement connu, qui donnait des échantillons avec la transparence nécessaire, et se trouve en Scandinavie.

d'aberration sphérique.<sup>3</sup> pour trois: les apochromats classiques, dessinés par Ernst Abbe et produit par la maison Zeiss de Jena à partir du 1886, étaient corrigés de chromatique longitudinale pour trois longueurs d'onde et de sphérique pour deux. Est-ce que nous devrions parler alors de "super-apochromats" pour ces produits plus récents ? Et alors, si un apochromat conserve des forts résidus de coma, chose qu'Abbe avait exclu, mais qui arrive encore, nous appellerons cela "sous-apochromat"? La frontière entre ces catégories est donnée souvent, en peu de mots, par la valeur de l'ouverture: à la même valeur d'agrandissement, l'ouverture diminue en passant des apochromats aux semi-apochromats et aux achromats. De toute façon, il y n'a pas d'unification.

Tout de même, étant donné que la majorité des classes d'objectifs est définie vraiment par la correction des aberrations chromatiques, il est bien de dire quelque mot pour démêler le problème.

### Les aberrations chromatiques

Sans trop répéter tout ce qu'a été décrit dans les textes cités au début, nous rappelons la différence entre la chromatique longitudinale, ou "axiale", et celle transversale, ou "latérale" (= CVD pour les auteurs allemands, voir la note 3). L'aberration longitudinale comporte une variation de la focale, et donc de la position longitudinale de l'image, en fonction de la longueur d'onde<sup>4</sup>; celle transversale (CVD) comporte une variation des dimensions de l'image. Ces deux aberrations sont dues à la même cause, la dispersion de l'index, mais elles en représentent des manifestations différentes; la longitudinale se révèle sur tout le champ, c'est une "aberration axiale", et demande une variation de mise au point si  $\lambda$  change, pendant que la CVD, sans variation de la mise au point, se révèle seulement hors de l'axe<sup>5</sup> (elle est "extra-axiale") car, au centre du champ, les images ont toutes les mêmes dimensions (elles sont ponctuelles), pour toutes les valeurs de  $\lambda$ , et on ne peut pas parler de grandissement. La CVD se révèle, même sans variation de mise au point, avec des bordages colorés sur tous les objets hors de l'axe, couleurs différentes dans le côté axial et dans le côté périphérique de l'objet.

Même la correction des deux aberrations chromatiques se réalise avec différents moyens et en va en reparler à propos de la "compensation".

### LA COMPENSATION

Le terme « **champ** » indique génériquement l'étendue d'un objet ou d'une image dans un plan perpendiculaire à l'axe<sup>6</sup>. Nous l'utiliserons ici dans le sens de "distance de l'axe", c'est-à-dire éloignement d'un point par respect au centre du champ même, et nous l'indiquerons avec la lettre **h** (coté objet) ou **h'** (coté image).

---

<sup>3</sup> Pour brièveté, nous éviterons d'appeler tout au long les noms des aberrations; nous éliminerons souvent le terme "aberration". L'"aberration sphérique" sera donc pour nous "la sphérique". On pourrait appeler l'aberration chromatique latérale avec un rigoureux acronyme allemand: "CVD" = Chromatische Vergrosserungdifferenz = "Différence chromatique d'agrandissement", le quel exprime bien le sens de cette aberration = une variation de grandissement en fonction de la longueur d'onde. Pour l'aberration chromatique longitudinale nous n'avons pas d'acronyme d'usage répandu; pour elle nous nous contenterons de "chromatique longitudinale".

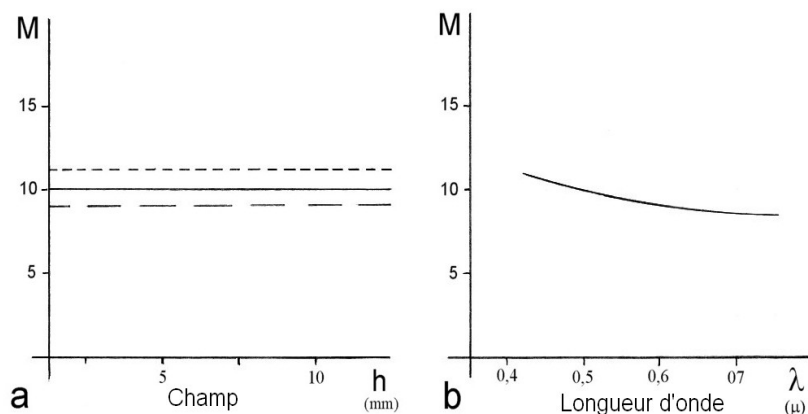
<sup>4</sup> Toujours pour brièveté, nous utiliserons le symbole  $\lambda$  (lambda) l'élle minuscule grec, au lieu de "longueur d'onde."

<sup>5</sup> Nous dirons "en axe" ou "hors axe" pour indiquer, respectivement, le centre du champ objet (ou du champ image), ou la périphérie de ces champs.

<sup>6</sup> Pour "axe" nous entendons l'axe général optique d'un système optique sur lequel sont alignés et centré tous les éléments de ce système: Telle "axe" représente aussi, d'une façon générale, l'axe géométrique de symétrie rotatoire du système, d'ordre infini.

Fig. 1 - En **a**), la variation du grandissement ( $M$ ) au changer du champ ( $h$ ): s'il y n'a pas distorsion,  $M$  est constant et la courbe est une droite. Si cependant on change  $\lambda$ , la droite se déplace en haut ou en bas (lignes en trait): celle-ci est la CVD.

En **b**), la variation de  $M$  en fonction de  $\lambda$ : la courbe serait une droite horizontale dans un système sans CVD. Ici est montrée la courbe d'une lentille simple, sous-correctée dans laquelle les plus grandes valeurs de  $\lambda$  portent une plus petite valeur de l'index, donc une plus grande focale et un plus petit grandissement.



Eh bien, la CVD se révèle comme une variation de grandissement ( $M$ ) en fonction de  $\lambda$  (Fig. 1 – b), mais, à parité de variation de  $\lambda$ , la CVD (la variation de  $M$ ) n'est pas constante: différente même dans le champ image d'une même lentille. En autres mots, une fois définie la variation de grandissement pour une date variation de  $\lambda$ , la première variation dépend AUSSI du champ. La CVD ne s'exprime donc pas avec une droite, mais avec une courbe en fonction de  $\lambda$ .

Telle courbe a une allure qui dépend de la recette de l'objectif. Chaque type d'objectif "a la sienne".

La CVD par conséquence ne se présente pas comme un oui - non: il y a différents degrés et courbes avec différente allures.

Maintenant, on peut corriger la CVD assez aisément au moment du projet dans les objectifs faibles, en général jusqu'à 10:1 ou 16:1, dans lesquels chaque membres peut être corrigé (il s'agit d'un ou deux doublets<sup>7</sup> ou triplets. Par contre, dans les objectifs forts, plus ou moins encore construits aujourd'hui selon la classique recette d'Amici (simple frontal<sup>8</sup>, hémisphérique ou presque, suivie par deux membres composés), la frontale simple comporte une CVD qu'on ne peut pas corriger avec les membres suivants, parce qu'ils se trouvent évidemment plus en haut (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.3.1).

L'inconvénient fut résolu par Abbe avec l'astuce décrite dans le texte à peine cité, la peu connue "**compensation**". Abbe conçut l'idée de « compenser » la CVD de l'objectif avec une aberration analogue dans l'oculaire, mais de signe opposé. Il introduisit ainsi les oculaires "compensateurs."

La chose semble très simple, et la combinaison de ses objectifs "apochromats" avec les oculaires "compensateurs" était le mieux qu'on pût alors espérer, et il s'agit encore aujourd'hui de recettes valables.

Mais il y a quelque inconvénient.

En effet, chaque constructeur offre des séries d'objectifs et oculaires de grandissement différent. Étant donné qu'il n'est pas possible de contraindre l'observateur à changer l'oculaire chaque fois qu'il change d'objectif, Abbe fut obligé à projeter des séries complètes d'objectifs, du type apochromatique, tous avec une CVD définie avec la même courbe: aussi les oculaires de ses séries "compensatrices" devaient présenter tous la même courbe de CVD, naturellement de signe opposé à celle des objectifs. Et plus ou moins il y réussit. Même si les objectifs les plus faibles pouvaient, et ils peuvent, être construit sans résidu de CVD, tous les objectif apochromatiques de cette époque étaient prévus avec la même aberration, de manière que les oculaires compensateurs fussent d'usage universel.

Les semi-apochromatiques venus après peu, à l'œuvre de la maison Koristka de Milan, soit

<sup>7</sup> Un doublet ou triplet c'est une lentille composée, formée par deux ou trois lentilles simples, généralement collées entre elles.

<sup>8</sup> Nous appelons "frontale" la lentille externe de l'objectif, celle tournée vers l'objet.

même ayant une correction de la chromatique longitudinale de type achromatique amélioré, quant à la CVD suivait les critères des apochromatiques d'Abbe: oculaires compensateurs de rigueur.

Mais avec les plus communs objectifs achromatiques, comment vont les choses ?

Pour des raisons de simplicité constructive, et par suite de coûts, les faibles objectifs jusqu'à le 6:1 sont constitués souvent par un doublet simple ou un triplet, qui peut être par soi-même bien corrigé de CVD. Ceux autour de 10:1 suivent une vieille recette de Lister, basée sur deux doublets, eux aussi achromatiques: pas de CVD. Les oculaires "**achromatiques**"<sup>9</sup> vont donc bien dans ce cas, attendu que ces objectifs ne demandent pas de "compensation". Et il s'agit des oculaires les plus simples, selon la recette de Huygens (deux lentilles simples, plan-convexes, du même verre; recette "négative"<sup>10</sup>), qui sont les plus économiques, et donc les seuls prévus dans les équipements de niveau bas-moyen. Aujourd'hui, à vrai dire, on trouve dans le commerce des nombreux oculaires achromatiques du type positif, souvent à haute pupille et à grand champ, donc de performances élevées, mais toujours achromatiques.

Par contre, avec des grandissements de 20:1 compris ou plus grands, on retombe presque toujours, dans les séries achromatiques, sur la recette d'Amici, avec frontale simple. Cela comporte ce résidu de CVD dont on a parlé plus haut.

Et alors, en pratique, comme se conduisent les constructeurs et les vendeurs ?

1) Ils cherchent à baisser le prix de la fourniture et ils offrent des oculaires seulement achromatiques. Tout va bien pour les objectifs achromatiques faibles, mais voilà la CVD (bordures colorées à la périphérie du champ) qui arrive avec les termes moyens et les forts et avec les apochromatiques. Un pis-aller myope.

2) Ils offrent une double série d'oculaires: achromatiques pour les objectifs achromatiques faibles, compensateurs pour les moyens et les forts et pour les apochromatiques. C'est la solution la plus sérieuse, mais le plus chère.

3) Oculaires faibles du type achromatique et oculaires forts du type compensateur. C'est un compromis convenable.

4) Beaucoup de constructeurs, même parmi le "traditionnels", offrent des objectifs moyens et forts avec un différent degré de CVD. Cela comporte que, avec un oculaire compensateur, cette aberration peut résulter surcorrigée pour un objectif moyen ou faible et souscorrigée pour un fort. Dans un entier équipement d'objectifs, il peut arriver qu'un seul soit bien compensé par un certain oculaire (compensateur); tant pis pour les autres. Un désastre.

5) De plus en plus souvent, les constructeurs de la gamme basse et moyenne offrent des oculaires "demi-compensateurs", avec un résidu de CVD surcorrigée. En bref, ces oculaires produisent un petit résidu de CVD surcorrigée avec les objectifs faibles et un peu souscorrigée avec les forts. Un compromis décent. Souvent, en particulier pour les constructeurs orientaux, ces oculaires sont de bonne qualité (haute pupille, grand champ, recette positive) et pour cela ils sont indiqués comme "WF" ou "GF" (« wide field », « grossfeld ») ou semblables.

En général, les oculaires compensateurs sont indiqués par la lettre C ou "Comp." (vieilles productions), K (Wild, Lomo, etc.), par d'autres monogrammes ("Kpl" pour Zeiss Oberkochen, etc.<sup>11</sup>), ou par des noms spéciaux (Periplan pour Leitz), etc. Les positifs se reconnaissent sou-

---

<sup>9</sup> On appelle "oculaire achromatique" un oculaire dépourvu de CVD.

<sup>10</sup> Voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 7.2 et 20.4.

<sup>11</sup> Nous rappelons que, après la fin de la deuxième guerre mondiale jusqu'à la chute du mur de Berlin, environ de 1945 à 1990, ils existaient des séries de produits de microscopie provenant de deux différents sièges de la maison Zeiss: une de l'Allemagne Ouest (Oberkochen) près d'Aalen, et une de l'Allemagne Est, à Jena, le siège original de la Fondation Zeiss. Par la suite d'une action juridique concernant le droit d'utiliser le nom Zeiss, les produits Zeiss Oberkochen étaient vendus en Italie et d'autres pays avec le nom Zeiss, pendant que ceux de Zeiss Jena avec le nom "Aus Jena". En Angleterre et dans les pays de l'Est, en donnant importance prédominante au siège original de la fondation, les produits Zeiss Oberkochen était vendu avec le nom "Opton" ou n'étaient vendu pas du tout, pendant que ceux de Zeiss Jena utilisaient le nom "Carl Zeiss Jena".

Les deux séries de produits avaient des caractéristiques très différentes. Les produits Oberkochen étaient de

vent, simplement en y regardant dedans et en les visant vers un fond clair (le ciel, un mur blanc): sur les bords du diaphragme de champ visuel (la périphérie du champ visuel) on observera une bordure jaune ou rouge.

Les achromatiques peuvent porter la lettre H ou, plus souvent, aucune indication. Ils se reconnaissent, eux aussi, en les visant vers un champ clair: s'ils sont du type négatif, le bord du champ apparaîtra bleuâtre; si du type positif, tel bord devrait apparaître du tout achromatique, sans couleurs, avec un passage blanc-noir net.

Au moment de l'achat, un simple coup d'œil indique avec bonne assurance le type d'oculaires dont le vendeur a fourni l'instrument.

Naturellement, il y a même quelque conséquence négative de la compensation: il faut se rappeler que tous les objectifs apochromatiques et semi-apochromatiques classiques, comme la majorité des achromatiques forts, présentent un résidu de CVD qui peut être corrigé seulement par un compensateur du juste degré. Cela signifie que, si on tâche d'exécuter une photographie, analogique ou digitale, avec l'objectif seul, sans oculaire, c'est-à-dire en mettant la surface sensible à l'endroit de l'image intermédiaire, on perd toute possibilité de compensation. Les résultats seront donc mauvais et de plus en plus mauvais vers les bords de l'image (il faut se rappeler que la largeur des bordures colorées dus à la CVD est fonction croissante du champ. Mais ne pas accuser l'objectif!

Bien plus, déjà qu'on y est, il faut penser que beaucoup de tubes porte-oculaires, spécialement si bioculaires, contiennent des prismes<sup>12</sup>, et ils introduisent donc quelques centimètres de verre optique entre objectif et oculaire. Sans compter les tubes intermédiaires avec différentes fonctions, épiscopie, photographie, dessin, etc. Ces forts épaisseurs de verre influent sur les aberrations, parmi lesquelles la CVD.

Moral de la fable: une combinaison objectif-oculaire pourra fonctionner au mieux avec un tube donné mais pas avec un autre. Si on exécute les contrôles de la CVD, décrit plus bas, sur un même instrument en passant par ex. d'un tube droit monoculaire à un tube bioculaire, on remarquera quelque différence. Personne ne fait des miracles: une combinaison peut être optimisée pour l'usage avec un type donné de tube, mais pas avec tous.

Les systèmes CF.<sup>13</sup>

Une solution particulière au problème de la CVD est celle des objectifs "CF" (ou "Color Free" ou "Chrome Free").

Les constructeurs plus avertis ont depuis longtemps cherché de produire des séries complètes d'objectifs tous indemnes de CVD. La disponibilité de verres optiques avec des caractéristiques de plus en plus avancées et de méthodes de calcul électronique a permis ce résultat, impensable aux temps d'Abbe. Naturellement, avec augmentation des prix.

Les objectifs CF évidemment doivent être utilisés toujours avec des oculaires achromatiques et le problème de la compensation disparaît, au moins en principe.

---

niveau excellent, mais chers, dans la série "haute qualité"; mauvais et toujours chers dans la gamme moyen-basse.

Les produits Jena étaient économiques ("prix politiques", mais de bon niveau dans la gamme "basse" et haut niveau dans la gamme "haute"). Ils subissaient les effets d'une production liée aux exigences d'organisation et politiques (contrôles de qualité insuffisants, assemblage hâtif) mais quelques solutions (le système "Contrast" qui permettait n'importe quel technique de contraste avec une seule série d'objectifs normaux; les objectifs "GF Planachromat" avec un champ image de 32 mm; les statifs avec double bras pour éviter les vibrations de l'objectif, etc.) étaient uniques dans la production mondiale et jamais plus produites par aucun autre producteur. Avec la chute du "mur", ces produits ont brusquement été abandonnés et ne seront probablement jamais plus égalisés. Au point de vue technique, les lois de la politique et du marché ont produite une chute de qualité incurable.

Aujourd'hui, la Zeiss Jena a, depuis des années, cessé la production dans le rayon microscopie.

<sup>12</sup>. Seulement rarement (Zeiss Oberkochen, Galilée, Bausch & Lomb, etc.) ont été construits des tubes basés seulement sur des miroirs.

<sup>13</sup>. A Jena on été produits à partir de 1968 ; dans la série "250 CF" à partir de 1982.

L' "optique à l'infini" et la "lentille du tube" (voir aussi l'art . n° 38)

Le problème de la compensation réapparaît avec les objectifs calculés pour une deuxième conjuguée de valeur infinie (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 3.2). Dans ce texte on a vu pourquoi ils ont été introduits, en quels cas ils sont utiles, et pourquoi ils doivent opérer de concert avec un "lentille du tube" convergente, de focale variable (selon le constructeurs) entre 157 (Zeiss Jena), 165 (Zeiss Oberkochen) et encore plus jusqu'à la valeur classique de 250 mm.

Mais, ici aussi, il faut distinguer.

Dans l'idée initiale des "objectifs à l'infini" la lentille du tube devait être achromatique (étant donnée la modeste ouverture et le petit champ angulaire, il peut suffire un normal doublet achromatique). Ce critère est utilisé encore par des excellents constructeurs (Nikon par ex.). Si les objectifs prévus sont des faibles achromatiques ou du type "CF", il faut utiliser des oculaires achromatiques.

Mais à quelqu'un est venue l'idée d'utiliser la lentille du tube pour introduire une espèce de compensation (Zeiss Oberkochen, par ex.). Dans ces cas, tous les objectifs sont dessinés avec un résidu constant de CVD, la lentille du tube présente le même résidu, évidemment de signe opposé<sup>14</sup>, l'image intermédiaire est donc de toute façon indemne de CVD et les oculaires achromatiques vont encore bien. Une solution élégante, mais ces objectifs ne sont pas des vrais CF et il est nécessaire de les utiliser avec la lentille du tube prévu par le constructeur, c'est-à-dire sur certains statifs et seulement sur ceux-là. L'idée d'interchangeabilité va donc perdue: la nécessité reste de "compenser" la CVD des objectifs, mais cette fonction est déléguée à la lentille du tube et le projet des oculaires se simplifie.

### Conclusions

En ce qui concerne la CVD, on peut dire qu'il y n'a aucune règle. Ca peut être prudent de posséder une double série d'oculaires (achromatiques et compensateurs) mais il n'est pas sure que cela suffise. On pourrait se limiter à utiliser seulement les accouplements objectif-oculaire conseillé par le constructeur, mais on a vus les compromis et les équivoques sur lequel on risque de tomber sur le plan commercial.

Il vaut mieux contrôler chaque accouplement objectif-oculaire dont on dispose avec les moyens que nous décrirons plus loin et se procurer la plus grande variété possible d'oculaires.

Nous nous sommes attardés sur ce problème de la compensation car il est largement ignoré, soit des praticiens, soit des vendeurs. Plus loin nous décrirons avec des photographies sélectionnées les effets des aberrations chromatiques et la manière de les contrôler au but de l'évaluation d'un instrument.

## Le CHOIX : les QUALITÉS à VÉRIFIER à l'AVANCE

### LES FONCTIONS MÉCANIQUES

Nous mentionnons seulement les points fondamentaux (voir aussi le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.1, 19.4.1 et 32.6).

La longueur mécanique de l'objectif (**Lo**) e la parfocalité

Étant donnée la grande variété de valeurs adoptée jusqu'à présent (à partir de 10 mm de certains épiscopiques métallographiques classiques jusqu'à 75 mm de certains catadioptriques ou types spéciaux modernes, 90 mm pour les épiscopiques a longue distance de travail), même en nous limitant aux "biologiques" normaux, on va de 32 mm de certains produits des pays de l'Europe de l'Est jusqu'à 45 mm des règles DIN ; il est clair que mélanger sur un mêmes revol-

---

<sup>14</sup> Il peut s'agir d'une simple lentille, mais avec une courbe de dispersion opportune. Tout ceci a le but de simplifier le travail de l'auteur et de réduire les coûts de fabrication.

vers des objectifs de longueur différente rend très probable le choc entre les objectifs les plus longs et la préparation quand on tourne le revolver.

Dans ce cas, le remède habituellement adopté (convenables rallonges avec une vis male et une vis femelle pour les objectifs les plus courts) n'est pas orthodoxe, au moins avec les systèmes les plus forts, car il altère la longueur mécanique du tube et il introduit quelque résidu d'aberrations, spécialement sphérique<sup>15</sup>. Seulement dans des rares cas (Leitz), ont été offertes des rallonges contenant une lentille divergente convenable pour adapter les objectifs de 37 mm à 45 mm.

On doit donc exiger d'un bon instrument la même longueur mécanique pour tous les objectifs (« parfocalité » ou « équilibrage »): quand on change d'objectif, la mise au point doit être conservée au moins pour donner une image (flue) suffisante pour comprendre de quel côté il faut tourner la micrométrie.

Nous mentionnerons plus loin les remèdes possibles pour améliorer l'équilibrage<sup>16</sup>, mais même des petites différences de **Lo** sont intolérables quand, après l'échange de l'objectif, l'image est complètement défocalisée et on ne sait pas de quel côté il faut tourner. On perd du temps et, si l'objectif n'est pas du type « élastique » (à pompe), on risque de le rompre parce qu'il s'écrase sur la préparation et la réduction du mouvement micrométrique empêche d'avertir une augmentation de la résistance dans le mouvement.

Le « parcentage »<sup>17</sup>.

Au moment de l'achat, il est difficile d'avoir le temps de contrôler cette performance, qui d'ailleurs dépend de la précision dans la construction soit des objectifs, soit du revolver, et peut changer si on altère l'ordre avec lequel les objectifs sont insérés sur le revolver. Il faut exiger que, quand on change d'objectif, le centre du champ du premier objectif reste à l'intérieur du champ de n'importe quel autre.

Heureusement, un défaut de parcentage rarement contrarie le travail courant.

Les dimensions (le maximum du diamètre extérieur)

Avec des objectifs spéciaux, pour radiation polarisée, pour épiscopie en champ noir, catadioptrique, etc., le diamètre extérieur de l'objectif peut être tel à ne pas permettre d'insérer deux de tels objectifs dans des trous contigus du revolver. Il est bien de ne pas oublier ce problème.

Le champ (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.2.4)

Nous parlons du diamètre du "**champ image nominal**" de l'objectif, c'est-à-dire de cette partie de l'image intermédiaire dans laquelle le producteur devrait garantir la correction qui concerne à cette classe d'objectifs. Le champ nominal de l'objectif<sup>18</sup> qu'on est en train d'acheter doit être au moins égal ou plus grand du champ des oculaires qu'on veut utiliser.

Cette donnée vient rarement déclarée et encore moins indiquée sur la notation de l'objectif, même si quelque constructeur grave sur l'objectif l'acronyme GC (Grand Champ) ou GF (Grossfeld) ou WF (Wide Field) ou semblables quand le champ nominal est supérieur à 20 mm.

Si ce problème se présente, on peut risquer (d'utiliser les marges d'un champ ou les aberrations sont mal corrigées), ou faire un contrôle avec un réseau<sup>19</sup> (il peut suffire un micromètre objet, mais en va en reparler), en gardant surtout à la planéité du champ et aux aberrations extra-axiales. Évidemment, ce contrôle sera exécuté avec l'oculaire prévu par le constructeur (par ex.

---

<sup>15</sup> La chose ne s'applique pas pour les objectifs à deuxième conjuguée infinie.

<sup>16</sup> Voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.1.2.

<sup>17</sup> Voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.1.4.

<sup>18</sup> L'expression "champ nominal de l'objectif" indique le champ image dans lequel le constructeur considère satisfaisante la correction des aberrations. Cette valeur devrait être toujours déclarée par le constructeur.

<sup>19</sup> Ce que nous entendons pour "réseau" sera clarifié à la pag. 26 et dans l'article n° 11.



compensateur, avec le juste degré de compensation), si possible micrométrique, de façon à permettre la mesure, en mm, de la partie du champ dans laquelle on constate une correction raisonnable. Faute d'oculaire micrométrique (positif), on peut utiliser un oculaire dont on connaît bien l'index de champ,  $s'$ : le diamètre du champ visuel fournit une mesure du champ (de l'objectif) qu'on est en train d'examiner. Il est évident aussi que l'oculaire qu'on utilise pour ce contrôle doit présenter un index de champ au moins égal au champ qu'on veut contrôler: si un objectif classique a un champ de 18 mm, par ex., on ne peut pas le contrôler avec un oculaire avec index  $s' = 14$ . En va en reparler.

### LE BUT À ATTEINDRE

Comme on a dit au début, le meilleur objectif qui résout tous les problèmes et va mieux des autres dans tous les cas n'existe pas. Avant de le choisir, donc, il faut se demander qu'est-ce que on veut en tirer.

#### Meilleur contraste

Tout le monde connaît les techniques "de contraste" (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 30, et les articles n° 33 et 35); c'est pourquoi il est clair que, en ayant la possibilité, un objet peu contrasté peut être mieux étudié en contraste de phase, ou avec le DIC, ou avec l'éclairage oblique (peu appliqué), qui a aussi l'avantage d'être flexible, simple et extrêmement économique.

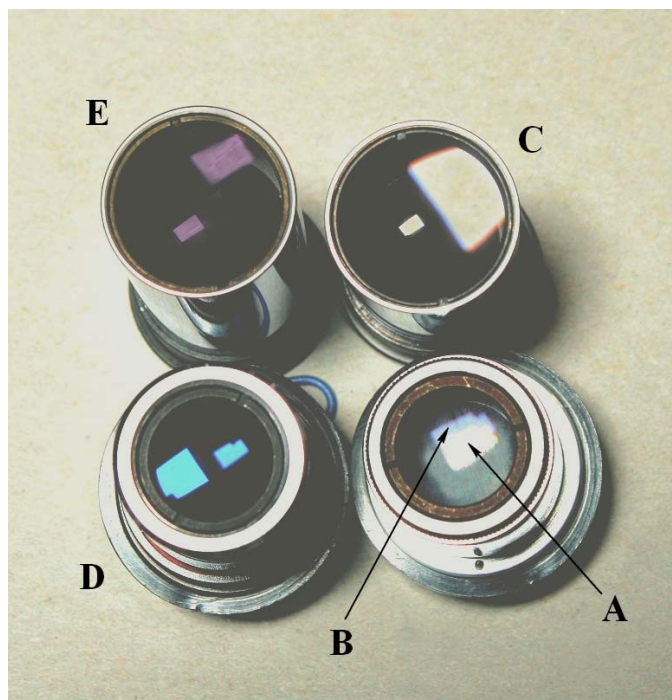
En ce qui concerne le "fond clair" normal, une précaution très utile pendant la recherche du meilleur contraste est d'identifier les systèmes les plus simples, les classiques achromatiques, car le plus petit nombre de lentilles comporte un plus petit nombre de surfaces réfléchissantes, donc une plus petite quantité de lumière diffuse. Les objectifs "plan" sont à exclure.

Autre observation à faire est la qualité des traitements anti-réfléchissants: en regardant par dessus les lentilles de l'objectif pendant qu'elles réfléchissent la fenêtre, on doit voir un reflet couleur pourpre, le plus sombre possible. Ces observations sont malheureusement faciles avec un oculaire (Fig. 2), mais difficiles avec un objectif fort, qui porte souvent les lentilles supérieures au fond dans la monture.

Fig. 2 - Le reflet d'une fenêtre sur une lentille donne une bonne idée de la qualité des "traitements" appliquée sur elle.

La lentille en B est traitée sur la surface interne (reflets bleu très pale) mais pas sur celle externe (reflets blancs, A). La lentille C est très mal traitée (reflets gris, encore vifs). La lentille D a un bon traitement sur les deux surfaces, mais pas pourpre. Le traitement en E est exceptionnel, étant donné qu'il produit des reflets presque invisibles (Wild).

Aussi la couleur du reflet est importante: elle doit être pourpre (cramoisie) c'est-à-dire présenter la plus petite intensité dans la région spectrale du "vert". Une comparaison entre le reflet sans traitement (A) et un bon traitement (E) démontre l'importance des traitements.



Quand les reflets sont importants au point de vue du contraste (épiscopie en fond clair, polarisation) le constructeur avisé ne se préoccupe pas seulement d'améliorer les traitements, mais il étudie même la courbure des lentilles de manière que les reflets produisent des faisceaux très ou-

verts qui se dispersent et participent en mesure négligeable à l'image intermédiaire.

Celui qui a eu la chance de travailler avec les objectifs "GF Planachromat" de la série "250 CF" de Zeiss Jena connaît bien ce qui signifie "un bon contraste".

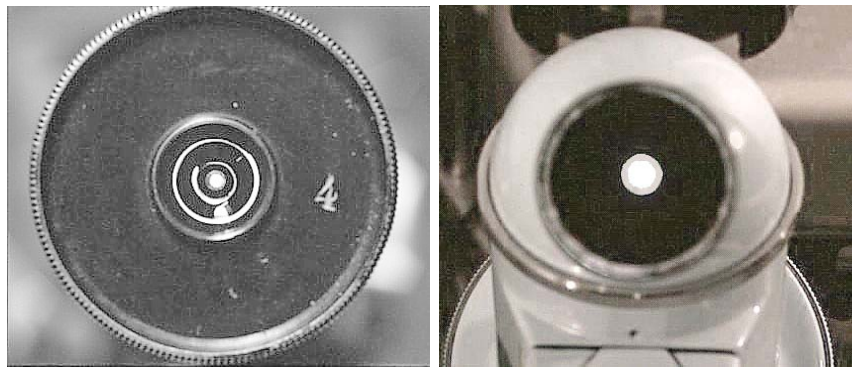
Pour le contrôle du contraste il faut avoir un objet avec le meilleur contraste possible: zones transparentes et zones complètement opaques comme le "réseau" dont nous parlerons plus loin.

Le contraste dans l'image finale, cependant, ne dépend pas seulement de l'objectif: la majorité des constructeurs donne peu d'importance aux reflets internes sur les parois de la monture de l'objectif et sur les parois internes du tube, des prismes, etc. Les diaphragmes d'arrêt ("light baffle", qui bloquent les rayons trop obliques) et les noircissements des surfaces internes sont largement négligés chez beaucoup de constructeurs.

Un contrôle des reflets internes du tube peut être effectué en éclairant au maximum (diaphragme d'ouverture et diaphragme de champ tous ouverts, préparation transparente, etc.) et en regardant à la distance de 20-30 cm dans l'oculaire: on verra presque certainement, autour du petit disque central (qu'on appelle "disque de Ramsden", c'est-à-dire l'image de la pupille de sortie de l'objectif) une série d'arcs ou de cercles très vifs, qui sont autant de reflets pas désirables, (Fig. 3, à gauche).

Fig. 3 – (à gauche) Le petit rond clair au centre de la figure est l'image de la pupille de sortie de l'objectif. Tout le reste, les cercles clairs concentriques avec lui, sont les reflets nuisibles de quelques parties métalliques. (Koristka).

De cette façon on apprécie la contribution de l'instrument entier à la qualité du contraste dans l'image finale et par suite la diligence du constructeur.



Une autre façon de contrôler les reflets internes du tube est illustrée dans la partie droite de la fig. 3: on voit tout ce qui apparaît après avoir enlevé l'oculaire. Dans notre cas, en plus de la pupille de sortie de l'objectif (on voit aussi les bords du diaphragme d'ouverture) il n'y a pas aucun autre reflet. C'est une bonne réalisation (Wild, mod. M11).

### Meilleure définition

L'idée de définition ressemble beaucoup à ce que les photographes appellent "micro-contraste"<sup>20</sup>: frontières nettes entre zones claires et sombres, sans halos, sans bordures colorés, sans nuances.

Cependant, il faut bien distinguer entre définition et résolution, et à telle fin nous demandons d'examiner les figures de **4 a** à **4 d**.

Il s'agit de photos agrandies de l'image produite par un objectif en différentes conditions de travail. L'objet photographié est un réseau spécial, distribué par la maison Heidenhain et autres tout juste pour ces applications, qui contient des groupes de trois lignes transparentes sur fond opaque, avec un "pas" de plus en plus petit entre environ 1 mm et 4,4  $\mu$ . Entre un groupe et le contiguë, le pas change d'un facteur d'environ 1,1. Dans un tel objet, si éclairé par transparence, le contraste est égal à environ 1 car il s'agit de zones transparentes sur un fond bien opaque (généralement un dépôt de chrome sur verre).

Eh bien, dans la figure **4a**, la définition, compte tenu de l'agrandissement de la photo originale, peut être définie bonne et de toute façon elle est telle à permettre de "résoudre", c'est-à-dire voir séparées, les lignes du group indiqué avec B. La photo à côté, **4b**, apparaît visiblement moins définie, moins contrastée, "plus nuancée" et l'œil ne la préfère pas car il est très sensible

<sup>20</sup>. C'est la transition clair-foncé dans une image en correspondance du passage entre deux zones à différente luminosité de l'objet, séparées par une marge nette (dans l'objet).

au microcontraste.

Mais on doit observer attentivement: dans la fig. **4b** il est possible de résoudre, soit avec difficulté, le groupe indiqué avec A, qui ne se résout pas certainement dans la fig. **4a**, qui apparaît à l'œil plus définie.

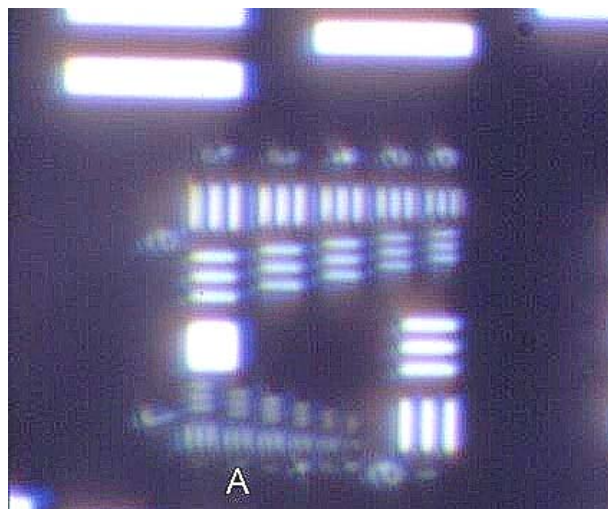
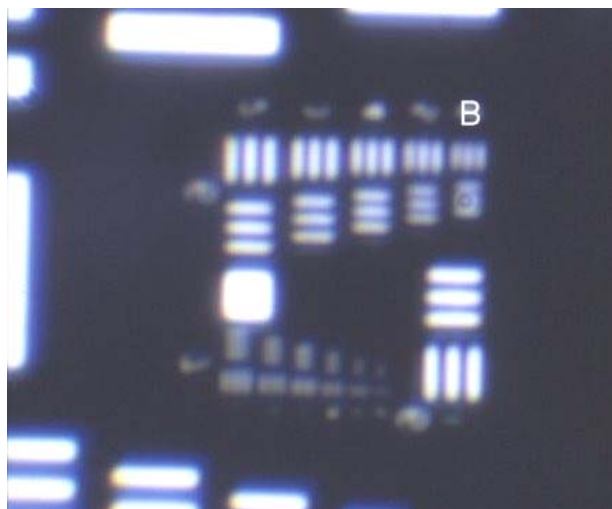


Fig. 4a – Objectif photographique Canon avec  $f\# = 8$

4b – Le même avec  $f\# = 2$

Le diaphragme fermé (4A) réduit les aberrations de l'objectif, mais réduit la résolution à cause de la diffraction.

Donc l'œil est un juge sensible pour la définition, mais il n'est pas apte à percevoir des petites différences de résolution. En autres mots: l'évaluation de la définition peut être faite même "à l'œil", mais pour évaluer la résolution il faut une méthode objective, basé sur structures périodiques de pas différent. Beaucoup de micrographes utilisent à ce but des frustules de diatomées ou des écailles d'ailes de papillon, les opticiens utilisent des réseaux spéciaux comme ceux de la fig. 4. La méthode des diatomées ou d'autres objets naturels est facile mais, comme nous verrons, est lié au contraste de l'objet qui n'est jamais le maximum et de toute façon dépend toujours de beaucoup de facteurs rarement univoques (type d'illumination, index du milieu d'inclusion, etc.).

À vrai dire, les photos de la Fig. 4 ont été prises avec la méthode "macro" car le plus petit pas du réseau ( $4,4 \mu$ , comme rappelé à l'avance) était excessif pour un normal objectif de microscope. La différence entre les figures 4a et 4b dépend de la différente ouverture de l'objectif: ( $f\# = 8$  pour la Fig. **4a** et  $f\# = 2$  pour la Fig. **4b**): dans le deuxième cas, de la plus grande ouverture s'ensuivent des plus grandes aberrations et pour cela une plus petite définition, mais la résolution est plus grande, à cause d'une loi bien connue (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", formules 22, 50 et 52, Chap. 18.3).

Les figures **4c** et **4d** sont prises dans les mêmes conditions, mais avec une différence essentielle: pas plus sur l'axe de l'objectif photographique, au centre du champ image, comme avant, mais « hors axe », aux marges du champ utile. Il semble évident que les parties claires de l'image sont allongées en direction oblique (le centre du champ se trouve en bas à droite, hors figure) et apparaît l'effet des aberrations extra-axiales, capables d'allonger l'image de chaque point de l'objet en direction radiale.

Même dans ce cas, la photo **4c** à été prise avec une ouverture réduite et la **4d** à pleine ouverture. Encore une fois, l'image avec ouverture réduite résout à peine le group indiqué avec C, pendant qu'à pleine ouverture l'image est certainement moins définie, mais elle résout un group plus fin (le D ou le suivant).

La définition doit donc être distinguée "en axe" et "hors axe". En effet, celle hors axe est liée aux aberrations extra-axiales (coma, astigmatisme et CVD, voir plus loin), qui, pour leur nature même, n'existent pas au centre du champ dans un système centré et sont plus difficiles à corriger. Le résultat est que, même l'objectif achromatique le plus économique, est en général "diffraction limited" (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 13.3 et 18.3) et sa définition est presque parfaite, mais seulement "en axe", au centre du champ.

Aux marges du champ les choses peuvent empirer sérieusement et c'est surtout pour corriger les aberrations extra-axiales que fut introduit l'apochromatisme. Mais, attention! Beaucoup de constructeurs (ce n'est pas le cas de faire des noms, mais il faudrait citer noms et série d'objectifs très connus) laissent sciemment des résidus de plusieurs aberrations extra-axiales, surtout coma et CVD, même dans les demiapo- et apochromatiques, car cela simplifie la recette et réduit les frais de fabrication ("d'ailleurs, beaucoup de personnes ne s'en aperçoivent"). La méfiance et un bon réseau peuvent éviter des nombreuses petites déceptions.

En ayant bien clair qu'est-ce qu'on doit chercher, il faut donc aussi une certaine expérience pour évaluer les trois qualités séparément: contraste, définition et résolution.

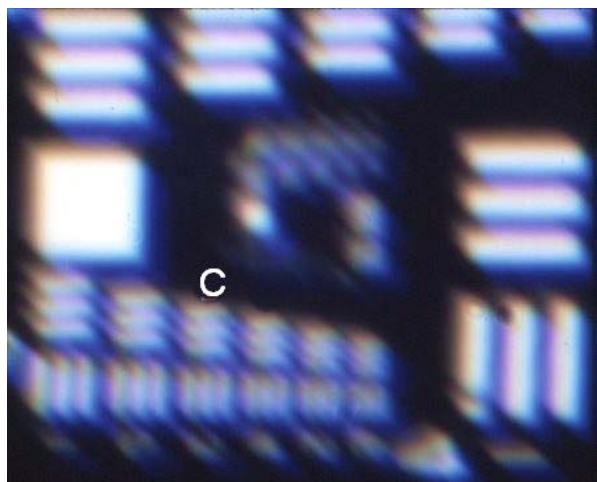
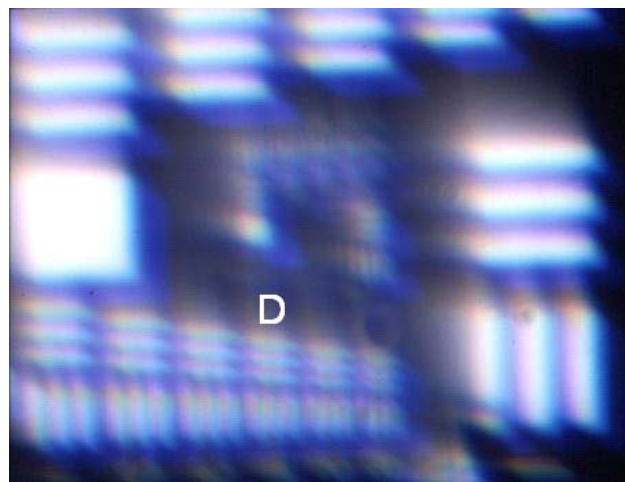


Fig. 4c avec  $f\#= 8$



4d avec  $f\#= 2$

En concluant: même le contrôle de la définition au microscope s'exécute au mieux avec le réseau dont nous parlerons plus loin, mais le choix au moment de l'achat, ne pouvant pas exécuter tel contrôle, doit être adressée avec quelques critères:

- chercher les systèmes les "plus corrects" (d'aberrations, évidemment), c'est-à-dire les demi-apochromatiques et les apochromatiques;
- éviter les « plan » qui souvent, pour obtenir l'aplatissement du champ, laissent des résidus d'autres aberrations, spécialement astigmatisme<sup>21</sup>;
- soigner la compensation, avec les critères décrit plus en haut, et avec les contrôles que nous décrirons;
- ne pas se fier de personne et en savoir plus du vendeur (d'habitude ceci n'est pas difficile).

Au moment de l'achat, spécialement si on ne peut pas examiner l'instrument à l'avance, spécialement si l'équipement est mixte, pas original, le risque est tout à la charge de l'acheteur.

#### Meilleure résolution

Selon les formules bien connues, la résolution est directement proportionnelle à l'ouverture. Celui qui cherche la meilleure résolution, doit chercher les objectifs avec la plus grande ouverture. Mais on se rappelle que les formules donnent seulement la meilleure valeur théorique de la résolution qui est aisément réduite par plusieurs causes, que nous énumérons ici, pour en parler après plus diffusément:

- détails du projet (surtout corrections; lumière diffuse avec perte de contraste);
- détails de construction (préparation des surfaces; homogénéité, index et dispersion des verres; centrages, etc.);
- détails d'utilisation (ouverture du condensateur, disposition du système éclairant, centrages, type d'oculaire et de systèmes intermédiaires, longueur équivalente du tube ( $L_m$ ), propreté);
- caractéristiques de la préparation, comme la structure et le contraste dans l'objet. Les pré-

<sup>21</sup>. D'astigmatisme on parlera plus loin (pag. 36).

parations utilisées pour le contrôle de la résolution ont rarement un contraste égal à 1.

Il en suit que l'évaluation de la résolution avec les moyens susdits (objets à structure périodique comme diatomées, réseaux, etc.) peut donner beaucoup d'erreurs en moins et il est toujours bien de tenir compte de deux valeurs: 1) la résolution réelle, de ce particulier système dans ces particulières conditions de travail, avec ce certain objet, et 2) le maximum théoriquement possible en conditions idéales, lié à l'ouverture.

De toute façon, si la résolution est le but à atteindre, ceux-ci sont les critères pour le choix:

+ la plus grande ouverture;

+ la meilleure définition (apo- et semi-apochromatiques);

+ éviter les objectifs « plan »;

+ soigner les corrections du condensateur; préférable l'aplanétisme (correction de la sphérique). En effet, un condensateur normal, d'Abbe, est affecté de fort sphérique et ceci empêche d'en exploiter le maximum d'ouverture (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 21.6, 21.7 et les figures 88 et 89 ainsi que la fig. 9, pag. 21, plus en avant dans ce texte).

Il faut se rappeler à ce propos que le maximum d'ouverture d'un condensateur "à sec", donné par la formule 21 du manuel susdit ( $NA^{22} = n \sin \alpha$ ), en étant  $n = 1$ , ne peut pas être supérieur à 1,0 (en pratique, 0,95), vu que, pour la définition même,  $\sin \alpha \leq 1$ . Une indication d'ouverture  $NA \geq 1,0$  suppose, pour des raisons de principe, une valeur de  $n > 1$ , c'est-à-dire la présence entre condensateur et objet d'un liquide opportun ("**immersion**" du condensateur).

Il en résulte que n'importe quel condensateur, s'il montre une indication de  $NA \geq 1$  se réfère à l'immersion, mais avec une complication: la correction de la sphérique peut être optimisée en conditions "à sec" ou en immersion, mais pas pour les deux. L'usage ou l'absence de l'huile d'immersion n'influe donc pas seulement sur le maximum de l'ouverture, mais aussi sur l'aplanétisme.

À propos d'aberration sphérique (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.2.3), celle de l'objectif dépend, entre autre, 1) de l'épaisseur de la lamelle<sup>23</sup>, pour les systèmes à sec; 2) de l'index du liquide d'immersion, pour les systèmes HI, et 3) de la longueur du tube<sup>24</sup>.

Étant donné que la sphérique, exprimée comme diamètre du cercle de confusion (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.2), est proportionnelle au cube de l'ouverture, il en résulte que les plus forts objectifs sont très sensibles aux déviations d'une des trois quantités à peine citées. Pour obvier à cette criticité, presque tous les constructeurs offrent toujours des objectifs à sec doués d'ouverture supérieure à environ 0,8 munis d'une "bague" ou "collier de correction" qui peut compenser, dans certaines limites, une erreur dans l'épaisseur de la lamelle ou dans la longueur du tube.

Mais cela ne suffit pas. La "bague de correction" porte une graduation, rapportée à l'épaisseur de la lamelle, exprimé en mm, que cependant n'est pas souvent du tout correcte à cause des inévitables tolérances de fabrication. Étant donné que, en plus, on ne connaît pas l'épaisseur exacte de la lamelle utilisée d'habitude, il vaut mieux procéder par tentatives en cherchant cette régulation qui fournit le meilleur micro-contraste. En outre, la bague de correction augmente la complexité de la structure mécanique de l'objectif et va sujette tôt ou tard au durcissement des graisses lubrifiantes, usure, oxydations, etc. jusqu'au bloc total.

En conclusion, les forts objectifs à sec, même si "à correction", ne peuvent pas toujours offrir la résolution réelle que leur ouverture permettrait en principe.

À ce moment, que faire? Si ce qu'on cherche est la plus grande résolution, le remède souve-

<sup>22</sup> On se rappelle que  $NA = n \sin \alpha$  c'est l'"ouverture numérique".

<sup>23</sup> Comme "lamelle" nous voulons indiquer le "couvre-objet".

<sup>24</sup> Cette longueur ( $L_m$ ) peut être altérée par la substitution du tube porte-oculaires ou des tubes intermédiaires éventuels ou du type d'oculaire, et aussi par la régulation de la distance pupillaire dans les tubes bioculaires à double guide.

rain est l'immersion. D'accord: mettre et enlever l'huile est un ennui; on risque toujours qu'un objectif fort à sec aille se traîner sur la préparation trempé d'huile (ce cas demande le nettoyage de l'objectif à sec qui est difficile avec les objectifs « plan » qui ont la lentille frontale creuse); enlever la vieille huile le soir et remettre de l'huile fraîche le jour après est un autre ennui ... Tout cela est vrai. Mais la meilleure résolution demande l'immersion. Pas moyen d'en sortir.

Bienheureux qui réussit à trouver une série complète d'objectifs, d'agrandissement différent, tous à l'immersion (Zeiss Jena, par ex.) ou muni de "**chapeau à l'immersion**" (Wild, Leitz, etc.). Avec ces séries, on peut travailler toujours en immersion, avec n'importe quel agrandissement.

Une plus petite augmentation d'ouverture mais une utilité pratique supérieure offrent les objectifs à l'immersion dans l'eau ("Wasser" ou "W") ou glycérine ("Glyz"): l'eau, au moins si elle est distillée, se vaporise sans résidus et la glycérine est soluble dans l'eau. Nettoyage simplifié. Et il y a ici aussi des séries complètes d'objectifs, tous à immersion dans l'eau.

Mais il y a encore ici quelque complication. Dans le cas de l'immersion à l'eau, la lamelle est nécessaire?

Les objectifs à immersion homogène, à l'huile, fonctionnent en général autant avec et sans lamelle. Mais en certains cas critiques il convient de se conformer aux indications du constructeur. Par ex. la notation "0 (0,17)" signifie qu'il vaut mieux travailler avec des préparations sans lamelle pendant que "0,17 (0)" signifie qu'il vaut mieux travailler avec des préparations couvertes par la lamelle d'épaisseur 0,17 mm. Dans le cas de l'immersion dans l'eau, la situation est encore plus critique; dans la majorité des cas, l'objectif DOIT travailler sans lamelle, mais il y a en commerce des objectifs "à l'eau", marqués avec "0,17", qui DOIVENT travailler avec des préparations couvertes de lamelle + une couche d'eau. Autrement, il faut s'attendre un forte sphérique et une perte de définition.

Si en plus on veut avoir la meilleure résolution d'un objectif fort, il faut se rappeler que toute son ouverture utile doit être remplie par une pareille ouverture du condensateur. Comme déjà dit, ceci peut être obtenu seulement avec un condensateur aplanétique<sup>25</sup>, difficile à trouver et de toute façon cher et pas toujours correct comme le constructeur voudrait faire croire (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 21.6 et 21.7). Pour un objectif à immersion, on obtient la meilleure résolution à la condition qu'aussi le condensateur soit à immersion. Autre ennui (voir le manuel susdit, Chap. 21.5).

Dans la recherche du maximum de résolution, il faut rappeler aussi la méthode de l'"éclairage oblique" (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 18.9, 21.8, 30.2), qui, dans les cas limite, peut directement doubler la résolution. Cette technique, simple et économique, est utilisée aussi valablement pour augmenter le contraste et, de cette façon, facilite l'œil à résoudre des structures très peu contrastées.

Mais... Au-delà à réduire radicalement la luminosité de l'image, l'éclairage oblique souffre du défaut de présenter une direction préférentielle pour le contraste pour laquelle il peut induire en erreur dans l'interprétation du relief réel de l'objet. En outre, on a l'augmentation de résolution et de contraste seulement pour structures allongées en direction perpendiculaire à l'inclinaison du faisceau éclairant.

Il faut dire aussi qu'un objectif "de phase" produit une « centrique » (voir la note 28 à la page 20), plus grande qu'un objectif correspondant pas de phase, donc une perte de micro-contraste, si il est utilisé en champ clair. La résolution cependant peut améliorer légèrement car le disque centrale ("d'Airy") est plus petit.

Finalement nous rappelons qu'en général avec le terme "résolution" on entend celle dans le plan objet, et elle s'exprime en unités de longueur, d'habitude micron ( $\mu$ , le millième de millimètre). Dans le cas de la prise photographique ou de la télévision ce que nous intéresse par contre

---

<sup>25</sup>. On appelle "planatique" ou "planétique" un système optique affecté par l'aberration sphérique; "aplanatique" ou "aplanétique" un système corrigé.

est la résolution dans le plan de l'image finale, qui doit être exprimée comme "lignes pour mm" pour pouvoir la comparer avec celle de la couche photosensible. Voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 30.9.4 et l'article n° 4: "L'utilité du "Grand Champ" en microscopie", dans ce même site - www.funsci.it (en italien, pour le moment).

De ces textes devrait résulter facile la conclusion que, en photographie et en TV, il convient toujours utiliser des objectifs avec le meilleur champ image et systèmes "projectifs", oculaires et systèmes intermédiaires, avec le plus petit grandissement possible. Le meilleur champ image (image intermédiaire) jamais réalisée en microscopie, est de 32 mm et il était réalisé dans la série "GF" - "250 CF" de Zeiss - Jena, laquelle production a été interrompue après 1990. Aujourd'hui peu de producteurs atteignent 28 mm.

Celui qui exécute des photographies et prises TV au microscope, toujours en cherchant la meilleure résolution dans le plan de l'image finale, doit alors garder à que le système intermédiaire, mis entre objectif et surface sensible (tubes intermédiaires, raccordements, projectifs, oculaires, et semblables) aie le plus petit grandissement possible. Trop souvent, soi-même dans des systèmes photographiques ou de télévision des meilleurs constructeurs, on finit pour utiliser seulement la partie centrale de l'image intermédiaire fournie par l'objectif: il arrive comme si on introduisît un grandissement additionnel et on dépassât le "grandissement utile"; ceci n'altère pas la résolution dans le plan objet, mais baisse celle, exprimée en "lignes par mm", dans l'image finale. Voir aussi l'article n° 13, "Photomicrographie au microscope avec des appareils photographiques digitaux", dans ce site (en italien, pour le moment).

Planéité<sup>26</sup> ou Planarité (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.1.1)

Plus loin nous verrons de quelle façon contrôler et mesurer cette performance, mais entre temps nous précisons que la capacité d'un système optique de fournir une image plane d'un objet plan, objet et image perpendiculaires à l'axe, est utile seulement en photographie, pour "mettre au point" tout le champ, spécialement si l'objet est mince. Dans l'observation visuelle il vaut mieux utiliser la vis micrométrique. De toute façon, ôtons de notre tête le dogme qu'un objectif « plan » soit toujours le meilleur: il est simplement le plus cher.

En effet, les objectifs "à champ aplani" introduits par la maison Zeiss à Jena en 1938 par œuvre de Bögehold, souffrent de beaucoup d'inconvénient à parité d'autres conditions:

-- Grand nombre de lentilles, donc de surfaces réfléchissantes, donc de lumière diffuse. Il en dérive un contraste réduit.

-- Apparition de plus grands résidus d'autres aberrations, en espèce astigmatisme, que le constructeur tend à ignorer pour ne pas compliquer ultérieurement la recette.

-- La partie du champ vraiment aplanie n'est pas toujours de 100%, mais souvent limité à 70-80%. Il y a en effet beaucoup de versions d'objectifs "semi-plan", avec aplanissement réduit.

-- La lentille frontale est souvent concave et pour cela refuge facile pour la poussière. La propreté est difficile. Si en plus un tel objectif va toucher une préparation mouillée d'huile d'immersion, on est obligé de débusquer l'huile de cette concavité (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 16.3 et 16.4).

-- Le prix est nettement plus élevé.

Au moment de l'achat, un contrôle rapide de la planéité peut être effectué avec un faible oculaire, doué d'un fort index de champ, en observant un objet bien plat (frottis de sang ou de bactéries, réseau, etc.).

---

<sup>26</sup> Le terme "planéité" est un mauvais néologisme, mais on ne trouve rien de mieux. Ils existent "Planarité" et "plan", mais il s'agit de termes vagues, utilisé aussi pour les surfaces mécaniques. L'adjectif "planatique" signifie même, étrangement, "présence de sphérique" (« aplanétique » ou « aplanatique » = corrigé de la sphérique). "Planéique" signifie en général "anastigmatique à champ plan", et il n'est pas pour cela un terme spécifique. Un chaos terminologique. Peut-être il vaudrait mieux dire simplement "à champ aplani", ou, plus précisément, "à image plane" ou "aplanie".

Qu'il soit bien clair d'ailleurs que l'aplanissement de l'image n'a rien à faire avec la correction d'autres aberrations, spécialement de celles chromatiques; en autres mots, ils existent achromatiques, apochromatiques, etc. tous « plan » (« plan-achromatiques », « plan-apochromatique », etc.) et les correspondants non plan. D'ailleurs, nombreuses recettes modernes de simples objectifs achromatiques utilisent une lentille frontale « épaisse » (de fort épaisseur - voir la Fig. 34-b, pag. 43) à forme de ménisque, qui permet un aplanissement partiel de l'image: dans ce cas il s'agit en réalité de semi-plan.

Équilibrage (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.1.2)

Étant donnés les ennuis causés par un manque d'équilibrage (nous les avons mentionné au début, en parlant de la longueur optique de l'objectif), il est bien d'effectuer un contrôle avant l'achat.

Il suffit de disposer d'une préparation contrastée et très mince.

Il faut rappeler que l'équilibrage est lié même à la longueur du tube (tubes porte-oculaires, tubes intermédiaires, etc.), au type d'oculaire (position du premier foyer par respect à la saillie), à la régulation des oculaires micrométriques éventuels, à la régulation de la distance interpupillaire (pour les tubes à guides), à l'épaisseur de la lamelle (pour les forts objectifs), etc.

Il faut donc tenir compte de beaucoup de facteurs avant de tirer une conclusion.

On va reparler d'équilibrage et des manières de l'améliorer.

### Problèmes spéciaux

Pour les objectifs de type spécial il faut exécuter des autres contrôles.

Nous avons déjà mentionné le problème du contraste et les facteurs qui le déterminent. On a aussi déclaré que, dans les objectifs pour polarisation et pour épiscopie, le contraste est particulièrement important et sur ça influent les traitements contre les reflets, qu'on peut aisément contrôler (voir la fig. 2 à la pag. 9 - Voir aussi le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 17.1.2, 30.1 et 30.7, ainsi que l'article n° 7: "La mise en œuvre du microscope polarisateur", dans ce même site).

Pour l'utilisation en polarisation, il faut vérifier avec soin le degré d'extinction des filtres polarisants et la formation d'une "croix de Malte" régulière (voir le dernier article cité).

Pour l'usage en fluorescence, il faut chercher les objectifs avec un fort rendement photométrique, donc à grande ouverture, probablement apochromatiques, et avec le plus petit nombre de lentilles, donc pas « plan ».

Pour l'usage en contraste de phase, il faut contrôler l'état de l'anneau de phase en observant la pupille de sortie de l'objectif au moyen de la lentille d'Amici ou du "microscope auxiliaire". On ne doit pas voir d'irrégularités d'aucun type. On rappelle en outre, qu'il existe des objectifs pour contraste positif et négatif et avec l'anneau de phase ayant une différente valeur d'absorption: une telle valeur influe sur le degré de contraste dans l'image finale et sur l'intensité du halo (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 30.4 et l'article n° 25: "La formation du halo dans le contraste de phase" dans le même site - [www.fusci.it](http://www.fusci.it)).

Pour l'usage avec le DIC, qui opère en radiation polarisée, il est bien que les objectifs viennent contrôlés comme ceux pour polarisation.

Spécialement dans le cas de matériel usagé, l'observation de la pupille de sortie révèle aisément ruptures ou décolletages, saleté, dommages provenant de l'humidité, etc. On va en reparler.

### LA VALEUR DU NOM DU PRODUCTEUR

C'est normal de se conformer « par oui-dire » à la notoriété d'un nom ou d'un logo commercial. Mais cela est dangereux.



Il paraît qu'un collaborateur d'Hitler suggérât à son chef d'introduire dans un certain discours une affirmation sans fondement. Hitler aurait objecté: "Mais ils ne nous croiront pas". Et le collaborateur: "Répétez-la un numéro suffisant de fois: ils finiront pour nous croire". La politique et le commerce, on sait, ont quelque chose en commun: l'exigence de convaincre le citoyen ou le client à voter, à croire, à acheter, etc.

L'expérience montre que, aussi pour les maisons les plus connues, les fautes de projet et d'assemblage ne sont pas rares, même en ce qui concerne une pièce à peine sortie d'usine. Les facteurs qui devraient définir l'objectif parfait sont trop nombreux, et quelqu'un va perdu inévitablement, quelque part pendant le processus. En outre, les exigences commerciales peuvent passer au premier plan par respect aux exigences techniques.

Depuis beaucoup d'années, toutes les maisons européennes, même les plus connues, ont ressenti les effets de la concurrence, d'abord du Japon, puis de la Chine, de Formose, Singapour, etc. et, pour soutenir la concurrence, elles ont baissé les frais de production au détriment de la qualité. On pourrait citer une série d'objectifs innovant à prix modéré du plus connu des producteurs européens qui, dans le tour de peu d'années, fut retirée du commerce parce que... les vendeurs même s'étaient rebellés.

Ce n'est pas scandaleux, mais il faut avoir quelque idée claire et de l'expérience pour éviter des mauvaises surprises.

Sans faire de noms, l'expérience permet de citer quelques exemples:

-- séries d'objectives déclarés comme apochromatiques, et tels pour leur ouverture élevée, mais bien pires des correspondants achromatiques, de la même maison, en matière de corrections;

-- série d'objectives déclarés comme semi-apochromatiques, de bonne ouverture, mais avec un résidu de coma digne d'un modeste achromatique ("... du reste, cette aberration se voit seulement à la périphérie du champ: et personne s'en aperçoit ...");

-- objectifs de bonne qualité, mais avec un bas contraste à cause des mauvais traitements antireflets, de mauvaise propriété, de reflets internes sur la monture, etc.;

-- défauts de polissage des surfaces des lentilles par omission de la dernière phase du travail;

-- objectifs nouveaux, avec des gouttes de silicone pour le blocage de la lentille flottante, mais avec une faute évidente de centrage (voir plus loin);

-- d'autres objectifs nouveaux, mais avec quelque lentille opacifiée à cause de l'instabilité chimique de certains verres spéciaux;

-- objectifs vendus comme "Pol", mais confectionnés avec des verres avec des tensions internes, pour cela incapables de donner un degré suffisant d'extinction à Nicol croisés, limitation valable aussi pour le DIC;

-- objectifs pas correspondants à la notation, par ex. objectifs marqués "Ph", mais dépourvus de la bague de phase.

## Les CONDITIONS de PRODUCTION et CONSERVATION

Toujours afin d'exécuter un choix avisé au moment de l'acquisition, il peut être utile de rap-peler quelques phases de la production d'un objectif de microscope.

### Le projet (la "recette")

La disponibilité du calcul optique automatisé et la spécialisation des producteurs de verre optique rendent faciles, de nos jours, le projet d'objectifs "optiquement parfaits" (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 13.3 et 18.3). Mais, à ce moment-la, entrent en jeu les frais de production: en particulier, le prix des verres spéciaux et les salaires des techniciens hautement spécialisés. Donc, souvent, sont acceptés des compromis dont on a fait quelque exemple: corrections modestes, en particulier pour les aberrations extra-axiales, mauvais centrages, utilisation de verres non homogènes ou impropres, passage de pièces imparfaites dans

le “quality control” final, etc.

L’ingénieur est soumis à des fortes pressions, en particulier pour simplifier la recette, même au détriment de la qualité. L’idée de l’entrepreneur est celle-ci: “... tous sont capables de faire des bons produits à des frais élevés: le bon ingénieur est celui qui permet une haute qualité avec les systèmes le plus simples (et plus économiques)”.

À part les frais, en plus, certaines recettes prévoient l’usage de verres ou d’autres matériels spéciaux, qui ne peuvent pas être disponibles au moment de la fabrication.

Entre les facteurs qui influent sur le projet, il y a ceux que nous avons rappelé à propos du contraste: les reflets sur les parois internes des barillets et des montures, ceux qui se présentent sur le reste du statif (tubes porte-oculaires, tubes intermédiaires, prismes, etc.), les reflets sur les lentilles (et leur importance dépend de l’index, du type de traitements antireflets, de la forme des lentilles mêmes, etc.).

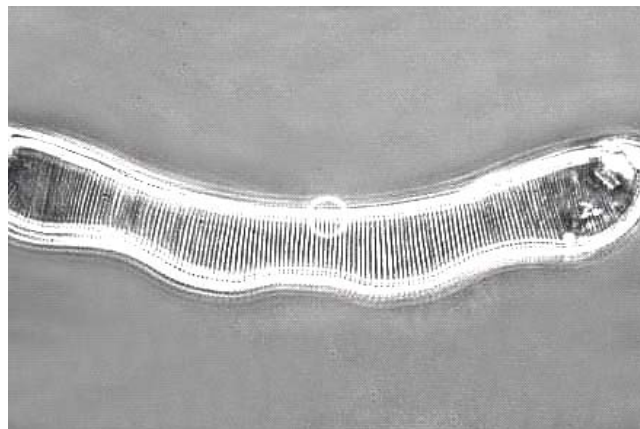
Aussi la prédisposition d’écrans, diaphragmes fixes ou “light baffle”, en différentes positions de l’instrument, non seulement dans l’objectif, vient souvent négligée, comme on a déjà déclaré, et cela laisse libres les parties périphériques du faisceau qui ne concourent pas à la formation de l’image et se traduisent en lumière diffusée.

Si en plus on considère le système optique tout entier, il faut considérer dans le projet aussi l’évaluation des “images catadioptriques” (voir l’article n° 31: « La méthode des “catadioptriques” en microscopie et en optique » dans ce même site), qui produisent des taches claires au centre du champ visuel, de forme en général ronde car il s’agit d’une image rapetissée de la pupille de sortie de l’objectif (Fig. 5).

Fig. 5 - Diatomée *Eunotia* sp. observée en contraste de phase. Étant donné que la pupille de sortie de l’objectif est occupée par une image du diaphragme annulaire présente dans le condensateur, même la catadioptrique apparaît dans ce cas de forme annulaire.

Pour éloigner ces images apocryphes il faut modifier le système optique, ou en remplaçant un composant (objectif, oculaire, tube) ou défocalisant autant que possible quelque système, par ex. le condensateur.

(Wild, obj. 20 acr. Ph + ocul. 12,5 × W)



Tels images peuvent se former à cause de n’importe quel pair de surfaces appartenant à une ou deux de toutes les lentilles et les prismes présents dans le système total.

### L’assemblage

En parlant du démontage, nous examinerons quelques solutions constructives d’usage le plus large, mais l’assemblage d’un objectif suppose une propreté soignée, de toute façon en atmosphère contrôlée, beaucoup de soin dans la disposition des pièces, beaucoup de parcimonie dans le graissage des parties en mouvement (monture télescopique, anneaux de correction, diaphragmes iris) et, dans la majorité des cas, beaucoup de soin dans le centrage de la lentille flottante (voir plus loin, ainsi que le manuel: “Problèmes Techniques de la Microscopie Optique”, Chapp. 13.2.4 et 19.5 2).

Tout cela sera suivi par un contrôle final de qualité, et cela demande du temps et du personnel très expert. Tous facteurs des frais de fabrication.

Les cas cités plus haut, de pièces toutes neuves avec des évidents défauts d’assemblage, montrent que le contrôle final n’était pas parfait et une pièce défectueuse peut toujours arriver au client sans que personne n’ait trouvé l’intérêt et la compétence pour le bloquer.

### Les conditions de conservation

Entre le moment du contrôle final, quand il existe, et la remise au client définitif, plusieurs années peuvent passer, et il n’est pas assuré que les conditions de transport et de magasinage

soient les meilleurs.

L'humidité de l'air peut favoriser la prolifération de "moisissures", champignons microscopiques, en général filamenteux, qui peuvent attaquer la surface des parties métalliques, des surfaces des miroirs et du verre des lentilles et des prismes. Cet effet, nommé parfois "fungus", peut apporter des dommages indélébiles (voir la Fig. 6). Les meilleurs constructeurs fournissent, sur demande, des instruments "climatisés" c'est-à-dire construits avec des soins suffisants à résister aux climats chauds et humides pour un temps illimité.

Fig. 6 - Surface d'un prisme optique soumise à l'effet "fungus" à cause d'une conservation prolongée dans une pièce humide. Parfois, ces attaques ne laissent pas des traces sensibles si la pièce est soumise à un nettoyage soigneux avec une toile imbuée d'alcool dilué; autre fois la trace est indélébile.

Leitz. Tube bioculaire à guides.



Même le simple contact avec l'air provoque avec le temps le dépôt de minces couches uniformes de gouttelettes de goudron et de grains solides (poussières), avec ternissure conséquente des surfaces (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 19.5.1 et 19.6).

Les matériels mêmes utilisés, soit les parois métalliques, soit les peintures, peuvent avec le temps s'altérer et produire des fragments solides très menus qui se détachent et se déposent sur les lentilles. Les peintures mêmes peuvent émettre des composants volatiles qui participent aux ternissures (Fig. 7).

En plus, le phénomène que nous avons appelé "ternissures" est lié à des phénomènes de surface (charges électrostatiques, affinités chimiques avec des substances présentes dans l'air, etc.) à cause desquels il peut arriver que de deux surfaces, à l'intérieur de la même cavité fermée, l'une reste propre pour des années, pendant que celle qui se trouve en face s'embue en peu de mois.

Sans compter la tendance de certains verres spéciaux à s'altérer spontanément avec le temps.

Dans le cas d'objectifs usés, il faut ajouter les conséquences d'un long séjour en atmosphère humide, d'une exposition à des vapeurs corrosives (voir le Fig. 8), etc.



Fig. 7 - À gauche: lentille émergente<sup>27</sup> d'un objectif avec signes évidents de "ternissure". À droite: la même, après un nettoyage énergique. L'observation des ternissures est exécutée avec le microscope stéréoscopique et éclairage coaxial (voir plus loin), et elle exige quelque soin car la couche de matériel étrange est très homogène et ne se fait pas remarquer. Il faut observer ici le rayage intérieur du barillet qui porte la lentille: tels rayages sont utilisés souvent par les constructeurs avisés pour réduire les réflexions sur les surfaces métalliques (objectif Koristka acrom. 100 HI).

Fig. 8 – Lentille frontale d'un objectif épiscopique évidemment corrodé par l'exposition aux vapeurs d'acide nitrique: un réactif souvent utilisé dans la préparation des échantillons métallographiques. L'échantillon n'a pas été nettoyé avant l'observation et il n'a pas été éloigné à la fin.

Un dommage de ce type est irréparable et il se révèle aussi sur les surfaces métalliques qui, même en étant revêtues de chrome, un métal très résistant, cependant ont subi également l'action de l'acide.

(Objectif Wild Epi acrom. 10:1)



## Les CONDITIONS de TRAVAIL

Après avoir examinées les qualités fondamentales à évaluer avant le choix d'un objectif de microscope et après avoir pris conscience des facteurs qui peuvent influencer sur sa production et sa conservation, prenons maintenant conscience des facteurs qui peuvent déterminer ses performances finales, c'est à dire des conditions réelles dans lesquelles l'objectif est fait travailler.

Avant tout, il faut se rappeler que la perception des détails dans une image dépend largement de leur contraste (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 17). On considère normalement que le contraste dans une image, s'il est inférieur à 3 %, rend pratiquement impossible à l'œil humain de percevoir ses détails.<sup>28</sup>

En autres mots, quand on définit ou on mesure la résolution, on suppose que le contraste dans le plan objet et dans le plan image sois toujours égal à 1. Mais, on a vu, nombreuses sont les causes de perte de contraste et elles ne sont pas toujours toutes complètement éliminables. À cause de ça, la meilleure résolution théorique qu'un système optique peut fournir vient toujours réduite dans l'image que l'observateur se trouve concrètement sous les yeux.

C'est-à-dire, si la résolution théorique dépend seulement de l'ouverture de l'objectif, celle pratique peut être réduite en mesure variable par les conditions dans lesquelles l'objectif est fait travailler.

En plus, si l'objet même ne présente pas un contraste = 1 (les spécialistes des Diatomées ou les spécialistes des cellules ou micro-organismes *in vivo* le savent bien) la résolution réelle diminue en proportion.

C'est pour ça qu'ont été introduites les différentes « techniques de contraste » : de la plus simple, comme l'éclairage oblique, à la plus sophistiquée, comme le contraste interférentiel; le contraste de phase est seulement un exemple (voir, dans ce site, l'art. n° 33).

Il faut aussi bien rappeler tout ce qu'a déjà été mentionné plus haut: en contraste de phase, le profil photométrique de la centrique<sup>29</sup> est altéré, avec une légère réduction du rayon du disque

<sup>27</sup> On appelle "émergente" la lentille la plus haute de l'objectif, celle du côté de l'oculaire.

<sup>28</sup> Quand l'image est recueillie par une émulsion photographique ou par un capteur électronique, les choses changent: soit dans le domaine analogique que digital, nombreux sont les moyens pour modifier le contraste.

<sup>29</sup> Nous appelons "centrique" l'"image de diffraction" ou "figure d'Airy". (voir le manuel: Problèmes Techniques de la Microscopie "Optique", Chap. 18.3).

d'Airy mais avec augmentation d'intensité des "anneaux". Il en résulte que, si il est utilisé en champ clair, un objectif pour contraste de phase peut porter une légère augmentation de résolution, mais avec une perte de contraste (voir l'article n° 25: "La formation du halo dans le contraste de phase", dans ce site). Ce léger avantage ne se présente pas en DIC qui cependant jouit de l'avantage de ne pas former les détestables "halos", typiques du contraste de phase.

Nous avons aussi rappelé que l'éclairage oblique peut dans le cas limite doubler la résolution théorique de l'objectif.

Pour revenir aux conditions de travail d'un objectif, nous avons déjà expliqué que, si l'oculaire avec lequel l'objectif est accouplé n'a pas le même degré et la même courbe de CVD, le résultat, au moins aux marges du champ, peut être une mauvaise définition et par conséquent une perte de résolution.

Dans ce contexte, nous répétons encore que les performances nominales de l'objectif peuvent être réduites par tout ce qui le suit (différents types de tube, oculaires, etc., en particulier pour quelques aberrations comme la CVD) et de ce qui le précède (système éclairant) et donc l'image finale donnée par le microscope est un résultat global. C'est-à-dire, si quelque chose ne va pas, avant de dénoncer l'objectif, il faut chercher ses complices.

Le premier suspect est, très souvent, le système éclairant (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 8, 21, 22 et 32.8). Nous résumons ici quelques cas possibles en ordre décroissant de fréquence.

#### Erreurs d'utilisation

-- Condensateur mal focalisé, en général trop baissé, dans le but discutable d'augmenter le contraste ou réduire la luminosité. Effet: perte d'ouverture utile et par suite de résolution.

-- Diaphragme d'ouverture trop fermé, avec le même but et avec les mêmes résultats.

-- Diaphragmes d'ouverture ou de champ trop ouverts, avec perte de contraste.

-- Quelque erreur de centrage:

du filament; son image est décentrée par respect à la pupille du condensateur;

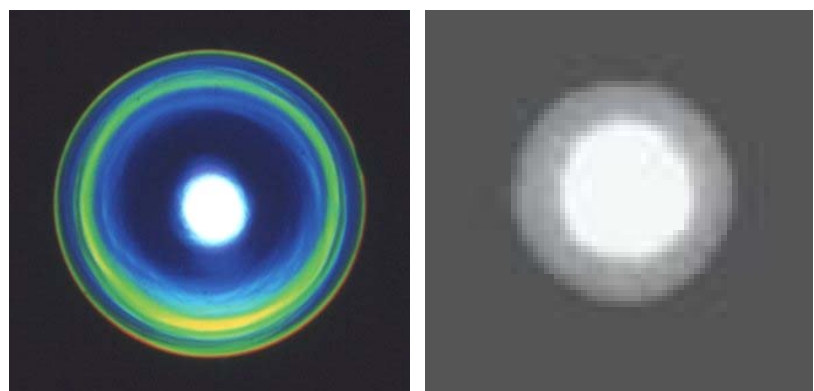
de quelque miroir ou "lentille à grand champ" interposé, avec effets analogues;

du condensateur: son faisceau émergent "remplie" seulement une partie de la pupille de sortie de l'objectif.

Dans ces derniers cas, erreurs de centrage, se réalise une espèce d'éclairage oblique, avec des résultats imprévisibles et de toute façon lié à la structure de l'objet.

En principe, alors, il reste toujours préférable une réalisation correcte du schéma de Köhler (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 8.8 et 8.9).

Fig. 9 - La pupille de sortie d'un objectif devrait être toujours "remplie" par le faisceau éclairant fourni par le condensateur. Mais les normaux condensateurs sont peu corrigés, soit pour la sphérique que pour la chromatique. Le résultat est une pupille éclairée par "zones" concentriques intercalées à une ou plusieurs zones obscures ou colorées.



Dans la photo à gauche est éclairée la zone centrale (les rayons paraxiales) + une zone périphérique (rayons marginaux), mais on a souvent seulement une zone centrale plus ou moins grande. Dans la photo à droite, il arrive précisément ça, et le tout équivaut à une perte d'ouverture utile du condensateur. (Condensateur d'Abbe).

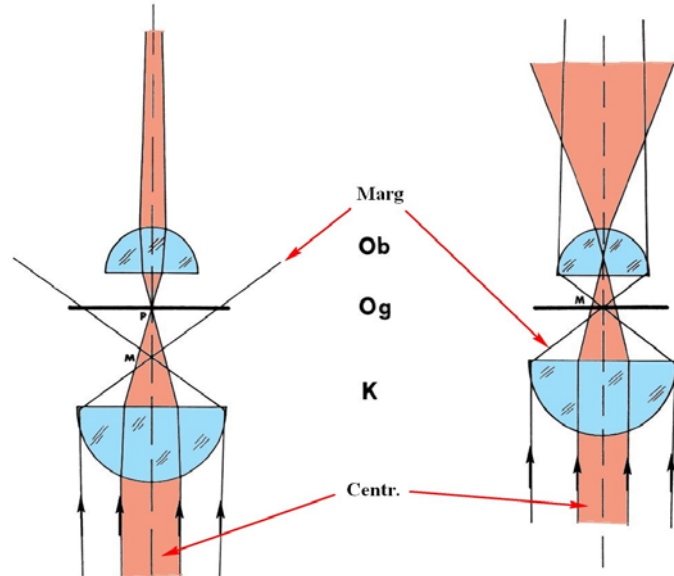
## Erreurs du projet

•• Condensateur normal, du type “d’Abbe” ou semblables, affecté d’une forte aberration sphérique (voir le manuel: “Problèmes Techniques de la Microscopie Optique”, Chap. 21.7). Même si l’ouverture des faisceaux marginaux émergents du condensateur est élevée, eux ou les intermédiaires peuvent se concentrer en dehors du cône d’ouverture utile de l’objectif et aller perdus. Tout équivaut à une perte d’ouverture utile du condensateur. Voir les figg. 9 et 10.

Fig. 10 - Dans un système convergent comme un condensateur, s’il est affecté par l’aberration sphérique sous-corrigée (K), les rayons périphériques (**Marg.**) se rencontrent dans un foyer plus rapproché (M) que celui (P) des rayons centraux ou paraxiales (**Centr.**). Le faisceau paraxial est colorié en rose.

Si le condensateur est focalisé trop en bas (à gauche) les rayons marginaux vont perdus; la même chose arrive pour les rayons centraux si le condensateur est focalisé plus haut. (à droite).

On n’arrive jamais à épuiser toute l’ouverture du condensateur.



Même dans des instruments de bonne qualité, ce défaut est très fréquent et il réduit les performances de l’objectif, tant plus s’il est plus fort. C’est seulement un problème de coûts de production.

On peut remédier en partie en ouvrant en excès le diaphragme de champ, mais ceci porte quelque perte de contraste. Heureux qui peut se permettre un condensateur aplanétique.

•• L’image du filament (ou du corps lumineux en général, attendu que sont en train de se répandre les LED à forte puissance) est trop petite par respect à la pupille d’entrée du condensateur, en pratique au diamètre maximum du diaphragme d’ouverture. Un autre défaut très fréquent qui comporte encore une perte de l’ouverture utile du condensateur.

Le praticien peut intervenir, en partie, seulement dans le cas où la lampe soit indépendante du statif et puisse être éloignée: de cette manière on augmente l’agrandissement du collecteur et par suite les dimensions de l’image du filament.

•• Dans des cas extrêmes, mais pas rares, le dessin du système éclairant entier n’est pas correct, et l’éclairage de Köhler n’est pas possible. Ceci est dû souvent à des raisons de hâte dans le projet, aux tentatives de réduction des coûts ou à l’assemblage de composants de provenance différente pas géométriquement compatibles. Est fréquente une distance insuffisante entre micro-lampe et condensateur (la lampe est logée dans le pied, tout de suite au dessous du condensateur même, de façon à éliminer les miroirs interposés). Dans ces cas, si on cherche à focaliser le diaphragme de champ, on est contraint à baisser beaucoup le condensateur, avec toutes les pertes d’ouverture utile que nous connaissons déjà et avec le risque que l’image des diaphragmes annulaires du contraste de phase ne recouvre pas bien l’anneau de phase de l’objectif.

Autres conditions de travail nuisible sont évidentes: éclairage excessif ou insuffisant; température de couleur erronée dans la source (ampoules à incandescence à voltage insuffisant, filtres mal à propos, etc.; attention aux LED: leur température de couleur est très variable et leur spectre n’est pas continu); usage excessif de filtres diffuseurs avec perte de contraste; imperfections ou saleté en différentes positions (spécialement sur la surface supérieure de la préparation et sur la lentille frontale de l’objectif).

Dans certains cas, la longueur du tube peut changer, ou par l’introduction de tubes intermédiaires pas bien dessinés, ou par une variation de la distance interpupillaire (dans les tubes biocu-

lares à guides), ou par l'usage d'oculaires avec une position pas standard du premier foyer, ou par d'autres erreurs. Dans ces cas, avec les forts objectifs, on peut altérer la correction de la sphérique; avec les objectifs faibles on perd l'équilibrage.

### Les CONTRÔLES DÉFINITIFS

(voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 32.6)

Nous avons indiqué quelque critère utile pour diriger le choix de l'objectif avant de l'adresser à un emploi spécial.

Nous avons examiné quelques facteurs de projet, de construction, de magasinage et d'utilisation qui peuvent endommager les performances idéales de l'objectif.

Maintenant, après achat, nous tâchons d'identifier les critères pour un contrôle détaillé de ses performances et, où possible, pour la correction de quelques défauts éventuels.

L'ÉQUILIBRAGE (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.1.2)

C'est bien connu combien il soit dangereux de perdre la mise à point quand on change les objectifs, surtout les forts. Nous en avons déjà parlé.

Le contrôle de l'équilibrage s'exécute en observant avec tous les objectifs de équipement une préparation mince (frottis de sang ou bactéries, encore mieux un "réseau" dont bientôt nous parlerons). Au moyen de la graduation de la vis micrométrique, il est possible de mesurer la distance, en direction axiale, entre les différentes positions de meilleure focalisation pour les différents objectifs. Mais le critère plus pratique est suffisant et il est très simple: quand on change d'objectif, il doit être possible de reconnaître encore la structure de l'objet de manière que, au moindre mouvement de la micrométrique, on comprend tout de suite de quel côté il faut aller pour améliorer la mise à point. Si on ne voit rien, on focalise au hasard: dangereux.

Si l'équilibrage est insuffisant, avant de procéder à une correction, il faut rappeler ces éléments:

-- l'équilibrage est très sensible à la longueur du tube; ça suffit une différence dans l'hauteur du premier foyer entre deux oculaires différents, encore du même constructeur, ou la régulation de la distance pupillaire dans un tube bioculaire (pas du type Siedentopf ou de toute façon pas avec quelque type de correction<sup>30</sup>), ou l'introduction ou l'élimination d'un tube intermédiaire, pour que tout s'aggrave. Vérifier la présence de ces cas en changeant oculaire ou tube ou en changeant la distance pupillaire. Même la régulation en hauteur des tubes porte-oculaires (ceux qui servent à la correction des anisométries) rentre dans ce groupe de causes;

-- parfois, le défaut d'équilibrage ne dépend pas des objectifs mais des trous du revolver qui ne sont pas tous à la même hauteur; on le vérifie en déplaçant les objectifs d'un trou à l'autre;

-- dans des rares cas, une aggravation dans l'équilibrage dépend de l'insertion d'organes intermédiaires (filtres, prismes, compensateurs, etc.).

Après avoir vérifié ces possibilités et ces régulations, si on conclue que c'est la faute des objectifs, cherchez la meilleure mise à point avec l'objectif le plus faible et tâchez d'adapter les plus forts sur lui: il convient prendre comme référence le plus faible car une correction sur lui impliquerait une plus grande variation des distances (leur longueur focale est plus grande).

Voilà les différents cas.

-- L'idéal est posséder un objectif qui renferme à son intérieur un mécanisme de régulation

---

<sup>30</sup> Certains tubes à double guide ne provoquent pas de variation de la longueur du tube car ils possèdent un mécanisme interne de compensation, mécanique (Leitz, Bausch & Lomb, etc.) ou optique (Wild).

de la longueur mécanique  $Lo$ <sup>31</sup>. (Fig. 11). Mais les constructeurs qui adoptent ces astuces sont bien rares, même s'il s'agit d'une chose très simple.

Fig. 11 - Dans cet objectif, le barillet interne (Bi), qui porte le paquet des lentilles, glisse à l'intérieur de la monture générale, en noir, pour assurer le mouvement normal "à pompe" ou "télescopique". La limite de ce mouvement est donnée par la tête de la vis V qui glisse dans une fente tirée dans la monture; mais la vis V, vissée sur Bi (poussés les deux vers l'extérieur par un ressort interne) s'arrête sur une bague (AP) qui se visse sur la monture générale. En tournant AP on varie donc l'extrémité du mouvement de V et pour cela de Bi. On règle ainsi la longueur de l'objectif ( $Lo$ ) et se perfectionne l'équilibrage.

(Euromex acrom. 20 LWD)

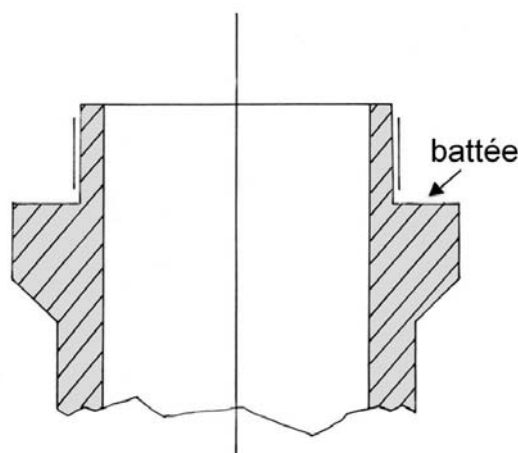


Si cet espoir faillit, il faut modifier l'objectif.

-- Dans le cas où l'objectif soit trop court (pour focaliser il faut le rapprocher de l'objet) le système le plus simple est de mesurer "combien lui manque": avec la micrométrie on mesure la distance de mise au point entre lui et l'objectif le plus faible, pris comme référence. Puis on cherche une feuille (plastique, aluminium, papier, etc.), ayant exactement cette épaisseur. Avec un "emporte-pièce" de 25 mm de diamètre on en tire un disque et on perce ce dernier au centre avec un autre emporte-pièce de 20 mm, de façon à obtenir une bague. On introduit la bague sur la battée de l'objectif de façon à empêcher qu'il vienne se visser au fond dans le trou du revolver.

Encore plus simple est de découper de la feuille sus dite trois petits bouts d'environ  $2 \times 3$  mm et de les coller sur la battée de l'objectif (Fig. 12) à  $120^\circ$  l'un de l'autre, c'est à dire aux sommets d'un triangle équilatéral: Ces trois bouts ont la même fonction de la bague, mais il faut les coller sur la battée pour éviter qu'ils se déplacent ou tombent: avec un seul ou deux d'eux, l'objectif serait porté à s'incliner dès qu'on le visse à fond.

Fig. 12 – Section partielle de la partie supérieure d'un objectif; on voit la surface d'appui (« battée ») destinée à s'appuyer sur les bords des trous du revolver.



-- Toujours si l'objectif est "court" on peut modifier la fin-course inférieure du mouvement télescopique éventuel (Fig. 13). Il s'agit ici d'enlever une petite épaisseur d'une des deux surfaces qui se touchent pendant que le ressort pousse vers le bas le barillet général (Bg en Fig. 13). Telles surfaces sont tirées l'une du bord rentrant de la monture générale (O, au bout inférieur de Mg) et l'autre de la battée inférieure du barillet général (B).

Tourner la surface interne du bord en relief O demande un outil bien façonné et beaucoup de délicatesse. Il est mieux de tourner la battée extérieure B du barillet Bg. À ce but, il faut serrer avec beaucoup de délicatesse le barillet même entre les mâchoires du mandrin du tour et travailler avec l'"arête tranchante" d'un outil normal (S en Fig. 14).

Le barillet BG doit être serré le moins possible<sup>32</sup> par un bout dans le mandrin et, pour en as-

<sup>31</sup> Voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.1.2.

<sup>32</sup> "Le moins possible" car le barillet général **Bg** vient au contact avec la surface interne de la monture générale **Mg** en correspondance de deux côtes en relief (S, en fig. 13); la tolérance de cet accouplement est de l'ordre d'un ou peu de centièmes et la moindre déformation des surfaces S bloquerait le mouvement télescopique. Dans ce sens, il est bien que le paquet des lentilles reste dans le barillet général, de façon à en augmenter la rigidité.



surer le centrage, on glisse l'autre bout dans une contre-pointe (CP en Fig. 14) tiré d'un cylindre d'aluminium ou de résine synthétique du diamètre de 10 - 15 mm. Pour que le barillet frontal de l'objectif soit atteint seulement sur le bord, cette contre-pointe doit être creusée avec un foret du même diamètre de la contre-pointe même (Fig. 14, à droite, CP). Après le centrage de l'objectif, la contre-pointe sera retirée un peu, de façon à réduire le frottement avec la pointe de l'objectif. Une goutte d'huile ou de graisse améliorera les choses.

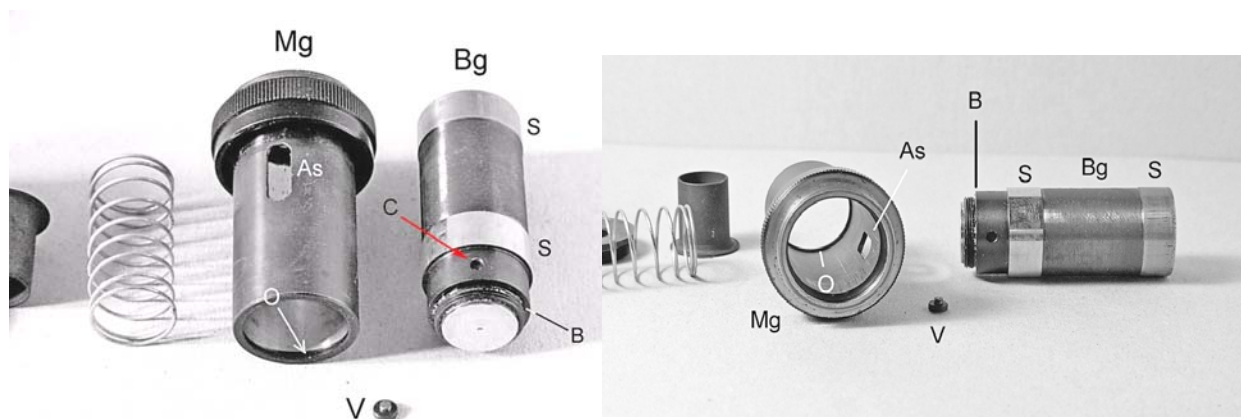


Fig. 13a/b - Ce sont les deux surfaces (O et B) que, en venant au contact, déterminent la fin-course inférieure du mouvement télescopique de l'objectif, et par suite sa longueur mécanique. Le ressort à gauche pousse le barillet général Bg vers le bas de la monture générale Mg. Visible, au bout inférieur de Bg, un des trous de centrage (C). La vis V, que se visse d'un côté sur le barillet Bg, glisse dans la fente As pendant le mouvement télescopique (Objectif Zeiss Jena acrom. 100 HI).

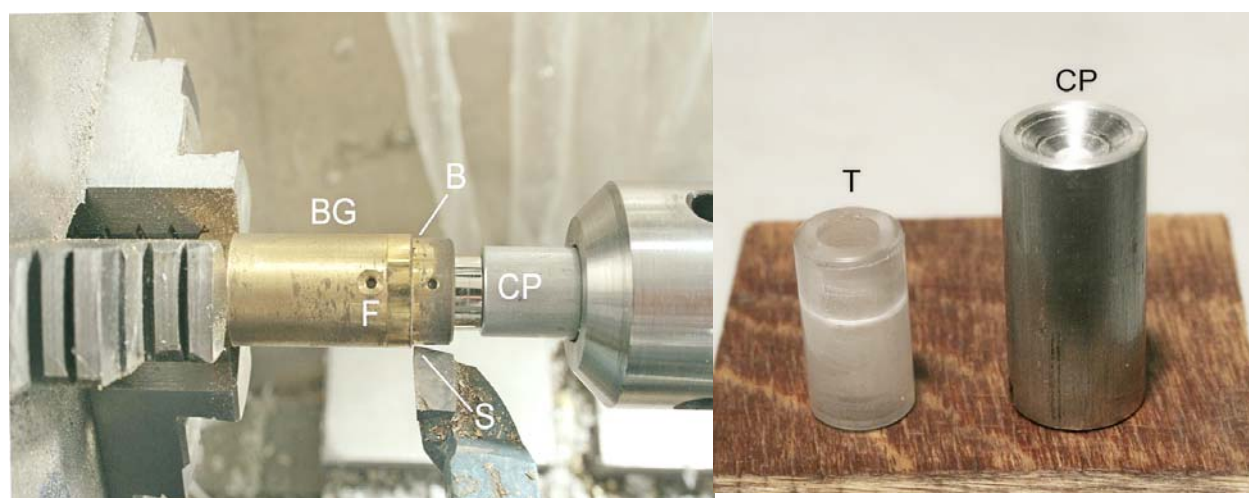


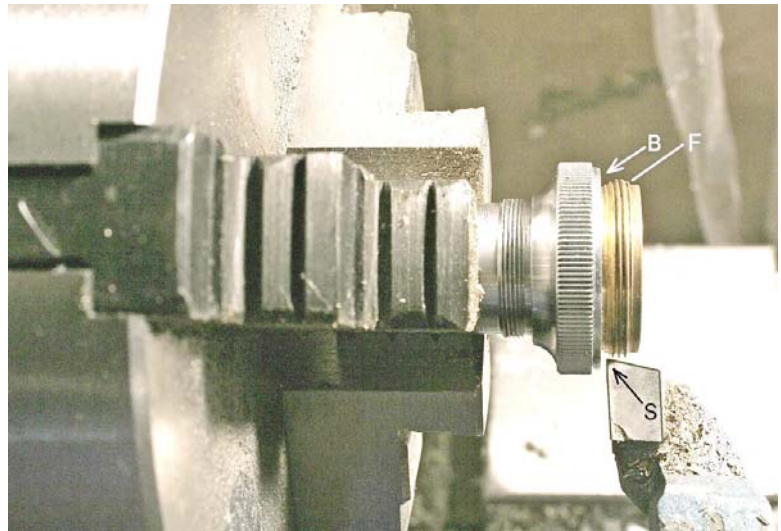
Fig. 14a/b - Traitement de la battée (B) du barillet général d'un objectif. Le barillet BG est tenu centré par la contre-pointe creuse CP. Le trou F est destiné à accueillir la vis V de l'illustration précédente.

-- Quand l'objectif est par contre "trop long" (il faut l'éloigner de l'objet pour bien focaliser par respect à l'objectif le plus faible) il convient tourner la battée d'appui de l'objectif même (fig. 12), en serrant l'objectif dans le mandrin (fig. 15).

Cette opération, cependant, est correcte seulement dans le cas où la surface extérieure de l'objectif, peut-être après avoir enlevé la chemise<sup>33</sup>, soit exactement cylindrique. En cas contraire, il faudra réaliser un support capable de rendre l'axe de l'objectif coïncident avec celui du mandrin.

<sup>33</sup> Le terme "chemise" est expliqué à la pag. 46: "mince tube que habille le barillet général ou la monture, cache quelques parties internes comme les trous de centrage, et porte les notations".

Fig. 15 - Réduction de la battée de l'objectif (B) afin de diminuer sa longueur mécanique. L'arête tranchante de l'outil (S) a dû être modifiée de façon à ne pas toucher le filet de fixation (F).



Dans des cas spéciaux, il est encore possible d'exploiter le mouvement télescopique, s'il est présent: les surfaces O et B de la fig. 13 peuvent être éloigné entre eux de façon à raccourcir le fin-course inférieur. On fait le contraire du cas précédent: on ne tire pas du matériel de la battée B, mais on l'élève en y collant des petits bouts minuscules de papier ou de feuilles minces, par ex. les feuilles d'aluminium pour aliments ou petits bouts de fils minces, même cheveux. Pour ne pas procéder au hasard, on mesure l'épaisseur nécessaire au moyen de la vis micrométrique, et on trouve l'épaisseur correcte de la feuille ou du fil avec un "Palmer" (micromètre centésimal à mâchoires).

Dans les objectifs anciens sans monture « télescopique », du type des figg. 41 – 43 (pagg. 46-48), dans lesquels tout le paquet des différents barillets est emboîté à l'intérieur d'un barillet général et serré par le haut par une bague à vis, on peut essayer une correction en desserrant le filet de serrage et en insérant des petites épaisseurs sous le paquet des barillets, sur le bord du barillet frontal.

## LES ABERRATIONS (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13)

Nous avons déjà parlé de l'importance de l'aberration chromatique latérale, CVD, et de sa "compensation". Nous avons expliqué les termes "sur l'axe", "hors l'axe" (notes 5 et 6, pag. 3), "champ" (pag. 3), "correction" (note 1, pag. 2), etc.

Maintenant, avec l'objectif en main, nous chercherons d'illustrer comme se présentent les différentes aberrations et comme on peut, parfois, y mettre quelque remède.

Les instruments principaux pour cette analyse sont un **réseau** avec un pas de 20 - 50  $\mu$  (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. "17.2, 19.5.4 et 31.2.9) et le "**star test**" (voir le même manuel, Chap. 13.2.5, 18.4 et 31.2.9 et les articles. n° 11 et 21). Ces deux "préparations-test" ne sont pas aisément trouvables en commerce; pour des renseignements, s'adresser à l'auteur de ce texte.<sup>34</sup>, qui est en train d'étudier ce problème.

Le réseau peut être observé avec l'éclairage normal de façon à mettre l'œil dans les meilleures conditions d'observation.

Pour le star test il faut par contre la plus grande intensité d'éclairage: lampe alimentée à la limite supérieure, condensateur à forte ouverture, bien focalisé, avec le diaphragme d'ouverture complètement ouvert; diaphragme de champ ouvert, absence de n'importe quel type de filtre. Il faut contrôler aussi que tout le système éclairant soit bien centré selon les règles habituelles.

<sup>34</sup>. Les adresses sont écrites à la fin de l'article.

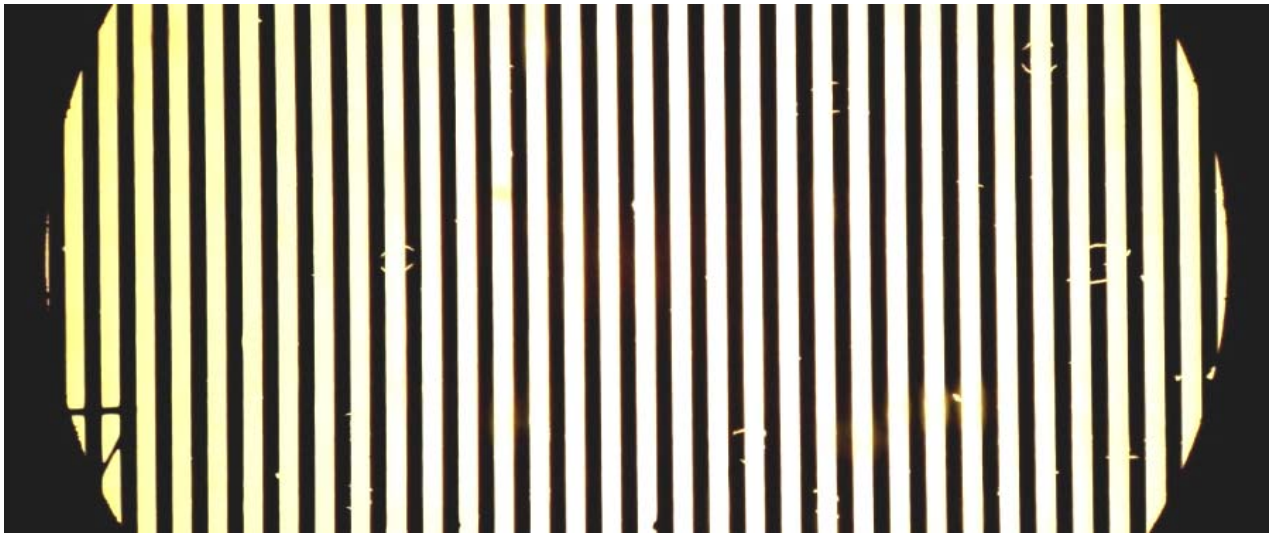


Fig. 16 - Comme doit apparaître le “réseau” à travers un système objectif + oculaire bien corrigé de CVD. (Objectif Koristka acrom. 12 + oculaire Zeiss Jena P 10× acrom.).

Nous commençons avec la

### **Aberration chromatique latérale ou CVD**

Il faut un réseau ou quelqu'un des succédanés décrits dans le “Manuel” susdit, surtout au Chap. 19.5.4. Nous supposons pour le moment que les autres aberrations soient raisonnablement corrigées.

On met au point le réseau avec l'objectif en examen; cherchez la meilleure focalisation sur tout le champ et ne la déplacez plus. Ayez soin de réaliser un bon éclairage selon le schéma de Köhler. Le diaphragme d'ouverture peut être fermé un peu en excès car la CVD ne dépend pas de l'ouverture.

Un objectif bien corrigé et jumelé avec l'oculaire plus convenable, en excluant aucune contribution due au tube et aux autres moyens interposés, doit fournir une image comme celle de la Fig. 16, complètement “color free” sur tout le champ; aucun bordage coloré des deux côtés des lignes du réseau, jusqu'aux bords du champ. Il faut bien observer les bords des lignes tangentes à la périphérie du champ: c'est là que se révèle la “différence chromatique d'agrandissement” ou CVD.

Maintenant on observe la Fig. 17, ici à côté.

Les marges extérieures des lignes claires du réseau, dans le passage lumière-sombre, montrent un bord bleu (coté droit de la photo): signe que l'agrandissement pour les longueurs d'onde plus petites (région du bleu) est plus grand (les lignes claires débordent sur les noires plus dans le bleu que dans le rouge).

(Objectif Leitz 10 semiapocrom. + oculaire Zeiss Jena P 10 ×, achromatique.)



La CVD est ici souscorrigée: l'objectif est un semi apochromatique classique qui agrandit plus dans le bleu que dans le rouge; sa CVD n'est pas bien corrigée. L'oculaire est achromatique et ne porte donc aucune compensation.

Et maintenant comparons-nous avec la

Fig. 18, à coté.

Les marges des lignes ont encore nuances de bleu et rouge, mais en ordre inverse par respect au cas précédent. L'agrandissement est plus grand dans le rouge: les lignes claires débordent vers l'extérieur plus dans le rouge que dans le bleu.

L'oculaire est un fort compensateur (Lomo 10 ×), la marge du champ visuel est bordée de rouge. (Objectif Korriska acrom. 12).

La CVD est ici sur-corrigée, car l'objectif, un faible achromatique, que de soi même est corrigé de CVD, a été accouplé avec un oculaire compensateur fort qui corrige une CVD inexistante et donc "sur-corrige".

Quand il se présente un cas comme ceux de la Fig. 17 ou 18, le remède consiste à chercher l'oculaire convenable, compte tenu aussi d'autres parties optiques interposées entre objectif et oculaire. Voilà pourquoi, plus en haut, nous avons conseillé de se procurer la plus grande gamme possible d'oculaires, même de constructeurs différents, car le manque de "syntonie" entre objectif et oculaire se vérifie aussi entre produits de la même maison, surtout s'ils sont produits dans des années différentes.

### Aberration chromatique longitudinale ou axiale

Cette aberration se présente sur tout le champ et se reconnaît quand naissent des nuances colorées dans les lignes du réseau, de couleur complémentaire au changer de la focalisation. Pour éviter de la confondre avec la CVD, il faut la chercher bien au centre du champ, où la CVD est absente.

Dans les systèmes modernes, la chromatique longitudinale est en train de devenir de plus en plus corrigée et elle est rarement nuisible. Elle était visible dans les achromatiques de Zeiss Jena produit dans la série "Mikroval", avant 1980 environ et dans d'autres systèmes "classiques."

Dans les meilleurs systèmes, cependant, dans les conditions de meilleur focalisation, les bordures colorées deviennent imperceptibles, et elles apparaissent seulement, à peine, en changeant la mise au point un peu au dessus et un peu au dessous le meilleur compromis. Voir les illustrations suivantes.

Fig. 19 - Effet de la chromatique longitudinale sous-corrigée: avec focalisation "courte". Si la mise au point a été exécutée pour la "région du bleu", l'image apparaît défocalisée dans le rouge qui donc se superpose à l'image créée par les autres longueurs d'onde. L'image globale semble donc voilée de rouge.

(Objectif Zeiss Jena 12,5 acrom. Epi)

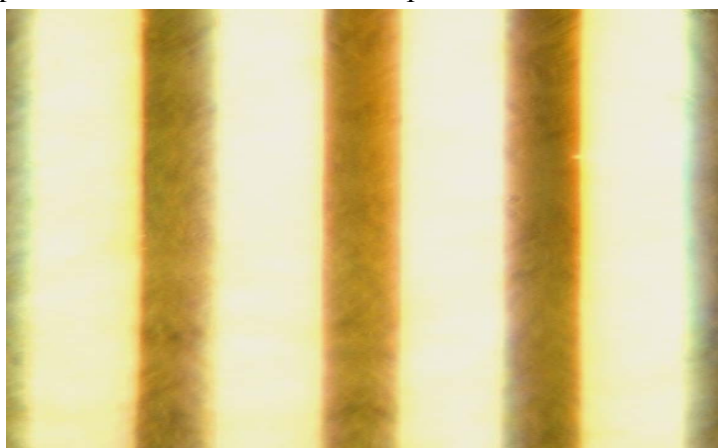
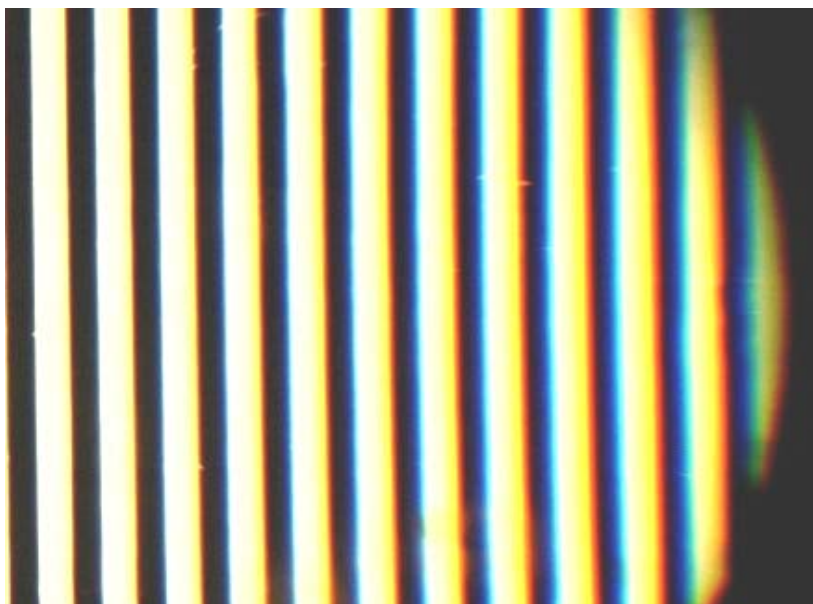


Fig. 20 – Légère défocalisation, mais de signe opposé à celle de la fig. 19. La mise au point a été optimisée dans la “région du rouge” et il reste donc un voile bleu.

La chromatique longitudinale est sous-corrigée et une légère faute de focalisation crée une espèce de “dominante de couleur”.

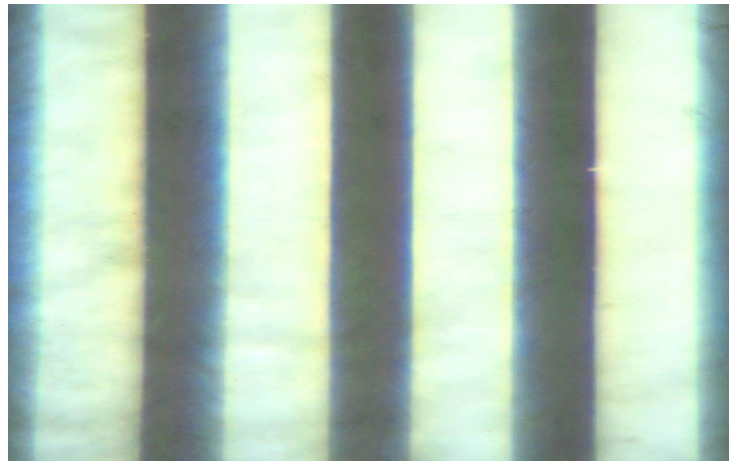


Fig. 20 - Même situation, mais en conditions du meilleur compromis de focalisation: l'image peut apparaître relativement achromatique.

On doit remarquer cependant que les dernières trois photographies ont été très agrandies au but de mettre mieux en évidence l'aberration: en conditions normales, l'effet est bien peu percevable.



Dans les trois photos précédentes, est présenté un cas limite. D'habitude, un résidu de chromatique longitudinale apparaît comme des légers bordages verts (en s'éloignant d'un côté de la position de meilleure mise au point), et violets, de l'autre côté.

Pour cette aberration le praticien n'a pas de remède et aucun oculaires est capables de compensation: tous les oculaires en commerce sont raisonnablement corrigés pour la chromatique longitudinale.

### **Sphérique** (voir le manuel: “Problèmes Techniques de la Microscopie Optique”, Chap. 13.2.3)

Cette aberration a un rôle fondamental pour déterminer la valeur maxima de la définition et de la résolution; son importance s'agrandit (dans une lentille non corrigé) avec la troisième puissance de l'ouverture. Voilà parce que les objectifs forts sont toujours dans le guidon du praticien pointilleux. Et on fasse attention: un bordage coloré dû à une aberration chromatique peut être aisément révélé dans l'image d'un objet bien contrasté, mais un halo de sphérique est dépourvu de couleurs et seulement beaucoup d'exercice permet de percevoir la perte de définition.

Nous supposons de connaître déjà le mécanisme de la sphérique et les possibilités d'intervention. Est-ce que nous voulons les résumer?

-- Changer l'épaisseur du couvre-objet n'est pas possible, évidemment dans une préparation déjà confectionnée.

-- Les objectifs “à correction” portent une bague graduée qui permet d'adapter l'objectif à différents épaisseurs de lamelle dans une gamme que va d'un minimum (0,11 - 0,22 mm) à un maximum (certains types modernes, très chers: 0 - 2 mm). Si l'épaisseur de la lamelle est donnée, cette bague permet d'introduire un résidu de sphérique de signe et valeur variable, de façon à compenser un éventuel résidu de l'objectif.

-- Changer la longueur du tube. C'est facile dans certains vieux statifs à tube télescopique; souvent c'est possible simplement en changeant la distance pupillaire des tubes binoculaires à double guide ou bien l'hauteur de l'oculaire. Éventuellement, la longueur du tube peut être augmentée avec quelques raccords pour objectifs. Même dans ce cas, la variation de la longueur du tube peut compenser le résidu de sphérique de l'objectif.

-- Changer l'index de l'éventuel liquide d'immersion. Même ça n'est pas facile car les liquides en commerce ont souvent un index proche de 1,51. Liquides à fort index sont utilisés souvent par les diatomistes pour des raisons de contraste. À index plus petit sont l'huile de vaseline et la glycérine. Malheureusement, ces liquides peuvent rarement être mélangés entre eux et ne permettent donc pas de réaliser des mélanges à proportion variable capable de "moduler" le résidu de sphérique.

-- Quand on a à faire avec des objectifs "wasser", à immersion à l'eau, il est possible de réaliser des mélanges avec la glycérine (pourvu que cela soit toléré par l'objet). Plus simple c'est le cas des (rares) objectifs à l'eau prévues pour travailler avec une lamelle normale; ils sont reconnaissables par la notation "W" et "0,17"; dans ces cas, le liquide dans lequel les objets sont suspendus est séparé à cause de la lamelle du liquide d'immersion et sur ce dernier on a la complète liberté d'intervention.

Le contrôle et l'évaluation de la sphérique est presque impossible avec une préparation normale. Seulement une grande expérience peut donner quelque indication pendant qu'on observe des objets très petits et très foncés sur fond clair (par ex., encre de Chine très diluée dans l'eau) ou objets clairs sur fond sombre (détrempe blanche diluée, mais très diluée, observée en fond noir). On devra vérifier si les effets de la défocalisation sont ou ne sont pas les mêmes quand on défocalise de la même mesure dans les deux sens. Une parfaite symétrie exclue la sphérique.

Le moyen d'élection et le plus facile à utiliser est par contre le "star test".

Nous tenons pour sûre la connaissance de la structure idéale de la "centrique" (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chapp. 18.3 et 18.4 et les articles n° 11 - pagg. 6 et suiv. - et n° 21 - pagg. 4 et suiv.). Nous rappelons aussi que la sphérique doit être observée "en axe"; loin de l'axe sur elles se superposeraient tous les résidus des aberrations extra-axiales qui pourraient la cacher.

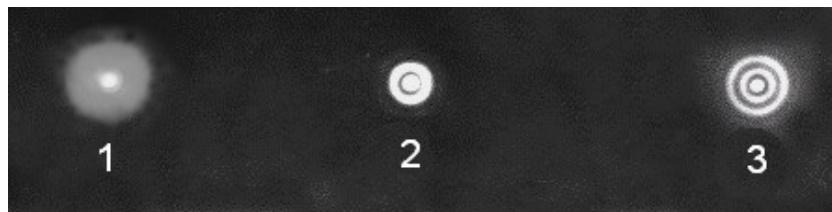
Nous savons déjà des textes cités que la sphérique se révèle par le fait que la centrique apparaît avec différent aspect ("image nuancée" et "image aux anneaux"), en partant de la position de meilleure focalisation et en s'éloignant de la même mesure d'un côté ou de l'autre (voir la fig. 21). Cette "même mesure" s'assure en mesurant le déplacement de la vis micrométrique, comme il résulte de la graduation présente sur au moins un des boutons.

L'image "aux anneaux", s'il n'y a pas d'autres aberrations ou pertes de contraste que l'altèrent, apparaît comme on voit dans l'image 21 à droite (3): anneaux plus intenses et plus nombreux que d'habitude, disque central ("d'Airy") plus petit que d'habitude et peut-être "inversé", sombre, selon la mise au point.

L'image "nuancée" (à gauche, 1 en Fig. 21) apparaît par contre très nuancée, sans frontières nettes, au maximum avec une petite zone centrale plus claire.

Quelque exemple réaliste dans les figures suivantes.

Fig. 21 - Comme la centrique apparaît en présence de la seule aberration sphérique, au dessus ou au dessous (à droite et à gauche de l'image), ou dans la position de la meilleure focalisation (au centre).



Le signe de la sphérique est donné par la règle empirique: "Si l'image "aux anneaux" se présente quand l'objectif se rapproche de l'objet ("focalisation courte"), la sphérique est sous-correctée, et ceci dépend d'une lamelle trop mince, d'une longueur du tube insuffisante ou d'un index insuffisant du liquide d'immersion éventuel. L'image aux anneaux avec la "focalisation longue", quand l'objectif s'éloigne de l'objet, signifie qu'il y a un résidu de sphérique sur-correctée que dépend de causes opposées à celles à peine citées.

Maintenant nous présentons quelques séries d'images, chaque série contenant de deux à cinq photos prises en différentes positions de focalisation, avec recouvrement, en certains cas, d'autres aberrations, qui seront commentées à chaque fois (et qui seront examinées plus loin).

Il s'agit d'images réelles, que chacun peut observer avec quelque soin dans des objectifs particuliers.

Fig. 22 - Un groupe de centriques correspondantes à d'autant petits trous du star test, de différent diamètre, mais tous plus petits de la centrique idéale.<sup>35</sup> ..

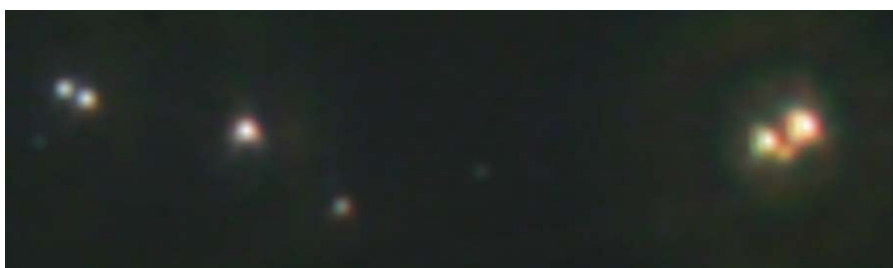
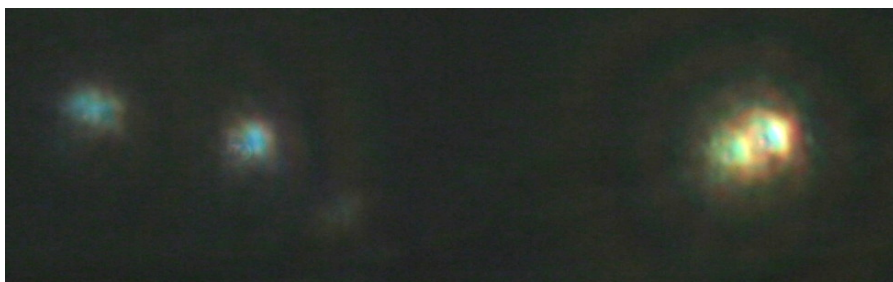
La position de la focalisation est différente pour chacune des photos, en passant graduellement d'une "image nuancée" typique, en haut, à une "image aux anneaux", en bas. Ces différences dans l'aspect de la centrique aux changements de la focalisation sont l'index sûr d'un fort résidu de sphérique dans l'objectif en examen.

Ici ne sont pas présents des résidus appréciables d'autres aberrations.

L'image centrale, correspondante à la position de meilleur focalisation, fait voir une centrique qui semble normal, mais en réalité elle est plus grande de ce qu'on aurait en absence de sphérique et les anneaux sont plus intenses.

L'image aux anneaux, en certaines positions de focalisation, montre un disque d'Airy plus petit du normal, qui peut aussi "s'inverser", c'est à dire devenir sombre.

(Objectif Koristka 8\*  
[64 ×] semiapocrom. + oculaire Leitz 8)



On se souvienne que la centrique, avec un oculaire normal, apparaît très petite et donc les photos ont été recoupées d'une très petite partie du champ visuel. Une photo à tout champ montrerait seulement des points clairs peu significatifs.

<sup>35</sup> Cette affirmation se base sur le fait que, dans notre exemple, la structure des différentes centriques est la même, indépendamment de leur luminosité.

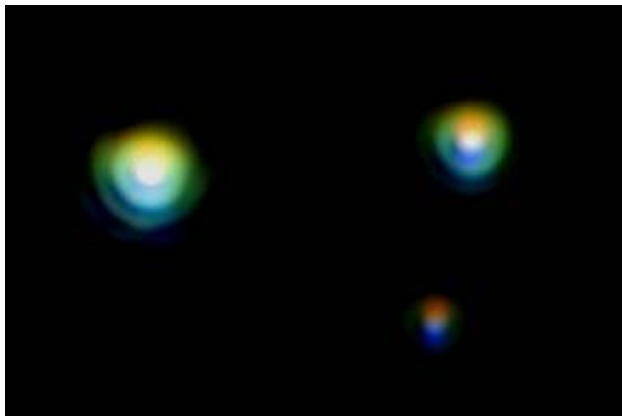
Fig. 23 – D’autres petits trous du star test avec les centrées correspondantes. L’objectif montre un fort résidu de sphérique et un léger résidu de coma.

Ici (à droite) la défocalisation montre l’"image nuancée".

L’agrandissement final est fort.



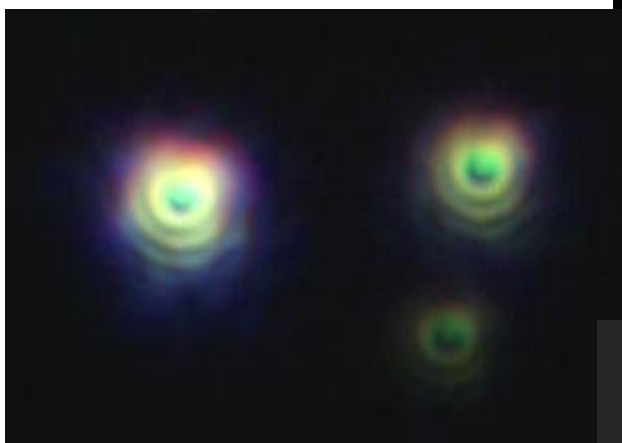
Cette figure (à gauche) est presque dans la meilleure focalisation, mais l’intensité des anneaux montre, de toute façon, que la sphérique n’est pas bien corrigée.



À droite: en défocalisant ultérieurement, commencent à paraître les anneaux, mais avec une légère "queue" de coma dirigée en bas. Il y a en outre des évidents bordages colorés vers le haut et le bas qui montrent un résidu de CVD tout près de l’axe.



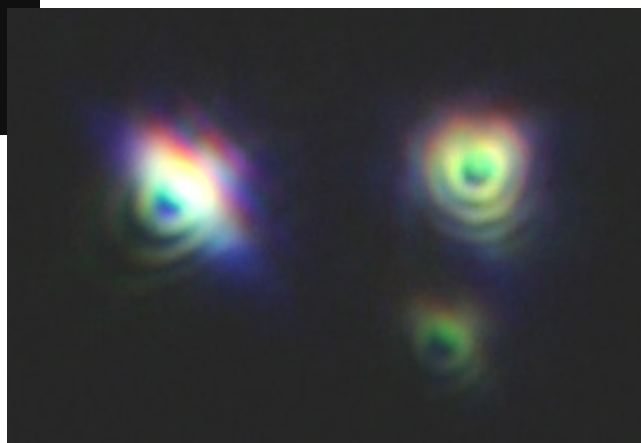
À gauche: image aux anneaux plus prononcés, encore avec une légère queue de coma vers le bas et bordages colorés par la CVD. Le disque d’Airy est presque inversé.



À droite: en augmentant la défocalisation et l’intensité de l’éclairage, paraissent aussi les signes d’un léger astigmatisme, anormal parce qu’il est dirigé en direction différente de la queue de coma.

Toutes ces images sont reprises au centre du champ.

(Objectif Koristka 6 [52 ×] acrom. + oculaire Leitz Periplan 20×)



En plus: aucune photographie ne peut montrer intégralement les nuances et les détails de si petits objets, ni rendre les contrastes comme ils apparaissent à l’observation visuelle. En particulier, l’image "nuancée" (première et deuxième photo de la fig. 23) a un profil photométrique (= distribution d’intensité) qu’aucune photo ne peut rendre fidèlement. Seulement l’observation directe et une certaine familiarité avec le star tests permettent de tirer de ces petites taches lumineuses beaucoup de renseignements sur les performances d’un objectif.



Fig. 24 - Image nuancée (à gauche) et aux anneaux (à droite), en présence d'une légère sphérique. Noter cependant que les deux centrées sont allongées à droite vers le bas dans l'image nuancée et à gauche vers le bas dans l'image aux anneaux. Ceci est dû à un résidu d'astigmatisme superposé à la sphérique. En effet, en deux différentes position de focalisation, se superposent les déformations de la sphérique ("image nuancée" et "aux anneaux") et les "focalines" d'astigmatisme, qui sont dirigées à 90° l'une de l'autre.

(Objectif Koristka 6 [52 ×] acrom.+ ocul. Leitz 8)



**Coma** (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.2.4 et l'article n° 11, pagg. 15-17)

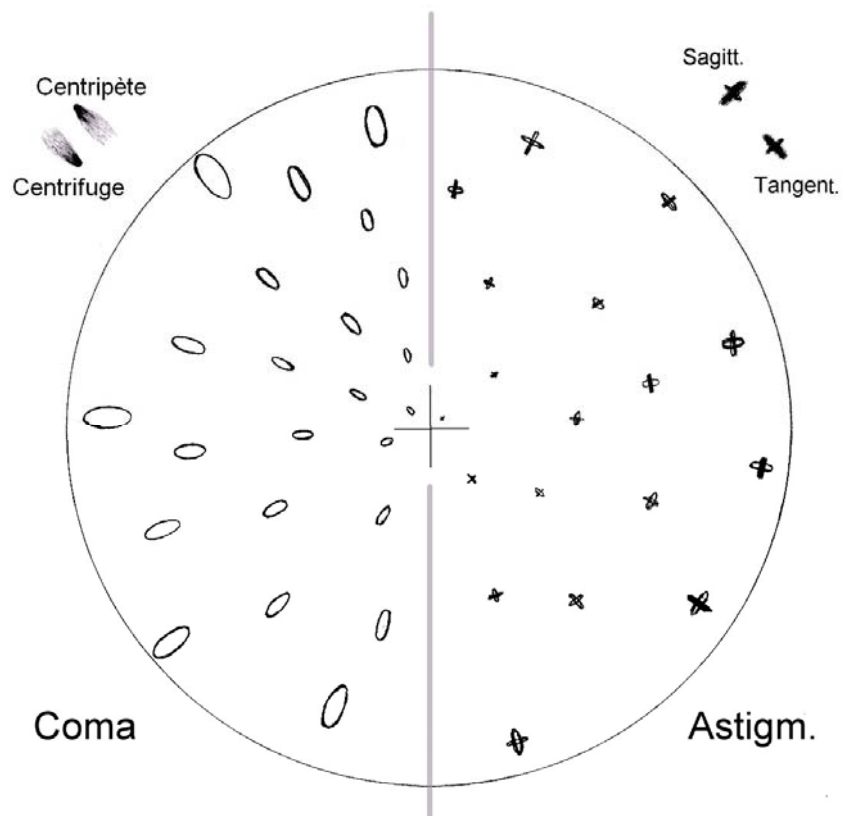
Pour le moment nous parlons de la coma "normale" ou "symétrique", celle qui se présente seulement "hors axe", dans un système optique délimité par des surfaces sphériques toutes centré sur le même axe. Ensuite nous verrons la "coma en axe" ou "asymétrique".

Fig. 25 - Schéma de coma et d'astigmatisme "symétriques". La figure de coma est allongée toujours en direction radiale, vers le centre du champ, pendant que celle d'astigmatisme (focaline) peut être radiale ou "tangentielle" selon la mise au point. Ce comportement consent de distinguer avec sûreté les deux aberrations.

La "queue" de la coma est nuancée d'un côté et se concentre dans un point lumineux de l'autre côté. La queue est dirigée vers le centre (centripète) ou vers la périphérie (centrifuge).

La longueur de cette queue est proportionnelle au champ et au carré de l'ouverture.

La longueur des focalines astigmatiques est proportionnelle à l'ouverture et au carré du champ (distance du centre).



En autres mots, cette aberration est “extra-axiale”, c’est-à-dire qu’elle existe, dans un système centré, seulement au dehors du centre de l’image. Son importance, dans une lentille non corrigée, est proportionnelle environ au “champ” (distance de l’axe) et au carré de l’ouverture. Elle doit donc être cherchée sur les marges du champ et c’est pour ça que beaucoup de constructeurs la négligent, en espérant que personne ne s’en aperçoive.

Étant donné qu’elle altère la forme de la centrique normale, elle doit être étudiée avec le star test.

La figure<sup>36</sup> de coma change de forme si on change la mise au point (figg. 22, 23 et 26), mais elle est dirigée toujours en étoile (« radiale ») et ne devient jamais circulaire; la figure donnée par l’astigmatisme (focale), par contre peut être à peu près ronde, ou allongée en étoile ou tangentiellement selon la mise au point. Cette différence permet de distinguer au coup d’œil une aberration de l’autre.

En plus de modifier continuellement la mise au point, la coma doit être observée avec un oculaire à grand champ, au moins 18 mm. En effet, cette aberration est extra-axiale, et un champ (un “index de champ” de l’oculaire) trop petit la cacherait. Pour observer la sphérique, au centre du champ, on peut utiliser un fort oculaire, même s’il a un petit index de champ; mais pour les aberrations extra-axiales il faut contrôler un champ le plus grand possible, soit même à l’intérieur du “champ nominal” de l’objectif (voir la note 18 à la pag. 8 et le manuel: “Problèmes Techniques de la Microscopie Optique”, Chap. 19.2.4). Ensuite, il faut que le tube porte-oculaires ou les tubes intermédiaires éventuels aient un “facteur de tube” (voir toujours le Manuel, Chap. 24.1.5), égal à 1,0 ×; autrement, le champ de l’objectif effectivement soumis au contrôle serait réduit.

Si un objectif montre un résidu de coma<sup>37</sup> (pour le moment nous nous occupons de coma symétrique), pour l’utilisateur il n’existe pas aucun moyen de le corriger ou de le compenser.

Les différentes photos de la fig. 26 ont été reprises à la périphérie du champ d’un objectif dont nous ne faisons pas le nom par pudeur. Mais même des objectifs de claire réputation peuvent être atteints par cette aberration. Rien n’est parfait.

Aussi, dans les photos qui suivent, l’agrandissement est fort pour mieux rendre visible le phénomène.

Remarquez que la queue de coma est toujours dirigée du même côté.

---

<sup>36</sup>. Comme “figure” nous entendons ici l’aspect de la centrique, comme elle est altérée par l’une ou l’autre aberration.

<sup>37</sup>. Certains auteurs utilisent le mot “coma” au genre masculin. Mais “coma” vient du latin, et signifie “chevelure”, avec claire référence à la forme allongée de la figure, comme de cheveux longs et déliés. Le féminin est justifié donc par l’étymologie. Toujours de la racine latine “coma” dérive le terme astronomique (féminin) “comète”.

Fig. 26 - Figures de coma symétrique en différentes positions de mise au point. Le centre du champ, l'axe, est en bas, au dehors de l'image, naturellement. Autour des centriques on voit des halos colorés, rouges dans les illustrations en haut, bleuâtres dans les illustrations en bas: résidu de chromatique longitudinale.

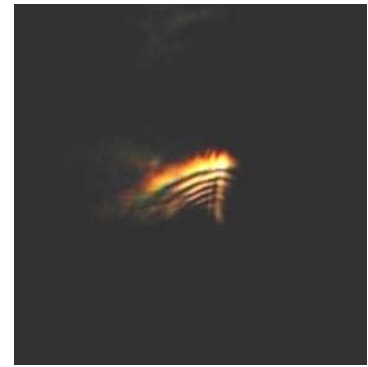
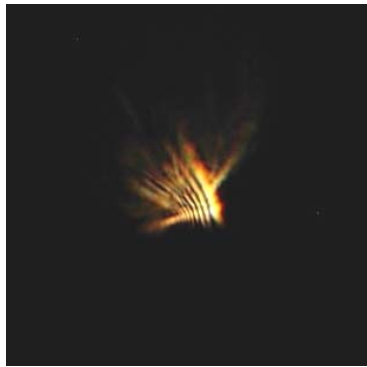
Il faut remarquer que ces centriques ont été très agrandies; dans l'observation visuelle elles sont beaucoup plus petites.

(Objectif acrom . 40 centré + oculaire Leitz Periplan 20 ×)



Fig. 27a/b - Ici à coté, deux figures de coma altérées par d'autres aberrations, et pour cela de forme anormale, difficile à interpréter.

(Objectif Zeiss Jena Planapocrom. 63/0,9 Korr décentralisé à l'origine. + oculaire Zeiss Jena P 10 ×)

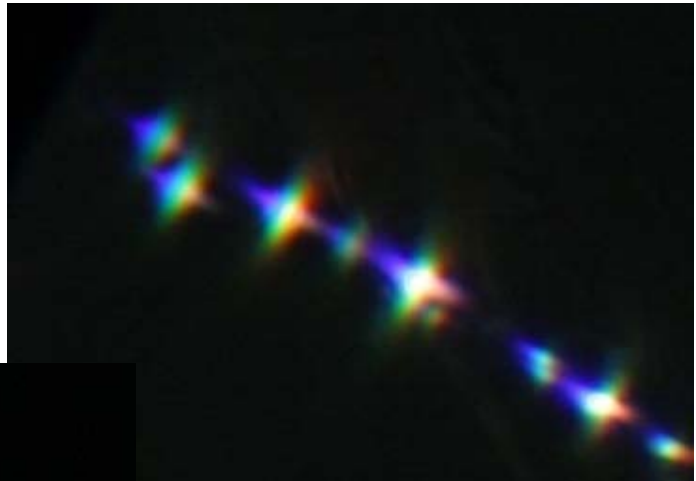


**Astigmatisme** (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13 .2.5)<sup>38</sup>

Même cette aberration doit être cherchée sur les marges du champ (nominal) et pendant la focalisation. Dans la position de meilleur focalisation, la centrique peut sembler normale mais elle sera toujours plus grande de celle idéale. Au dessus et au dessous de la meilleure focalisation, la centrique est allongé et s'appelle "focaline": allongée en étoile ("radiale", "sagittale" ou "méridionale"), ou tangente à la périphérie du champ ("tangentielle").

Fig. 28 - Focalines astigmatiques sur, au milieu et au dessous de la position de meilleur focalisation.

Le centre du champ est en bas à droite, hors figure. L'illustration supérieure, donc, correspond aux focalines tangentielles; celle inférieure aux focalines radiales ou "sagittales". Celle au centre correspond à la position de meilleur focalisation.



Sans une mise au point soignée, donc, l'astigmatisme peut ne pas apparaître.

On remarque les bordures colorées (CVD).

Il faut remarquer aussi que les "anneaux" de la centrique normale sont invisibles: l'astigmatisme les cache.

Même dans ce cas, les photos ont été très agrandies.

Cette situation vient encore d'un objectif de grande réputation (Objectif Zeiss Oberkochen Neofluar 100/1,30 Oel + oculaire Leitz 8×).



<sup>38</sup> Nous rappelons qu'on appelle "anastigmatique" un système optique corrigé d'astigmatisme; s'il est corrigé aussi pour la courbure de champ, on l'appelle "planétique".

Pour l'astigmatisme, bien peu de constructeurs offrent des oculaires avec un faible pouvoir compensateur, et en général ils ne le déclarent pas parce cela semblerait admettre un défaut dans leurs objectifs.

Autrement, l'utilisateur n'a aucun moyen de compenser l'astigmatisme (symétrique).

Quelques constructeurs du passé, comme Wild, produisaient des oculaires "photographiques" ou "complanétiques" qu'avaient le but d'aplanir le champ de leur semi-apochromatiques, mais ils introduisaient comme conséquence un évident astigmatisme.

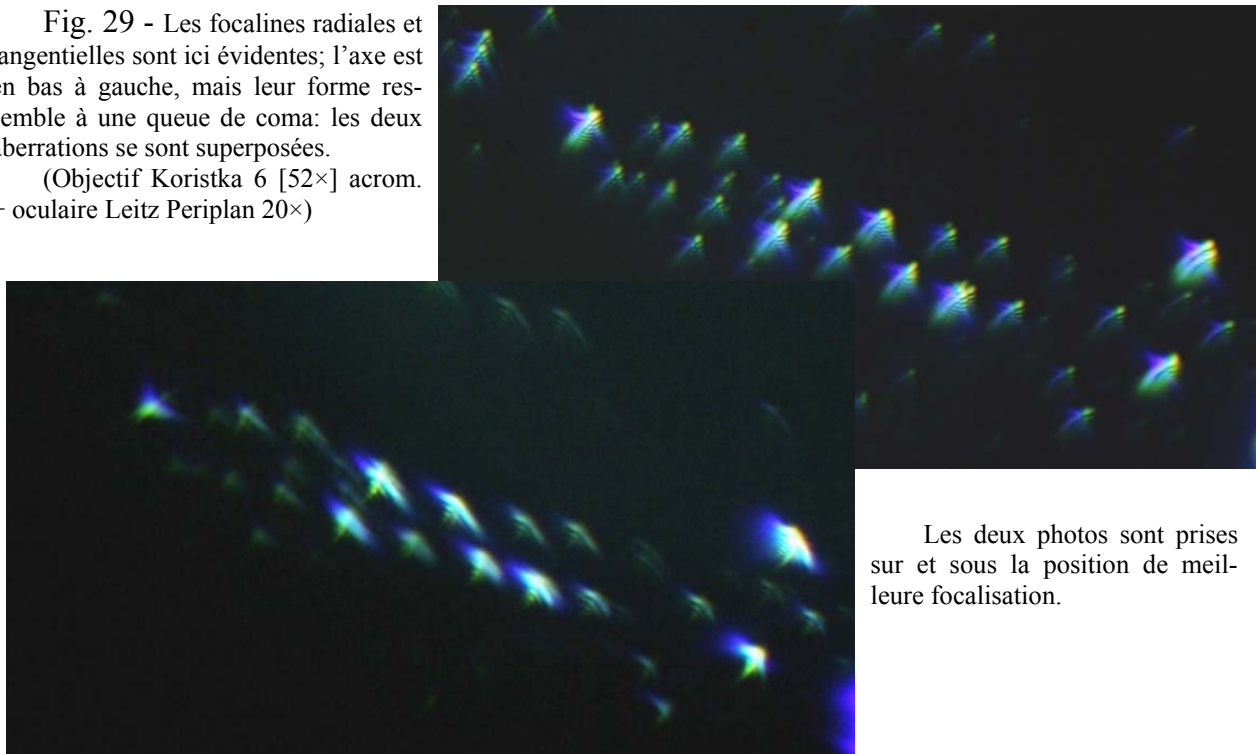
Dans un objectif centré et aligné, coma et astigmatisme se présentent donc seulement aux marges du champ; ces aberrations peuvent échapper à un examen hâtif et les constructeurs et les vendeurs en conséquence peuvent tabler là dessus.

Quand par contre se présentent des queues de coma aussi au centre du champ, il s'agira en général d'un mauvais centrage de la lentille flottante; si les trous de centrage sont présents, il faut agir sur ceux-là.

Si des focalines astigmatiques paraissent au centre du champ, il s'agira en général de mauvais alignement de quelque lentille; presque impossible y porter remède.

Fig. 29 - Les focalines radiales et tangentielles sont ici évidentes; l'axe est en bas à gauche, mais leur forme ressemble à une queue de coma: les deux aberrations se sont superposées.

(Objectif Koristka 6 [52×] acrom. + oculaire Leitz Periplan 20×)



Les deux photos sont prises sur et sous la position de meilleure focalisation.

**Distorsion** (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.1.2 et l'article n° 11, pag. 2).<sup>39</sup>

Pour révéler la distorsion il suffit d'observer un objet avec un bord droit. Il peut s'agir du fil d'une lame de barbe ou d'une ligne d'un micromètre objet. Ou bien un cheveu, un fil de pêcheurs, un fil d'araignée, bien tendus sur un porte-objet, si possible couverts par une lamelle.

On peut même étaler un porte-objet avec de l'encre de Chine, laisser sécher et y graver un sillon avec une lame bien mince, en guidant la lame avec un bord droit. L'inconvénient de cette méthode est que la couche d'encre est arrachée par la lame et d'habitude le bord de la gravure est dentelé.

Encore mieux, le réseau habituel.

<sup>39</sup>. Un système optique corrigé par respect à la distorsion s'appelle "ortoscopique".

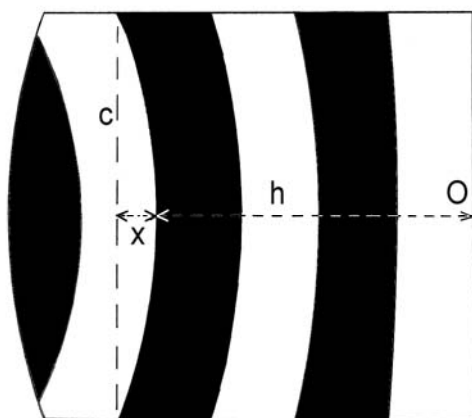


Fig. 30 - De toute façon, ayant un objet avec un bord droit, on pose telle ligne sur la périphérie du champ visuel (utiliser encore une fois un oculaire avec le plus grand index de champ possible et un facteur de tube de  $1\times$ ).

Si la ligne semble recourbée dans l'image, celle-là est distorsion. Si on veut mesurer la distorsion, utilisez un micromètre oculaire, si possible avec un oculaire positif, pour évaluer la "flèche" ( $x$ ) de la ligne courbe comme c'est visible dans l'image intermédiaire (la distance entre les lignes des normaux micromètres oculaires est égal d'habitude à  $100\ \mu$ ).

Voir le schéma à côté (fig. 30).

Pour des raisons de cohérence, la longueur de la corde (" $c$ " dans la figure 30) dont on mesure la flèche ( $x$ ) doit être longue comme la distance entre  $c$  et le centre O du champ ( $h + x$ ); il faut mesurer le rayon du champ, par respect au quel calculer le rapport avec  $x$ .

Rarement la distorsion est telle à déranger, et tel dérangement de toute façon serait intolérable seulement si quantitativement considérable aux buts des mesures géométriques sur l'objet.

Le seul remède pour le praticien est de travailler au centre du champ ou choisir un fort oculaire à bas "index". Changer d'oculaire peut être utile de toute façon car aussi lui peut contribuer à la distorsion. Les classiques oculaires "ortoscopiques", positifs (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 20.4.2), vantaient l'absence de distorsion propre.

**Planarité ("planeité") du champ** (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.1.1 et la note 26 à la pag. 15)

Aucun objectif ne produit une image complètement plane, et ceci d'ailleurs serait inutile, soit pour la présence inévitable d'un certain degré de profondeur de focalisation, soit parce qu'aussi l'oculaire et tous les moyens transparents présents après l'objectif donnent leur contribution à la courbure de l'image finale.

La méthode classique pour mesurer la courbure dans l'image finale est de mettre au point sur un objet mince<sup>40</sup> (frottis de cellules ou bactéries, micromètre objet, réseau) d'abord au centre et puis sur les marges du champ. Il faut utiliser un oculaire avec un index de champ égal au champ nominal de l'objectif et un facteur de tube égal à  $1\times$ .

On lit sur la graduation de la vis micrométrique les deux mesures<sup>41</sup> et on en fait la différence. Cette mesure est objective, mais elle ne dit pas tout car elle doit être rapportée aux dimensions du champ: il est évident qu'un objectif faible montre la plus grande différence entre les deux positions de mise au point, mais il a aussi un champ plus grand.

Il est donc plus utile une mesure subjective: on met au point l'objet mince en vue du meilleur compromis; puis on évalue quelle partie du champ image est "raisonnablement" au point. On peut avoir une mesure de la courbure en évaluant le rapport entre le rayon du champ "raisonnablement à point" et le rayon du champ nominal de l'objectif.

Si tel rapport se trouve autour de 80 % et votre objectif vous a été vendu comme "plan", ne vous fâchez pas trop. Ça arrive dans les meilleures familles. Si en plus il s'agit d'un "semi-plan", tout est possible: la correction de la courbure de champ complique beaucoup la recette et augmente les frais, au delà à causer une perte de contraste, rendre plus difficile la correction de l'astigmatisme, etc. On ne peut pas s'étonner donc si les constructeurs acceptent beaucoup de compromis.

Pour la compensation de la courbure de l'image ont été imaginés des oculaires "photogra-

<sup>40</sup> L'exigence d'un objet le plus mince possible est expliquée dans le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.1.1 (fig. 36, pag. 109).

<sup>41</sup> Pour éviter l'effet de jeux et hystérésis, cherchez d'arriver à la meilleure focalisation en tournant toujours la vis micrométrique du même côté.

phiques”, déjà cité, qui cependant introduisent beaucoup d’astigmatisme, des oculaires divergent (les célèbres “Homal” de Zeiss), qui cependant sont inutilisables pour l’observation, en ayant une pupille profonde, etc. Ces objets sont d’ailleurs introuvables.

On rappelle de toute façon que la courbure de champ est nuisible seulement en deux cas:

-- la photographie (à part les modernes programmes capables d’additionner beaucoup d’images reprises en différentes positions de la mise au point et d’utiliser de chacune seulement les parties au point);

-- l’objet est mince, de manière que la “surface de meilleure focalisation” n’est plus comprise dans l’épaisseur de l’objet (voir la note 40 et l’article n° 11, pag. 2).

#### L’EXAMEN DE LA PUPILLE DE SORTIE (voir aussi les artt. n° 41 et 44)

À l’égard des dommages qui peuvent arriver d’un mauvais magasinage ou de toute façon du vieillissement de l’objectif, nous avons mentionné la prolifération de champignons inférieurs, les “ternissures”, corrosions, etc.

Au moment du contrôle, une bonne partie de ces défauts se révèlent mieux en observant la pupille de sortie de l’objectif. Voilà comment.

On met au point l’éclairage (diascopique) selon les critères de Köhler, on élimine les filtres dépolis éventuels, on met au point sur une préparation assez transparente, et on observe la pupille de sortie avec l’un de ces moyens:

-- à l’œil;

-- avec une faible loupe (pas moins de 150 mm de longueur focale, c’est-à-dire pas plus de + 5 / + 6 dioptries);

-- avec un “microscope auxiliaire” (du type utilisé en contraste de phase);

-- avec la “lentille d’Amici-Bertrand”, si disponible.

L’idéal serait de pouvoir déplacer à volonté un des miroirs du système éclairant de façon à rendre oblique le faisceau. Ceci est facile seulement quand la micro-lampe est externe au statif. En absence de ça, on le remplace par l’éclairage oblique (ça suffit un bout de carton décentré sous le condenseur) ou la « fente décentrée » (voir dans ce site l’art. n° 41).

Il est même utile de disposer de deux filtres polarisants, l’un sous le condenseur et l’autre sur l’objectif, en position “croisée” (voir l’article n° 7, “La mise en œuvre du microscope polarisateur”, dans ce site).

De cette façon, on observe facilement quelques caractéristiques de l’objectif.

•• **Entre Nicol croisés** (voir les figures de 31a à 31e):

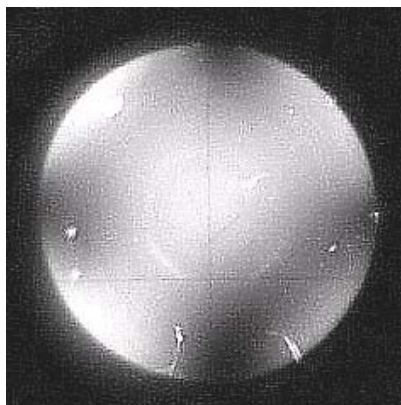
a) verres exempts de contraintes, reflets minimes: très convenable pour lumière polarisée (obj. Wild 40 achrom. Pol);

b) verres avec contraintes; cet objectif, même s’il représente une partie de l’équipement d’un microscope polarisateur, est à éliminer (obj. Meopta achrom. 45 Pol);

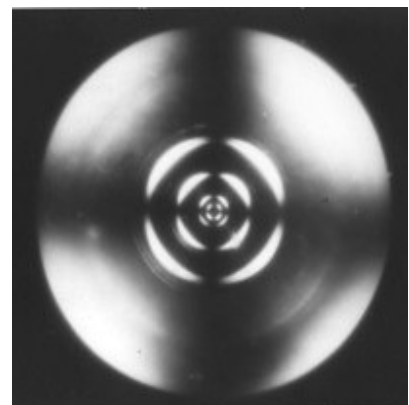
Dans les Fig. 31 a - l: Images visibles dans la pupille de sortie d’un objectif.



Fig. 31 a



b



c

c) verres exempts de contraintes, mais avec des forts reflets; cet objectif est à peine suffisant pour l'usage en lumière polarisée (obj. acrom. n° 6, Koristka);

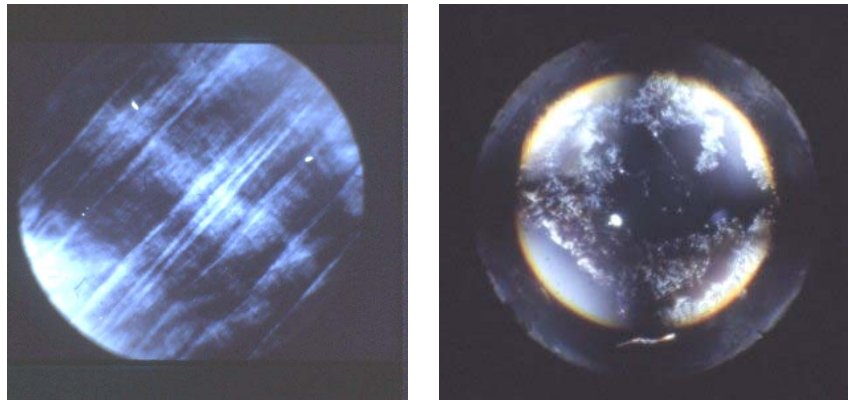


Fig. 31

d

e

d) objectif semi-apochromatique, avec quelque lentille en fluorite naturelle; pas convenable pour la lumière polarisée (obj. Wild Fluotar 20/0,60);

e) objectif avec un doublet décollété (objectif. achrom. n° 5, Koristka - voir plus loin);

•• Avec un faisceau éclairant très décentré (au moyen d'un miroir mobile ou avec oblitération partielle de la pupille d'entrée du condensateur (figg. 31 f – 31 l):

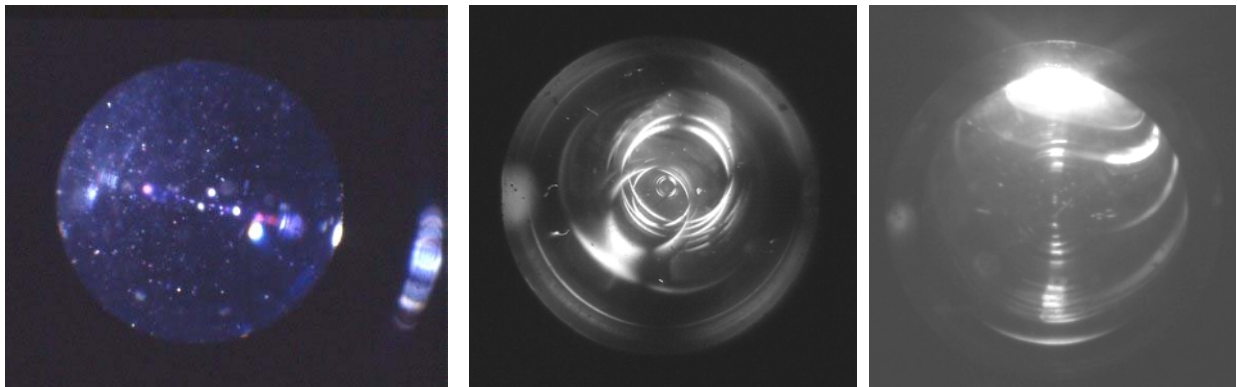


Fig. 31 f

g

h

f) observation des catadioptrique<sup>42</sup>; puisque quelqu'une de ces images est en dehors de la direction d'alignement des autres, quelqu'une des lentilles de l'objectif ou du condensateur est décentrée par respect à l'axe optique. On peut discriminer entre les deux systèmes en les déplaçant séparément, mais un désalignement dans l'objectif seul se révèle mieux avec l'observation de la centrique (voir plus loin). Les différentes couleurs des catadioptriques sont dues aux différents traitements anti-reflets des lentilles (obj. Wild Fluotar 20);

g) idem, mais dans le condensateur il a été inséré un diaphragme annulaire (obj. achrom. Meopta 45 Pol);

h) catadioptriques alignées; centrages corrects; éclairage très oblique (obj. achrom. Meopta 60);

NB: pour l'observation des catadioptriques, il faut en général fermer beaucoup le diaphragme d'ouverture et le diaphragme de champ.

<sup>42</sup>. Voir, dans ce site, section "Microscopie optique" l'art. n° 31 ("La méthode des catadioptriques ...").



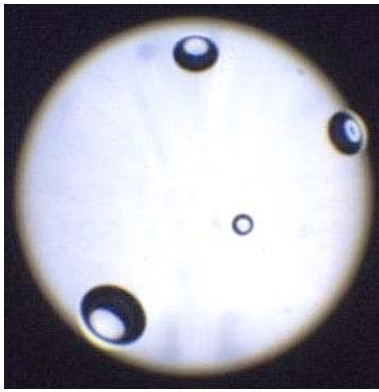
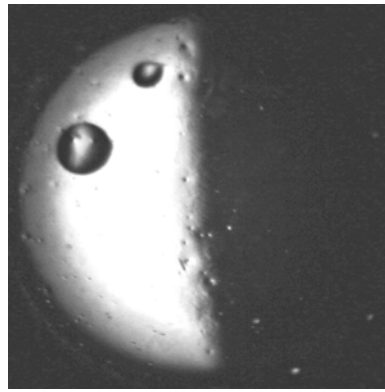
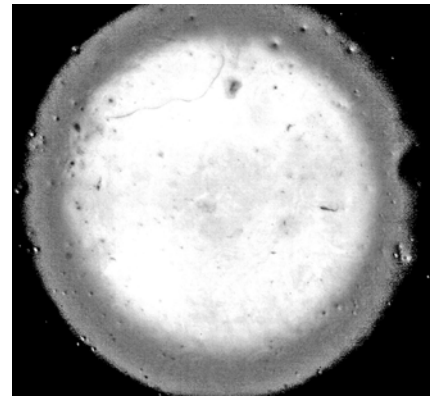


Fig. 31 i



j



k

i) éclairage à pleine ouverture; présence de bulles d'air dans l'huile d'immersion (obj. Wild Fluotar 100/1,30 HI);

j) l'huile d'immersion (avec des bulles d'air) est pénétrée à l'intérieur du paquet des lentilles et s'est condensé en gouttelettes autour de quelque grain de poussière par l'effet de la tension superficielle; pupille du condensateur oblitérée à moitié avec un bout de carton (obj. achrom. Zeiss Oberkochen 100/1,25);

k) idem; l'huile a envahi toute la surface du verre, encore condensé en gouttelettes (obj. Leitz achrom. 100/1,25);

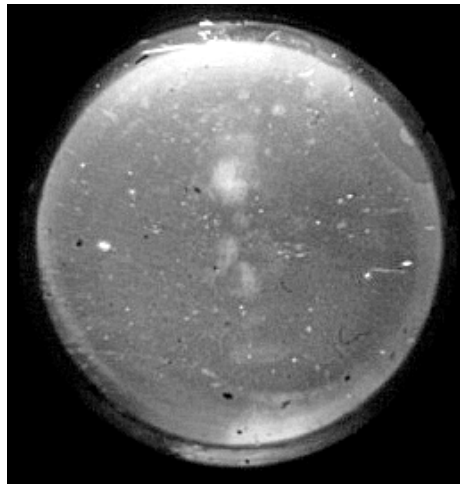


Fig. 31 - l: Figure visible dans la pupille de sortie d'un objectif sale, avec éclairage oblique.

l) objectif sale: poussière et ternissure; éclairage très oblique (obj. achrom. Galileo 40).

Pour d'autres examens sur la situation interne d'un objectif, l'**éclairage** est par contre préférablement **épiscopique**, "du haut", de façon à éclairer directement les lentilles et en observer les reflets. Puisque le paquet des lentilles, dans les objectifs forts, se trouve en général très bas dans la monture générale, il faut un instrument à grande distance de travail et à bas grandissement. On obtient ceci avec un microscope stéréoscopique. Mais il y a une complication: justement puis que les lentilles sont souvent très encaissées, il faut un éclairage coaxial, il faut les éclairer dans environ la même direction dans laquelle on observe, c'est-à-dire dans la direction de l'axe des objectifs.

Ils existent des instruments spéciaux, basés sur une lame demi-réfléchissante au dessus de l'objectif, mais il s'agit d'instruments rares et chers. Pour notre but, on peut simplement modifier un normal stéréoscopique.

Nous commençons avec un système aux objectifs séparés, système Greenough. On peut insérer un miroir près de la bissectrice des deux objectifs, comme en Fig. 32.

Fig. 32 - Un microscope stéréoscopique à système Greenough permet de mettre très près des deux objectifs (Ob) un miroir (S), incliné à 45° sur la bissectrice. Le miroir (ça suffit un bout de feuille d'aluminium pour aliments) est fixé à une lame collé à l'intérieur de la monture commune (B). Naturellement, une telle monture doit être percé ( $\varnothing = 15-20$  mm), exactement devant le miroir (trou F). À ce moment là, la micro-lampe (L) doit être disposé à l' hauteur du trou F pour éclairer le miroir S. Évidemment, la lampe L doit être indépendante du statif de façon à pouvoir être fixée à la monture B par la barrette A (à gauche de la photo).

(Microscope zoom stéréoscopique Seiya; micro-lampe pour "Technival" Rathenow).



Pour les instruments à objectif commun (CMO) on doit recourir à un miroir mis SOUS l'objectif.

Comme on voit dans la Fig. 33, le miroir devra être très petit, et par conséquent le rendement photométrique sera insuffisant. Mais le miroir peut être mis exactement entre les deux « canaux ».

Fig. 33 - Le stéréoscopique CMO modifié, vu par-dessous. "Ob" sont les deux systèmes intermédiaires pour le changement d'agrandissement.

Les dimensions du miroir S doivent être telles à ne pas oblitérer les deux canaux d'observation (Ob).

An et B sont le dispositif de fixation du miroir.

Au contraire du cas précédent, le miroir est mis ici vraiment sur la bissectrice entre les deux canaux d'observation.

(Microscope stéréoscopique "Technival" de la maison Rathenow).



Une fois réalisée l'éclairage "vertical", plus ou moins "coaxial", le microscope stéréoscopique permet des observations comme celles de la fig. 7 (pag. 19). Aussi les décolletages comme la présence d'huile ou de saleté, se révèlent très bien. Si en plus tous ces défauts ne concernent pas la lentille émergente (le plus haute), mais les sous-jacentes, il est possible en général, en mettant au point le stéréoscopique, les observer toutes, jusqu'à la frontale. En effet, les lentilles qu'on veut observer qui se trouvent au dessus des lentilles intermédiaires ou de la frontale agissent comme une loupe pour tout ce qui se trouve au dessous d'elles.

Aussi des éventuelles altérations de l'anneau de phase se révèlent bien en épiscopie.

## LE DÉMONTAGE

Le point de vue du constructeur est:

- ses objectifs sont parfaits pour toujours et il y n'a jamais besoin d'intervenir; comme il arrive pour les tombes ...
- le constructeur, donc, ne doit pas faciliter le démontage de l'objectif; si jamais, l'empêcher;
- le praticien ne comprend rien, et par conséquent il est inutile de lui donner des explications;
- s'il y a quelque chose qui ne va pas (c'est la faute du client, naturellement), bien, renvoyez-le à l'usine qui vous en propose un nouveau.

Puisque l'expérience d'habitude démontre le contraire, nous essayons à énumérer les causes qui conseillent le démontage de l'objectif en ordre décroissant de fréquence.

1) le dépôt, avec le temps, de patine ("ternissures"), dues à la condensation d'aérosol, en particulier, hydrocarbures pas totalement brûlés, essentiellement goudron, provenant des moteurs des véhicules, installations industrielles et de chauffage, etc.; ce goudron se disperse dans l'air sous la forme de gouttelettes microscopiques;

2) le dépôt de poussière sur la lentille émergente, pas toujours accessible de l'extérieur;

3) le dépôt sur les lentilles internes de produits volatils émis par les peintures, les lubrifiants et les adhésifs, ou de particules solides dues à la cristallisation e/o séchage des mêmes matériels ou à l'oxydation des parties métalliques (fig. 31-l);

4) pénétration d'huile d'immersion. Ceci peut arriver aussi sur les lentilles situés au-dessus de la frontale, parfois après quelque décennie, parfois après peu de mois, spécialement si l'huile restante n'est pas enlevée tout de suite après l'usage (Zeiss Oberkochen). Voir les Fig. 31-j et 31-k.

5) un ou plus doublets sont décollés et ensuite opacifiés (fig. 31-e);

6) la lentille frontale s'est détaché, ou parce qu'elle a été nettoyée avec trop d'énergie, ou à cause de chocs, ou parce que elle était mal collée (voir la Fig. 34 et l'article n° 46).

7) le mouvement "à pompe" ou la bague de correction s'est bloqué parce que la graisse s'est durcie ou la monture a été déformée par une chute;

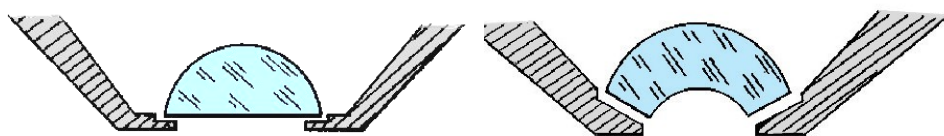
8) l'éventuel diaphragme interne à iris est bloqué ou cassé;

9) l'objectif était décentré depuis l'origine. Ceci parait impossible, mais ce n'est pas rare.

10) dans l'assemblage a été commise une faute: par ex., le diaphragme supérieur fixe (bague à vis) dérive d'un autre modèle et il est trop serré; ou bien la "chemise" n'est pas correcte et porte des indications pas correspondants aux performances de l'objectif;

11) l'objectif a reçu des forts chocs et a perdu le centrage (voir plus loin).

Fig. 34 a/b- Pour les recettes classiques, et dans les objectifs les plus faibles, la lentille frontale peut être enchâssée dans la monture et donc mécaniquement robuste.



Mais dans les objectifs forts elle est demi-sphérique ou presque et elle est collée seulement par les bords.

Dans les modèles « plan » ou demi-plan elle est souvent "à ménisque" et porte vers l'extérieur une surface concave. Cette forme montre souvent une surface latérale conique de grande étendue qui devrait assurer une bonne surface de collage. Mais la quantité d'adhésif utilisée est tenue souvent insuffisante (pour éviter que l'excès d'adhésif doit être nettoyé un deuxième temps) et le détachement est encore plus facile (Zeiss Jena, etc.).

## LES OUTILS

Démonter un objectif de microscope en général est facile avec des outils normaux ou faciles à construire, mais la chose peut être compliquée par quelques détails.

-- La mécanique peut être compliquée, spécialement pour la présence d'une "bague de correction", destinée à éliminer les effets d'une épaisseur erronée de la lamelle, d'un diaphragme iris interne, etc.

-- Les graisses durcies, ou même les restes d'huile d'immersion cristallisés peuvent cimenter entre eux différentes parties. Dans ce cas, on conseil l'immersion dans le pétrole pour des heures ou des jours. Le xylol ou un autre solvant des graisses serait plus énergique, mais cela peut endommager les adhésifs des lentilles ou éventuelles surfaces peintes (la maison Zeiss Jena utilisait pour écrire les notations sur les objectifs de la série 250 CF des peintures déposées avec la méthode sérigraphique au lieu des gravures au pantographe [fig. 58, pag. 53]).

-- Certaines parties ont été si serrées par le constructeur que, avec le temps, elles se sont bloquées.

-- Le constructeur (Wild, Zeiss Oberkochen, etc.) a cimenté quelques parties mécaniques avec des adhésifs acryliques très forts (LocTite, Attak, ou semblables). Assouplir ces adhésifs est possible: 1) avec immersion de plusieurs heures ou jours dans l'alcool dénaturé; 2) avec chauffage de quelques minutes au moyen d'un jet d'air chaud à au moins 200° C (ils existent des "pistolets" spéciaux à air chaud, utilisées par les vernisseurs pour le détachement de vieilles peintures). Les deux moyens peuvent provoquer des dégâts dans un système optique, ou à cause de rupture des lentilles (les coefficients de dilatation du verre et de la monture relative ne sont pas le mêmes), ou pour altération des ciments.

En certains cas, pour éviter tels dommages, on est contraint à interrompre les tentatives de démontage.

En supposant absents ou résolus ces problèmes, nous affrontons le problème du démontage.

Fig. 35 - Instruments utiles pour manipuler des petits pièces, par ex., barillet particuliers: P1 et P2 sont des pinces utilisées par les orfèvres pour tenir la pièce sur la flamme: elles s'ouvrent en les serrant et restent fermées en conditions de repos. Elles sont précieuses pour serrer un petit rouleau de papier optique (R) et nettoyer des lentilles très encaissées (voir les figures 58/59, pag. 53/54). F est une pince pour chirurgien, qui se serre en la fermant comme ce fût des ciseaux, mais elle reste fermée par l'encastrement de deux séries de dents sur les manches (D).

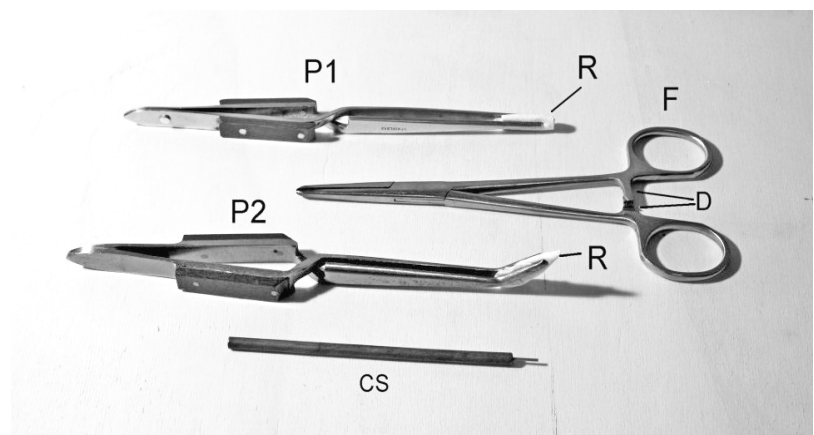
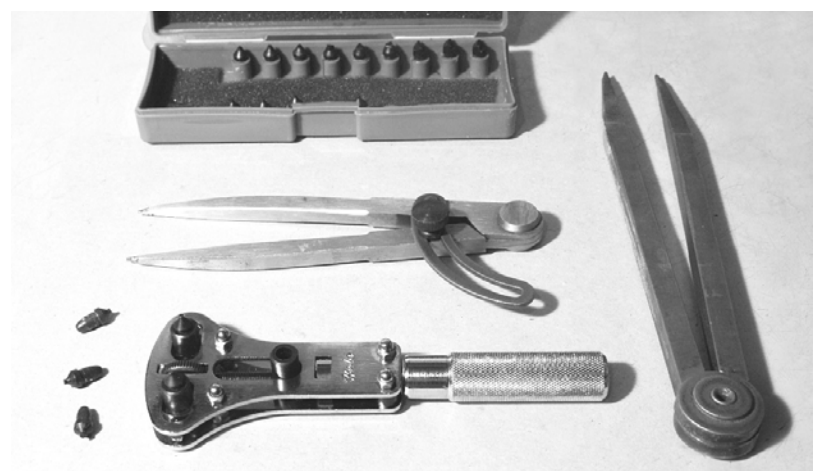


Fig. 36 - Outils pour dévisser les anneaux de serrage munies de deux trous ou deux encoches. Au centre et à droite, normaux "compas" de mécanicien. En bas, un outil utilisé par les horlogers pour ouvrir le fond de la "caisse" d'une montre. Il porte deux ou trois pointes, de forme différente, interchangeables, comme on voit dans la boîte en haut, la distance desquelles peut être modifiée quand en tourne une petite roue ou le manche chagriné.

En beaucoup de cas, cependant, les anneaux aux deux encoches peuvent être démontés simplement au moyen d'un rectangle de tôle d'acier modifié avec la meule à la largeur nécessaire.



Nous commençons par présenter quelques outils, équipement normal d'un atelier mécanique, ou au moins d'un atelier de précision. Leur usage est intuitif et nous ne nous allongerons pas.

Fig. 37 - “Pinces à Seeger” utilisées normalement pour desserrer les anneaux de retenue élastiques à deux trous. Leur usage est intuitif et ils peuvent remplacer les compas de l’illustration précédente.

En serrant les manches, les pointes s’ouvrent ou se serrent, selon le modèle.

Les pinces sont munies en général d’un ressort qui les tient fermées ou ouvertes en conditions de repos.

Il y en a à pointes droites ou recourbées.



Fig. 38 - Autres outils aux pointes réglables, toujours utiles pour tourner des anneaux à deux trous ou à deux encoches.

L’outil en haut (production Edmund) est très robuste et sophistiqué: au-delà à admettre différents types de pointes, il permet de tenir les bras convergents ou divergents (il suffit d’inverser leur position sur la barre horizontale), et de changer la distance entre les pointes entre 0 et au-delà 100 mm.

Les outils au centre et en bas (prod. Zeiss Jena) sont des espèces de compas qu’on peut produire soi même. Dans l’outil central, les barres sombres axées au centre portent chacune sur ses extrémités une pointe cylindrique obtenue par des petits bouts de fil d’acier pour ressorts.



Fig. 39 - Pour la propreté des lentilles, même si très encaissées, on peut utiliser un petit rouleau de papier optique (R en Fig. 35), ou une barrette de polystyrène répandu à forte densité, de quelque millimètre de côté (C3), obtenu avec une lame tranchante (C4) d’une feuille de 4 - 6 mm d’épaisseur (C2), du type utilisé pour les bacs d’aliments. La barrette sera bloquée dans un “porte-mine” (C1), du type utilisé par les dessinateurs pour les grosses mines de graphite. Elle doit dépasser la pointe de quelques mm (voir la flèche), et on peut l’aiguiser avec la même lame utilisée pour la découper (C4). Des outils A et B on parlera plus loin.

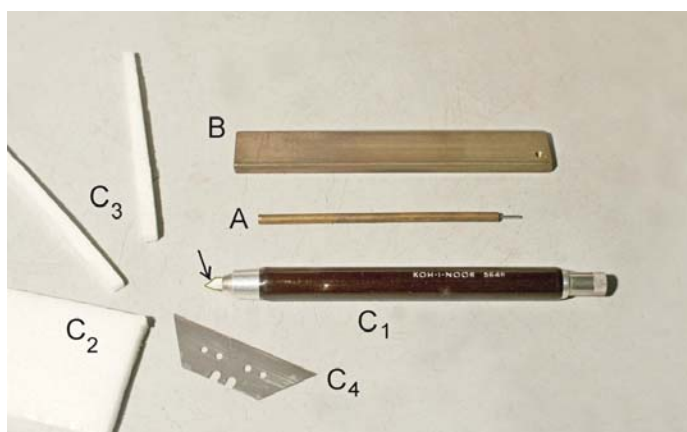


Fig. 40 (à gauche) –

Parfois, pour dévisser certaines parties très serrées entre eux comme la “chemise” (voir à la page suivante), par respect à la monture générale, on peut recourir à cet expédient:

Il faut entourer les deux parties à dévisser, chacune avec une différente bande tirée d’une feuille de gomme « crêpe » d’une paire de mm d’épaisseur (s’adresser à un bon magasin de matériel plastique); on serre les pièces rhabillés de gomme avec un bandelette métallique “serres tubes” du type utilisé par les plombiers.

De cette manière on protège les parties métalliques qui doivent être desserrées. Maintenant on saisi les deux bandelettes avec deux grosses pinces, toujours de plombier, et on tourne les pinces en sens inverse, il s'agit toujours de vis droites. D'habitude ça marche (fig. 40).

Comme "outil" du technicien d'optique on peut considérer aussi le matériel utilisé pour le nettoyage des surfaces optiques. À part le polystyrène répandu à peine cité, l'utilisation du "papier optique" serait canonique, un papier très mince, qui ne produit pas des poiles, ne relâche pas des fibres isolées, et est garantie "exempt de matériels abrasifs". Les meilleures papeteries le produisent, mais elles le commercialisent seulement en fortes quantités. Il a le défaut cependant de ne pas être très doux.

Beaucoup de vendeurs d'instruments optiques et de lunettes offrent des petites enveloppes de ce papier, qui peuvent aller bien, mais sont chères.

Cependant, des solutions pratiques existent. C'est parfaite une toile de coton très vieille (les lavages successifs réduisent la perte des poils), et faite essuyer à l'abri de la poussière. Utile est le papier pour serviettes, qui perd les poils moins du commun papier de cuisine et du papier de toilette.

Toiles ou papier doux doivent être utilisés d'abord à peine humecté avec de l'alcool ou du xilol; dans un deuxième temps à sec ou après avoir respiré sur la lentille. Le polystyrène répandu doit être utilisé à sec (voir le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.5.1 et la légende de la fig. 39).

## LES STRUCTURES

Maintenant nous examinons quelques exemples de structures mécaniques parmi le plus répandues dans les objectifs de microscope, tout de suite en précisant que chaque constructeur prévoit des solutions différentes, et il s'agit donc seulement d'exemples: l'expérience, l'amour du risque et la chance peuvent aider à résoudre seulement certains cas.

Dans presque toutes les figures nous utiliserons quelques lettres ou groupes de lettres dont nous pouvons donner le sens une fois pour toutes, pour éviter des répétitions.

Ca = "chemise", mince tube qui recouvre le barillet général ou la monture, qui cache quelques parties internes comme les trous de centrage, et porte les notations.

MG ou Mg = Monture générale, celle qui porte le filet de fixation, la bague chagrinée (G), utile pour tourner l'objectif, et d'habitude contient le barillet général.

BG ou Bg = Barillet général, toujours cylindrique, qui contient le "paquet des lentilles", c'est-à-dire la série des barillets individuels. Dans les objectifs avec "monture à pompe", le BG glisse dans la MG, et sa course est limitée par la tête d'une petite vis vissée sur lui (V, figg. 47/48), qui glisse dans une fente, Fe, de MG.

A ou As = bague ou diaphragme supérieur, qui se visse sur la MG et sert comme protection pour la poussière et comme écran contre les rayons obliques ("light baffle"). Une telle bague retient souvent le ressort (Mo ou S) du mouvement à pompe.

F = trou sur lequel se visse la vis V qui limite le mouvement à pompe, ou dans lequel s'introduit un petit clou en plastique (P, figg. 49/50) avec une fonction analogue (figures 49 et 50).

Fig. 41 - Objectif Koristka achromatique, 100/1,25, HI.

La série des barillets, F, M, D1 et D2 est terminée par un diaphragme fixe (Df), plus un tube de distance demi élastique (Ci). Le tout est "embrayé" dans le barillet général BG. Ce dernier se visse sur la monture MG qui serre la série des éléments susdits contre le bord inférieur rentrant du barillet BG.



Nous ne croyons pas nécessaire de parler des faibles objectifs non plan, jusqu'à 10:1 compris, car il s'agit d'habitude d'un ou deux doublets simplement enfilés dans une monture générale (pas « à pompe »), et serrés par une bague à vis. En général, aucun problème de centrage, aucune lentille flottante, aucune difficulté.

En ce qui concerne les objectifs forts, la première structure que nous examinons (fig. 41) est très classique: le système optique se compose d'une série de lentilles, chacune avec un barillet indépendant en laiton<sup>43</sup>: la frontale demi-sphérique de la recette d'Amici pour les forts objectifs (F), le ménisque suivant (M - recette "Duplexfront"), deux doublets, D1 et D2. Sur ce "paquet des lentilles" s'appuie un diaphragme (Df) et un tube (Ci). Le tout est inséré dans le "barillet général" (BG). Les choses sont faites de manière que, à la fin de l'assemblage, le tube Ci dépasse à peine le barillet BG et, quand celui-ci vient vissé sur la monture MG, la surface inférieure de celle-ci pousse vers le bas le paquet des lentilles contre le bord inférieur rentrant de BG (voir aussi "O" dans la fig. 13, à la pag. 25).

Un objectif semblable n'est pas évidemment "à pompe". La monture générale MG se réduit donc à une base de support pour le barillet général. Il n'existe ni lentille flottante ni trous de centrage (voir plus loin). Le centrage des barillets particuliers est confié à la tolérance entre le diamètre interne de BG et le diamètre externe des barillets.

Le démontage et le remontage d'un objectif semblable se fait sans problèmes.

Dans la Fig. 42 est montré un objectif analogue, de construction plus récente. Le système optique est plus complexe car il s'agit d'un apochromatique: frontal F, ménisque M + trois doublets. Le tube T sert encore à pousser le paquet des lentilles vers le bord rentrant de la monture générale MG, mais le tube se visse à l'intérieur de celle-là. Il manque donc la distinction entre barillet général et monture. Ici manque aussi le mouvement télescopique mais il ya une chemise (Ca).

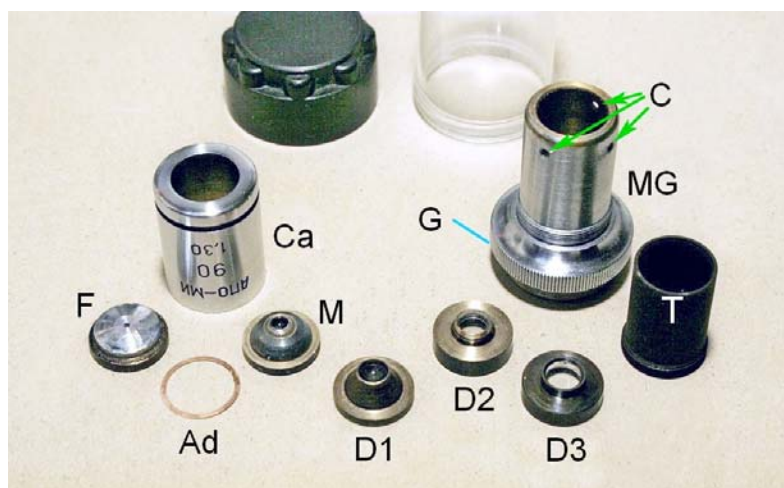
En plus il y a quelques détails intéressants.

- Le ménisque M est "flottant" et à son hauteur il y a 4 trous de centrage (C).
- La monture générale est couverte d'une chemise (Ca), qui porte les notations mais ne porte pas rien d'autre.
- Il y a cependant un détail fondamental: entre le barillet de la frontale (F) et celui du ménisque (M) il y a un petit anneau métallique mince (Ad), qui sert à les espacer, c'est-à-dire qu'il établit la distance correcte entre les deux premières lentilles du paquet (correction de la sphérique).

Fig. 42 (à droite) - Objectif Lomo apochromatique 90/1,30, HI.

"C" sont les quatre trous de centrage (voir plus loin). La série des barillets, de F à D3, vient enfilée dans la monture MG et serrée par le tube T, qui se visse sur le bord supérieur de MG.

La chemise Ca recouvre le tout mais ne porte pas aucun élément.



<sup>43</sup> Le laiton est presque universellement utilisé pour ces applications à cause de la facilité de travail, de la rigidité, de la résistance à l'humidité, etc.

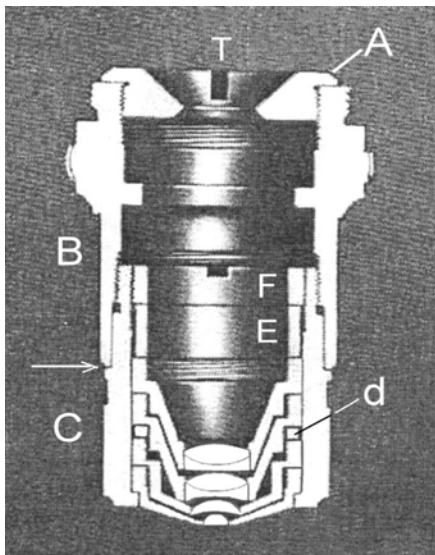


Fig. 43 (à gauche) - Un cas spécial est représenté ici à gauche: la monture générale est divisée en deux parties: l'une (B), qui porte le filetage de fixation, l'autre (C) qui porte le paquet des lentilles. Le joint entre les deux parties est indiqué par une flèche.

Remarquez la bague-diaphragme de fermeture, vissé par le haut (A) de laquelle est visible des deux encoches (T).

Sur le paquet des lentilles il y a une bague-espace (E), poussé vers le bas par la bague à vis (F), celle-ci muni de deux encoches pour pouvoir la dévisser.

Remarquez aussi la bague-espace (d) entre les barillets de la deuxième et troisième lentille.

De la distance entre ces lentilles dépend en bonne partie la correction de la sphérique dans le système total et donc la perte ou la déformation de ces petits anneaux (souvent il y en a plus qu'un) provoque une perte de définition. Au moment de l'assemblage, ces anneaux viennent ajoutés ou enlevés ou différemment combinés à fin d'optimiser la correction de la sphérique. Qui démonte et puis remonte un tel objectif doit le savoir, et il doit remettre les anneaux sains et saufs à leur place s'il ne veut pas gâcher le tout.

Dans les cas qui précèdent, donc, le paquet des lentilles vient serré dans le barillet général, parfois poussé avec force, pour rendre l'accouplement le plus précis possible. À part la lentille flottante éventuelle, donc, il peut être difficile d'extraire le paquet des lentilles.

Une solution, en général suffisante, c'est la suivante.

On réalise un petit cylindre creux en plastique rigide, de diamètre légèrement inférieur à celui du trou terminal de la monture générale (Fig. 44). On y pratique un trou central de diamètre tel à laisser aux parois une épaisseur de 2 - 3 mm. On l'applique sur le barillet frontal comme dans les figures 45 et 46. Un normal étau fera le reste.

Fig. 44 (à droite) - Avec un tour, il n'est pas difficile de réaliser ce cylindre en Plexiglas ou en PVC, percé en centre.



Fig. 45 (en bas) - Le cylindre (Tub) doit être appliqué sur le barillet de la lentille frontale (F) après avoir enlevé les parties qui se trouvent sur le paquet des lentilles (le diaphragme interne Df et le tube de pression Ci). L'objectif est celui de la Fig. 41.

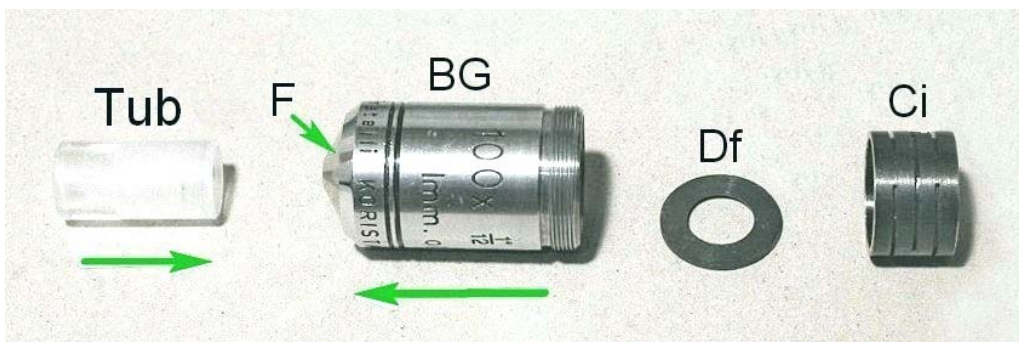




Fig. 46 (à droite) - Le tube "Tub" et le barillet général BG doivent être poussés l'un contre l'autre, avec beaucoup de lenteur, au moyen d'un normal étau de mécanicien. Le barillet BG soit protégé par le contact direct avec la mâchoire de l'étau par un bout de carton, ici pas visible.

L'objectif est encore celui de la Fig. 41.

Il ne faut pas prolonger trop la manœuvre car le paquet des lentilles tôt ou tard émerge du barillet, et va toucher la mâchoire. Insister dans la pression provoquerait certainement quelque rupture. Alors on démonte, un à la fois, les barillets particuliers. De cette manière on gagne de la place pour continuer dans la compression, jusqu'à que la même frontale, restée seule, émergera du bord supérieur de BG.



Une structure plus moderne, et très diffuse, se voit dans les fig. 47 et 48; le mouvement à pompe est présent: le barillet général BG glisse à l'intérieur de la monture général MG, poussé vers le bas par le ressort S; celui-ci est tenue en position par le tube interne (Ci) avec un bord proéminent près de l'extrémité supérieure. Tel bord est bloqué sur la monture MG par la bague à vis A. La bague A agit aussi comme diaphragme limiteur et le diamètre du trou doit être établi avec soin pour éviter des "vignetting" (limitations du diamètre utile du faisceau).

La vis V se visse sur le barillet BG, trou F, et émerge de la fente Fe; la course de la vis, et par suite de BG, peut être limitée réellement par la fente Fe ou par le bord inférieur de MG (O).

Dans ces objectifs est prévue une lentille flottante, accessible à travers les trous de centrage C, en général en nombre de quatre (voir plus loin).

Fig. 47 - Objectif Zeiss Jena achromatique 40/0,65. Le démontage commence par la chemise Ca, puis par la bague A et le ressort S avec le tube relatif Ci. À ce moment là on dévisse la vis V et ceci permet d'extraire vers le haut le barillet général BG. Le paquet des lentilles est poussé à l'intérieur de BG par une bague à vis, pas visible. Pour extraire le paquet des lentilles, voir les figures 44 - 46.

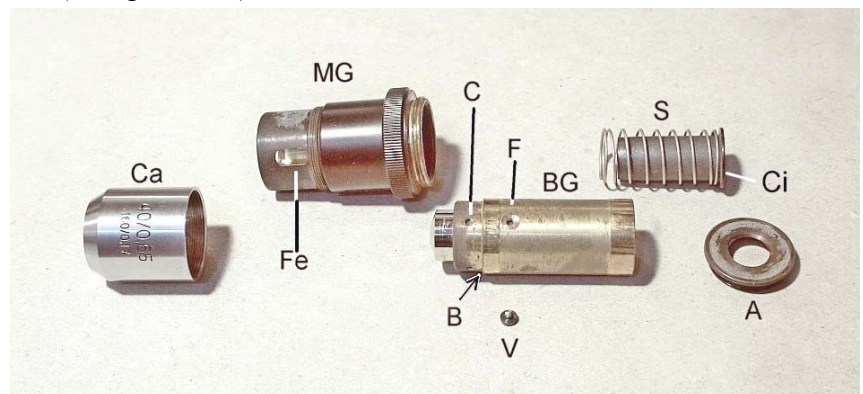
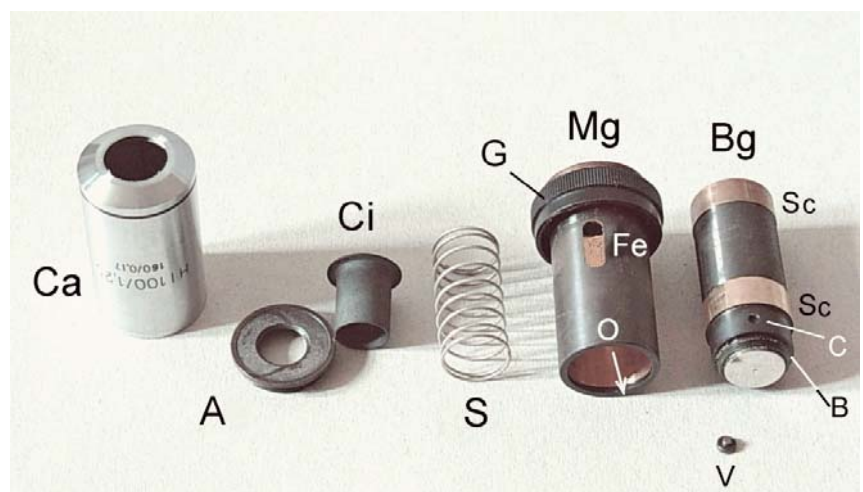


Fig. 48 - Objectif de la même série, mais à immersion (100/1,25). La chemise Ca est plus longue, mais la structure générale est la même. Le barillet BG est brun, et donc se mettent mieux en évidence les deux anneaux proéminents (Sc) qui, avec une minime tolérance, glissent à l'intérieur de la monture MG. Ces anneaux servent à réduire la surface de contact entre BG et MG, et donc le frottement du mouvement à pompe (lubrifier avec parcimonie).



Dans la Fig. 49 on voit une structure qui apparaît semblable, mais le paquet des lentilles s' enfouit dans le barillet BG par-dessous et il est tenu en position par une bague Ab, qui se visse

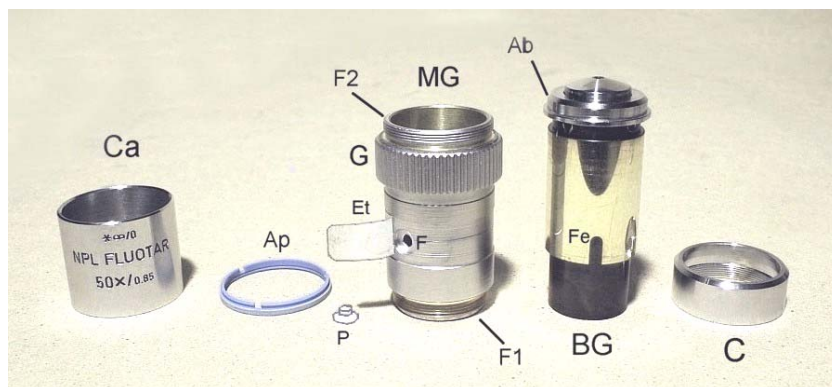
sur le bord inférieur du barillet même (dans la figure ce bord est supérieur parce que l'objectif est renversé). Aussi le barillet BG se foufile en MG du bas et son mouvement vers le bas est limité par la bague A, qui se visse sur BG au lieu que sur MG.

Fig. 49 - Objectif Leitz 54/0,95 Oel (HI). Au lieu de la petite vis V des illustrations précédentes, le barillet BG est guidé dans sa course par un petit clou en plastique à forme de champignon (P) qui s'enfile dans le trou F et glisse dans une fente présente sur le barillet BG.



Dans la fig. 50 on voit un autre Leitz, mais la bague chagrinée proéminente que nous avons vu dans les précédents objectifs (G) se trouve maintenant vers le bas (ici aussi la figure montre l'objectif renversé: le filet de fixation de l'objectif est F1). Comme dans le cas précédent, le barillet BG s'enfile en MG par-dessous et il est retenu par la bague C qui se visse sur le bord inférieur de MG (filet F2). Même ici il y a le petit champignon plastique (P) qui s'enfile dans le trou F et que le constructeur a pudiquement caché sous une étiquette autoadhésive (Et).

Fig. 50 a/b - Objectif Leitz "50/0,85 NPL Fluotar -  $\infty/0$ ". Il s'agit d'un objectif épiscopique, calculé pour travailler avec la "deuxième conjuguée infinie" (" $\infty$ ") et sans lamelle (" $0$ ").



L'objectif entier est montré ici à gauche. La chemise Ca s'enfile simplement avec une pression modérée et retient un petit anneau plastique (Ap).

Ab est une bague proéminente solidaire avec BG qui limite la course vers le bas du mouvement télescopique car elle va toucher la bague C.



Fig. 51 et 52 - Objectif Zeiss Jena GF Plan-apochromat 63/0,90 "à correction". Premier étage du démontage.

Et maintenant, pour finir, une authentique "gale" (Fig. 51 – 55). Le mouvement à pompe et la correction pour l'épaisseur de la lamelle (collier 2) rendent la mécanique très complexe. Les images qui suivent illustrent les différentes phases du démontage. Il n'est pas possible d'entrer dans les détails (quelques jours de travail ne se résument pas en peu de lignes – voir la Fiche technique (« Scheda tecnica ») n° 4), mais au moins il faut remarquer les deux barillet coaxiaux (6 et 7) dont le mouvement réciproque change la distance entre le barillet 6 (que porte une lentille supérieure) et le barillet interne 7, qui porte toutes les autres lentilles. Ce mouvement est dû au ressort habituel qui est contrariée par la bague 4; cette dernière se visse sur le gros filetage (« à plusieurs entrées ») présent en bas sur le barillet 7 et on peut le tourner au moyen d'une petite vis (4b) que lui est fixée, qui glisse dans la fente circulaire 5 présente dans la monture 8 et s'engage dans une cannelure interne de la bague 2. En tournant la bague 2, donc, tourne la vis 4b et ensuite la bague 4 qui se visse sur le barillet 7. La course du barillet 7 vers le bas vient donc bloquée quand la bague 4 va toucher la bague 3, rigidement vissé sur la monture générale 8.

Fig. 53 - Deuxième phase de démontage. Remarquer la vis 7b. Telle vis se fixe au barillet 7 et glisse dans une fente du barillet 6 (telle fente se voit mieux dans la fig. 54, flèche sur la pièce 6) et dans une cannelure interne de la monture 8. Ce mécanisme, présent en beaucoup de modèles, sert à empêcher que le barillet tourne par respect à la monture générale.

Voir aussi la petite vis 4b qui se fixe à la bague filetée 4. Telle petite vis est obligée à tourner par la rotation de la bague 2 qui porte une cannelure interne spéciale.



Fig. 54 - Troisième phase. Le barillet principal 7 glisse à l'intérieur du second barillet 6 (mais est bloqué en hauteur par la bague 4) lequel se trouve poussée vers le bas par un ressort jusqu'à toucher la bague à vis 3, vissée sur le bord inférieur de la monture 8. La rotation de 4 sur 7 règle donc la distance entre 7 et 6, donc la distance entre la dernière lentille et les autres, donc la correction de la sphérique. Un système inusuel.



Fig. 55 - Quatrième phase. Les différentes parties sont disposées en supposant que l'objectif soit renversé (frontale 9 en haut); de cette manière la lentille émergente (Le) du barillet 7 se trouve à la droite extrême. Sur elle se trouve une "lentille supérieure", fixée au barillet 6.

La bague à vis Av serre le paquet des lentilles (de 9, la frontale, jusqu'à Le, l'émergente) à l'intérieur du barillet 7.

Le système optique donc comprend la frontale 9 et le ménisque M plus 4 + 1 doublets.



Dans la Fig. 55 on remarque différents anneaux-espace (Ad 1-4); entre eux, le premier, Ad 1, est très mince et son épaisseur est critique; en effet, il règle la distance entre les deux lentilles les plus fortes du système et influe beaucoup sur la correction de la sphérique. Nous avons trouvé un semblable anneau-espace aussi dans la Fig. 42. Il faut le manipuler et le conserver avec soin car sa déformation ou sa perte produit un fort résidu de sphérique et une chute de la définition. Parfois, pendant l'assemblage, viennent superposés deux ou plus de ces anneaux, de différente épaisseur, jusqu'à trouver le meilleur compromis. Certains constructeurs (Zeiss Oberkochen par ex.) ont produit ces anneaux en plastique transparente: facile les perdre et les déformer. Enfin, une mine à la dérive.

On ne croie pas que cet objectif soit le seul exemple de complication. L'objectif de la Fig. 56 est un Leitz avec des caractéristiques analogues (bague de correction, monture à pompe). Celui de la Fig. 57 est un Wild Pol, contenant un mécanisme intermédiaire de centrage de tout le paquet des lentilles. Sont centrables aussi certains objectifs Zeiss Oberkochen pour Pol, mais par l'intervention de deux anneaux internes excentriques (comes) au quels correspondent deux anneaux chagrinés extérieurs.

Sans compter les modèles catadioptriques spéciaux, interférentiels, pour laser ou, simplement, ceux pour épiscopie à champ noir (Fig. 58).

Enfin, une infinité de modèles et de solutions mécaniques différentes. Et il est bien difficile de recevoir du constructeur les dessins de détail ou instructions convenables pour le "service".

Fig. 56 - Objectif Leitz 40/0,70 à correction, de phase, à forte distance de travail (LD), à monture à pompe.



Fig. 57 - Objectif achromatique Wild pour lumière polarisée 10/0,25, avec monture centrable. Les deux vis qui dépassent opèrent latéralement le centrage du paquet des lentilles en poussant contre un ressort interne.



Fig. 58 - Objectifs Plan-achromatiques Zeiss Jena, série 250/CF, 10/0,20 et 50/0,80 pour épiscopie à champ clair et fond noir, avec condenseur annulaire, et optique "à l'infini". Pas de vis M30.

Le système optique est suspendu au centre du condenseur annulaire.



Pour finir, dans beaucoup d'objectifs (voir les figures 47, 48 et 49), le paquet des lentilles est serré par le haut par une bague à vis (A, dans les illustrations citées), qui peut porter deux trous ou deux encoches ou être complètement lisse.

Pour la dévisser, s'il n'y a pas les deux trous dans lesquels introduire les pointes d'un compas ou d'un outil semblable (figg. 36 – 38), on peut utiliser une feuille de gomme « crêpe », interposé entre le pouce et la bague même. Dans le cas où la bague dépasse de la monture, on peut tenter d'en saisir le bord avec une pince, mais cette opération l'endommagera sûrement.

Si on ne trouve pas d'autre moyen, on peut y pratiquer deux petits trous, du diamètre de 1,5 mm environ, en position diamétralement opposée, pour pouvoir y appliquer le compas. Autre chose possible: plonger la base de l'objectif dans une petite écuelle contenant un voile de pétrole de manière que le liquide puisse s'infiltrer dans le filetage. Après quelques heures ou jours, le filet pourrait se desserrer.

## LES INTERVENTIONS

Et maintenant, que nous avons notre objectif avec les entrailles répandues, quoi en faire ?

### LE NETTOYAGE

Du nettoyage on parle dans le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 19.5.1, et dans notre article (pages 44 – 46), comme aussi dans la légende des figures 35 et 39, pages 44-45, plus en haut. La méthode la plus simple est le rouleau de papier doux, de serviettes, serré entre les pointes d'une pince à ressort comme celles de la Fig. 35, pag. 44. Le papier doit être enroulé en évitant de toucher le bout du rouleau, celui qui viendra au contact avec la surface du verre. Si la lentille est très convexe, on arrive jusqu'à ses bords en donnant au rouleau une forme conique pointue, ou en l'enroulant selon une ligne légèrement inclinée, de manière que son bout résulte concave.

Autres conseils ont déjà été recensés plus haut.

Si l'huile d'immersion est pénétrée à l'intérieur (figg. 31, j - k, pag. 41) le rouleau de papier sera humecté (garde-à-vous: le liquide ne doit pas couler) avec du xylol ou d'autres solvants des résines ou, dans certains cas, avec de l'alcool. Après des années, l'huile pénétré à l'intérieur d'un objectif peut durcir tellement à empêcher le démontage du paquet des lentilles. Ceci arrive avec l'huile des vieux temps (huile de bois de cèdre), qui est extrait par une résine naturelle, pendant qu'il est rare avec les huiles modernes, qui sont synthétiques.

Nous avons parlé plus haut aussi des "ternissures" soit d'origine externe (aérosol suspendu dans l'air), soit d'origine interne (peintures, adhésifs, lubrifiants). Mêmes recommandations. Commencer en jetant l'haleine (eau distillée) sur la lentille; si cela ne suffit pas, une trace d'alcool; s'il ne suffit pas encore, solvants des graisses ou xylol. Puis, encore haleter, etc. Les solvants laissent sur le verre en général une trace, mais un autre passage avec papier sec sur la lentille qu'a été voilé par l'haleine est suffisant dans la plus grande partie des cas.

## LES LUBRIFIANTS

Un lubrifiant gras est utilisé en général pour rendre coulissants les mouvements: celui “à pompe” ou “télescopique”, celui de la bague de correction, celui pour les mécanismes de centrage des objectifs pour polarisation (Fig. 57) ou pour le déplacement des prismes de Wollaston (DIC – voir la « Scheda tecnica » n° 125).

Avec le temps, ces graisses peuvent se liquéfier et se répandre par capillarité sur la surface des lentilles ou, plus souvent, durcir par évaporation des composants volatils. Pour débloquer les mouvements durcis, la meilleure chose est de plonger le tout dans le pétrole pour des heures ou des jours. Puis, nettoyer le tout avec de l'alcool ou d'autres solvants. Pour la substitution des lubrifiants, utilisez une bonne “graisse pour coussinet à billes”, comme on trouve dans les magasins d'outils.

Il y a cependant un cas très critique: celui des diaphragmes iris. Nombreux sont les diaphragme à iris utilisé en microscopie et en photographie, et pour tous il y a une loi de fer: les lames doivent être parfaitement nettoyée et sèches car la moindre trace de graisse liquide ou solide créerait une forte adhésion et elle les collerait. Dans ces cas, donc, il vaut mieux éviter aucun type de lubrifiant dans toute la structure de l'iris, y comprise le levier ou la bague extérieure de commande.

LES DÉCOLLEMENTS (voir le manuel: “Problèmes Techniques de la Microscopie Optique”, Chapp. 17.1.5 et 19,1 et l'article n° 40)

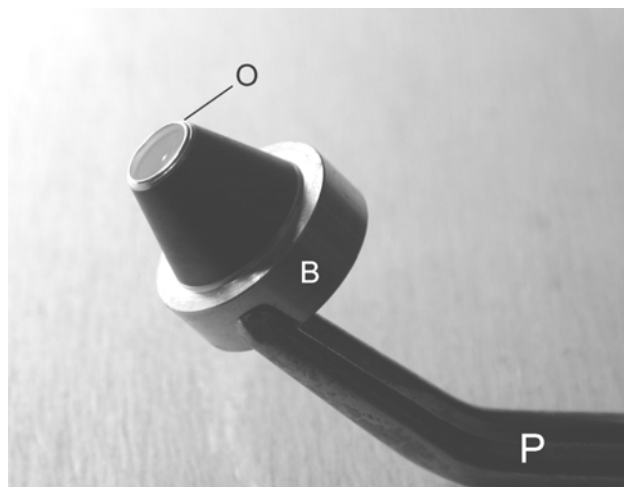
Les “décollements” sont les altérations des adhésifs optiques utilisés pour coller les lentilles des doublets ou des triplets.

Ils se révèlent soit en transparence, si possible entre Nicol croisé (Fig. 31-e, pag. 40), soit en réflexion, si possible avec un microscope stéréoscopique à éclairage coaxial, voir plus en haut).

Leur effet est toujours nuisible.

Fig. 59 - Comme saisir le barillet (B) d'un doublet décollé pour l'exposer au jet d'air chaud. En tournant la pince (P) en toutes les directions, le chauffage de la pièce sera uniforme.

On voit la pince à ressort dans la fig. 35 à la pag. 44.



En ayant dans les mains l'objectif démonté, il ne sera pas difficile de comprendre où est le décollement.

À ce moment là se présentent deux cas.

Si l'adhésif utilisé est classique (le baume du Canada, une résine naturelle), les choses sont simples car ce matériel s'assouplit à températures relativement basses, même seulement 100° C: il suffit de saisir le barillet incriminé avec un des outils de la fig. 35, pag. 44 (P1 ou P2), en le tenant par le bord (Fig. 59).

Maintenant, un “pistolet à air chaud” (on en a parlé à la pag. 44), ou “un phön<sup>44</sup>” créent un courant d'air chaud dans lequel remuer l'objet. Faute de mieux, on peut utiliser la flamme du gaz en évitant un contact direct de l'objet avec la flamme<sup>45</sup>. Commencer en tenant l'objet bien loin, puis l'approcher lentement. Il faut surveiller l'opération avec un microscope stéréoscopique ou

<sup>44</sup>. Le “phön” est un vent chaud et sec que parfois spire sur le versant méridional des Alpes vers les plaines. Traduit en italien, un “phon” indique un sèche-cheveux électrique.

<sup>45</sup>. Éviter d'autres flammes, que laisseraient un empatement de noir de fumée.

une forte lentille, de façon à avertir le premier ramollissement de la résine. Cela se révèle avec la formation de bulles de vapeur dans la couche de résine entre les deux lentilles.

En certains cas, il est suffisant de faire bouillir le barillet en le mettant sur le fond (recouvert avec un chiffon) d'une boîte en tôle remplie d'eau. Après quelque minute le "baume" pourrait être ramolli suffisamment, même s'ils ne se forment pas des bulles d'air. On rappelle cependant que l'eau bouillante pourrait altérer le baume.

Maintenant il s'agit de laisser refroidir le tout, en comprimant légèrement les deux lentilles du doublet pour assurer leur adhérence et chasser les bulles de gaz. La méthode la plus simple est de serrer, très délicatement, le barillet dans un étau, en appuyant sur la lentille une toile propre repliée beaucoup de fois sur soi même, comme dans la Fig. 60. Il faut agir avec rapidité, avant que la résine durcisse.

Cette manœuvre peut restituer au baume la transparence nécessaire.

Fig. 60 - À peine enlevé du courant d'air chaud, le barillet avec le doublet décollé doit être serré entre les mâchoires d'un étau en protégeant la lentille avec un objet doux.



Au moment de l'assemblage, puisque le bord du barillet doit serrer la lentille, le constructeur le fait toujours devancer par respect à la lentille (O, en Fig. 59) et puis il le rabat tant qu'il s'appuie sur la marge émoussée de la lentille. En considérant cette saillie, et en revenant à la compression de la lentille décollée et chauffée, pour être raffiné, on pourrait alors recouper avec un emporte-pièce une disquette de feutre; le feutre doit avoir un diamètre de peu inférieur à celui de la lentille et quelque mm d'épaisseur (on peut le tirer d'un vieux chapeau). La disquette de feutre se pose à la place de la toile rose de la Fig. 60. On peut utiliser aussi du liège.

Si, après quelques heures de refroidissement, le doublet montre encore des défauts d'homogénéité, alors il faut le démonter. Au tour, ou à la main avec une lime fine, on consomme le rivetage (O, Fig. 59), tant que la lentille se libère. Si la résine a cimenté la surface latérale, cylindrique, de la lentille par respect au métal, il peut arriver qu'on doive chauffer encore.

Avec le doublet isolé en main, on peut procéder à un chauffage plus prolongé, avec eau ou air, tant que les deux éléments se décollent à la simple pression des doigts (garde-à-vous à ne pas vous brûler) mais il faut agir en hâte de toute façon, avant que le baume refroidisse.

Les lentilles doivent être nettoyées avec un torchon, d'habitude avec du xylol, et recollées avec de la nouvelle résine, diluée en xylol jusqu'à une consistance sirupeuse. Il convient abonder avec la résine car tout ce qui déborde sur les côtés servira d'adhésif par respect au barillet, que maintenant a été privé du rabattement.

Le barillet avec le doublet et la nouvelle résine maintenant doit être légèrement comprimé comme on a vu (fig. 60) jusqu'au durcissement de la résine, quelque jour au moins. La résine en excès peut être enlevée avec du xylol. En remontant le doublet, gardez-vous de ne pas l'insérer à l'envers ! La surface la plus convexe est d'habitude en haut.

Mais nous n'avons pas encore exposé un deuxième cas, le plus fréquent, dans lequel l'adhésif du doublet n'est pas une résine naturelle mais un matériel artificiel. En effet, le "baume" classique a quelques défauts: avec le temps il jaunit, il est fluorescent, il durcit lentement, surtout s'il est dilué avec du xylol, etc. Les matériels synthétiques, chimiquement très variés, n'ont pas beaucoup de ces défauts, mais ils ne ramollissent pas à chaud et ne connaissent pas de solvants. On peut tenter d'insister avec le jet d'air chaud, mais avec le risque de casser quelque lentille à

cause de la dilatation différente entre verres divers ou entre verre et métal.

Si l'opération ne réussit pas, on peut limer le rivetage comme on a vu à l'avance et répéter le chauffage du doublet isolé jusqu'à quand il se sépare. Si cela réussit, on devra enlever le reste d'adhésif avec des moyens mécaniques comme le fil d'une lame de barbe, en utilisant beaucoup de précaution pour ne pas rayer le verre.

Le reste (le remontage) est comme on a dit, en rappelant que le baume naturel n'est pas apte à travailler en fluorescence.

#### LA LENTILLE FRONTALE DÉTACHÉE (voir l'article n° 46)

On a vu plus en haut (Fig. 34, pag. 43), que la lentille frontale est collée souvent sur le barillet le long du bord, au moins dans les objectifs forts. Son détachement n'est pas donc un événement si rare.

Seulement dans les faibles objectifs elle a une forme cylindrique et donc elle peut être fixée comme on a vu dans la fig. 59 et devenir mécaniquement robuste.

En cas de détachement d'une lentille frontale collée, en travaillant sous le stéréoscopique, il faut bien nettoyer soit la lentille que le barillet de chaque trace d'adhésif et poussière. La rattacher est facile; comment adhésif on peut penser au baume du Canada qui est lent à durcir mais permet des retouches pour plusieurs heures, au moins s'il a été ramolli avec du xylol. On peut utiliser un adhésif à prise rapide (Attak ou semblables, mais avec le danger que la lentille soit embué et demande après un nettoyage énergique) mais une faute de positionnement demande un nouveau détachement, nettoyage, etc. Voir à propos, dans ce site, l'art. n° 46.

Le problème est que le centrage de cette lentille est très critique et il est facile de se tromper. Comment se révèle une telle faute? - tout de suite nous en parlons.

#### LE RECENTRAGE

Dans le manuel: "Problèmes Techniques de la Microscopie Optique", Chap. 13.2.4 et 19.5.2 nous avons décrit le sens et l'usage de la "lentille flottante" et la distinction entre "centrage" et "alignement."

Plus en haut, on a aussi souligné que la coma est une aberration extra-axiale et donc, dans un système optique formé par des éléments limités par des surfaces sphériques centrées sur un axe commun, au centre du champ ("en axe") cette aberration ne peut pas exister. Les figures allongées de la coma (fig. 25, pag. 33) doivent être donc toujours dirigées vers le centre (fig. 25 à gauche), devenir de plus en plus petites à mesure qu'elles se trouvent plus voisines du centre et doivent disparaître "en axe".

Quand on cherche les figures de coma avec le star test, en déplaçant "le trous" en points différents du champ (oculaire au grand champ), peuvent se présenter des cas différents:

- on ne voit pas des figures de coma en aucun point du champ; cela peut arriver seulement avec les meilleurs objectifs apochromatique, parfaitement centrés;

- on voit des figures de coma dirigées toutes vers le centre, comme dans la fig. 25 (pag. 33). Celle-ci est la "coma symétrique", un résidu qui vient du projet et ne prévoit pas de remède; on peut le trouver avec un achromatique ou aussi dans un apochromatique de modeste qualité;

- figures de coma comme celles de la fig. 26 (pag. 35), même petites, mais au centre du champ. Celle-ci est "coma en axe" ou "asymétrique", un désastre pour la définition. La cause peut être:

+ une lentille frontale collée, ou recollée, hors du centre;

+ une des lentilles supérieures montée en position excentrique par respect à son barillet;

+ la lentille flottante hors du centre, ou pour assemblage hâtif ou pour chocs ou interventions successifs: dès qu'on démonte un objectif, le centrage est perdu.

Pour assurer un centrage global acceptable, beaucoup de constructeurs se servent en effet de la lentille flottante: celle-ci est en général la deuxième lentille, tout de suite au-dessus de la fron-



tale, dont le barillet est construit légèrement plus petit des autres; c'est pourquoi, à l'intérieur du barillet général, il peut "flotter" latéralement. Ces légers déplacements de la lentille flottante peuvent provoquer un léger résidu de coma en axe ou compenser le résidu dû au mauvais centrage d'une autre lentille, la frontale ou une des supérieures. Au moment de l'assemblage ou du remontage, il est donc essentiel de déplacer la lentille flottante, ou pour la centrer sur le même axe des autres, ou pour la décentrer de façon à compenser un décentrage d'une autre. Cette "compensation" a naturellement des limites: si une des autres lentilles est trop décentrée, la flottante peut créer une figure de coma en direction opposée et, à la fin, il pourrait résulter en axe une figure de coma à deux queues, directes en sens opposé, une espèce de nœud (fig. 27, pag. 36). Dans ces cas pervers, on peut tenter encore quelque chose: avec patience, en démontant et en remontant, tournez autour de l'axe optique la lentille frontale ou la flottante ou, soit-il avec un plus petit espoir de succès, une des lentilles situées au-dessus. Vous pouvez espérer ainsi de porter du même côté toutes les lentilles ne pas centrées dans leur propre barillet et obtenir encore un centrage sur un axe commun. Chaque fois, tournez la lentille suspecte de 45° et notez chaque variation de la forme de la centrique. Tout de suite on comprendra si les choses améliorent ou elles empiront et on saura s'il convient procéder en tournant du même côté ou de l'autre, ou passer à une autre lentille. Pour ne pas faire de confusion, il convient marquer chaque barillet avec un signe d'un côté (avec une pointe aigüe), et puis contrôler chaque fois que seulement ce barillet particulier ait été tourné.

Le truc de marquer la position azimutale de chaque barillet, dès que l'objectif est démonté, est précieux dans le cas qu'il fût centré au début (le star test nous l'aura certifié), et que le démontage ait été demandé pour d'autres motifs: au moment du remontage il est au moins sûr que chaque barillet reprend la même orientation qu'au début.

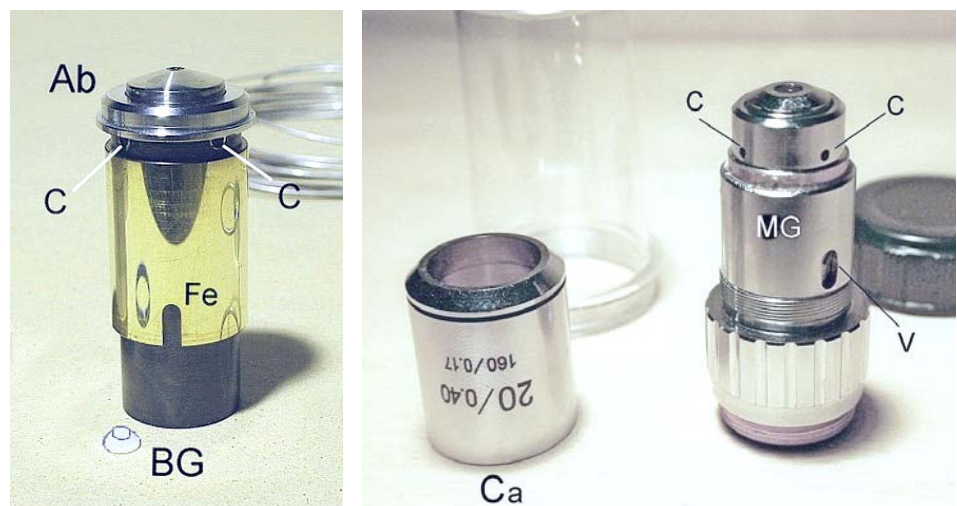
Le déplacement de la flottante doit être tenté de toute façon, ou pour minimiser la coma global, en axe, ou pour l'éliminer.

Maintenant nous voyons comme les choses vont en pratique.

Dans beaucoup d'objectifs de vieille fabrication (fig. 41, pag. 46, par ex.), les barillets particuliers venaient emboîtés à force à l'intérieur d'un barillet général, de manière qu'il y n'eût pas de jeu. Le centrage global final dépendait seulement du centrage de chaque lentille dans son propre barillet. Il y n'avait pas possibilité de retouche, à part la rotation en sens azimutal à peine citée.

Fig 61 a/b - À gauche, le même objectif de la fig. 50 (pag. 50); les trous de centrage (C) sont à peine visibles.

À droite, un moderne achromatique dans lequel les trous de centrage (C) sont accessibles, à peine on dévisse la chemise (Ca)



Dans les figures 42, 47 et 48 (pages 47 et 49) on avait déjà indiqué avec la lettre "C" des petits trous, en général quatre, au bout du barillet général ou de la monture générale, et nous les avons appelés "trous de centrage". Aussi dans la Fig. 61/a on voit à gauche un détail de la fig. 50, avec une analogue indication.

À la même manière ces trous apparaissent dans la majorité des objectifs modernes (fig. 61/b, à droite).

Dans des rares cas (Fig. 62) tels trous sont visibles dans le barillet général BG, mais ils sont couverts par la monture générale qui manque de chemise.

Fig. 62 - Objectif Wild semi-apochrom. de phase, 40/0,75, avec monture à pompe, mais sans chemise. La monture générale (MG) couvre les trous de centrage qui existent dans le barillet générale (BG); par conséquent, pour y accéder, il a été préparé le trou F.



Dans ces cas, l'accès aux trous de centrage est possible seulement en construisant un support spécial, avec des trous, semblable à la monture générale, ou en perçant l'original: ça suffit un seul trou, comme dans la figure 62 (F), car le barillet général BG peut se tourner à l'intérieur de la monture MG de façon à faire coïncider, un à la fois, tous les trous de centrage avec le trou F. Si le barillet BG est guidé par la vis habituelle qui glisse dans une fente et l'empêche de tourner, il faudra enlever cette vis de guide.

Par contre, dans les cas normaux, les trous de centrage sont disposés de façon à pouvoir y accéder directement (enlever la chemise !) pour pousser le barillet de la lentille flottante.

Il s'agit d'introduire dans ces trous, un à la fois, une pointe d'environ 1 mm de diamètre, longue plusieurs millimètres, et pousser légèrement par des petits coups en observant un « trou » du star test mis en axe.

Évidemment, la pointe est montée dans un petit manche (fig. 39, A, pag. 45) et pour la « pousser » on la bat sur l'autre bout avec un martelet du poids de 50 - 100 g (ça suffit un bout de barre de laiton comme on voit dans la fig. 39, B).

On exécute cette manœuvre avec l'objectif en position de travail, en observant continuellement une centrique sur l'axe et en remarquant si la queue de coma augmente ou diminue. Tout de suite il faut dire que, en certains cas, la queue de coma s'allonge dans la direction dans laquelle on pousse la flottante, dans d'autres cas elle s'allonge dans la direction opposée. Il faut dire aussi que, quand on pousse la flottante « tout » d'un côté, on doit s'attendre à une figure de coma en axe avec l'allongement maximal mais, quand on va pousser en direction opposée, pas toujours la figure s'inverse du tout: on devra la retoucher en poussant par un autre trou. Finalement, quand on tâche d'éliminer une figure de coma et on y ne réussit pas, de n'importe quel partie on pousse, cela signifie que le déplacement de la flottante ne suffit pas et il y a quelque autre élément trop décentré. S'il s'agit d'une frontale à peine rattachée, la détacher et réessayer.

Il est sous-entendu que le déplacement de la flottante suppose la possibilité qu'elle se déplace par respect aux deux barillets limitrophes. Ceci peut arriver en général même quand le paquet des lentilles est serré par l'habituelle bague supérieure (T en fig. 42, F en fig. 43; A en fig. 47-49, Av en fig. 55), ou inférieure (Ab en fig. 49 et 50, pages 49-50). De toute façon, on peut desserrer légèrement une telle bague, centrer, resserrer, contrôler à nouveau.

L'accès aux trous de centrage peut être immédiat, dans le sens qu'il suffit de dévisser la chemise (fig. 61-b, figg. 42, 47 et 48). Du cas de la fig. 61/a on a déjà parlé. Dans le cas des figures 53 et 54, les trous de centrage sont cachés partiellement par la bague 4 qui permet la correction pour l'épaisseur de la lamelle et, pour accéder aux trous, il faut altérer la correction et ainsi la forte sphérique qui en dérive couvre l'éventuelle coma en axe. Nous l'avons défini « une gale » car il faut procéder par tentatives, chaque fois en démontant et remontant.

Dans le cas de la fig. 49/a (pag. 50 - on voit un détail en fig. 61/a), par contre, le barillet général s'enfile par-dessous et il est retenu par une bague (C en fig. 63). Pour accéder aux trous de centrage il faut démonter la bague C et BG tombe ainsi vers le bas. Pour pouvoir effectuer le centrage de la flottante avec l'objectif en position normale, alors, il faut retenir BG en position de travail. La chose la plus simple est construire avec un fil de cuivre du diamètre de 1 ou 1,5 mm une espèce de support ou cagette, faite de deux anneaux et d'un fil qui les réunit, comme on voit dans la fig. 63/b ("Supp").

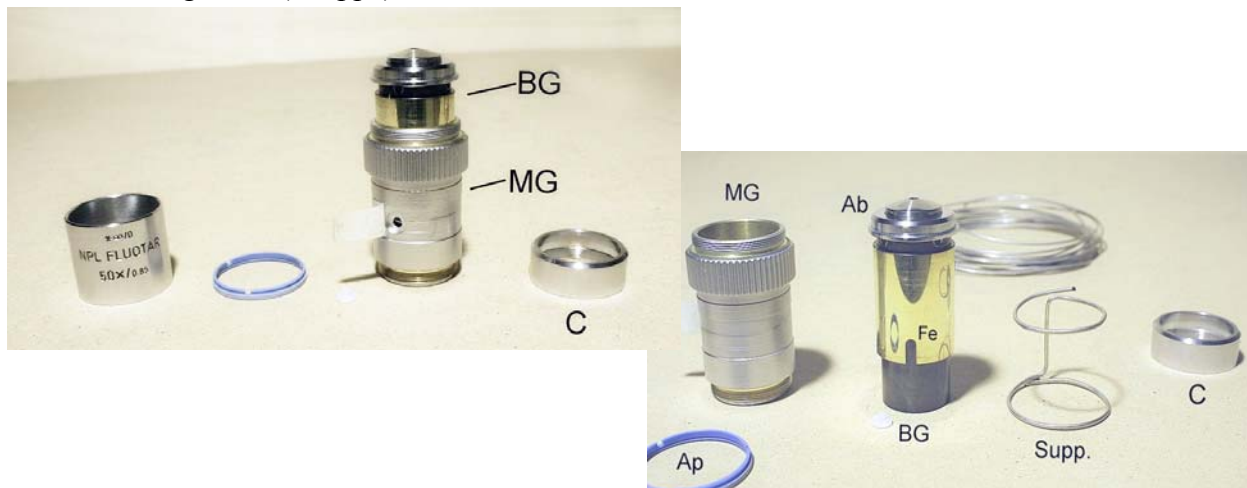


Fig. 63 a/b - Objectif Leitz 50/0,85 Epi avec le barillet général retenu vers le bas par la bague C. Remarquez que cet objectif a été photographié en position inversé, avec la frontale en haut.

À la fin, l'objectif apparaît comme en Fig. 64 et on peut le visser sur le revolver sans que le barillet BG tombe.

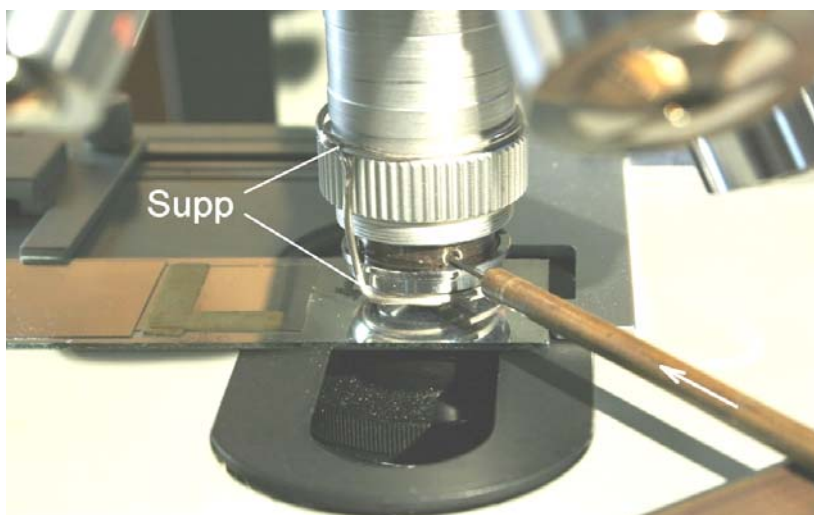
Fig. 64 - L'objectif de l'illustration précédente, remonté sans la bague qui retient BG (C), mais avec la cagette "Supp", qui permet d'accéder aux trous de centrage (fléchettes blanches).



Fig. 65 - L'objectif de l'illustration précédente, en position de travail, avec la cagette (Supp) qui retient le barillet général BG.

C'est dans ces conditions qu'on centre la lentille flottante, pendant qu'on s'observe une centrique au centre du champ.

On voit l'outil qui pousse sur la lentille flottante (flèche blanche).



Placé sur le revolver, l'objectif peut être centré comme d'habitude au moyen de l'outil déjà décrit, pourvu de la pointe de 1 mm de diamètre (fig. 39/a, pag. 45). Les petits coups donnés sur la queue de l'outil vont évidemment en direction de la flèche.

L'intuition, après quelque tentative, nous dira dans quel autre trou convient pousser, si le résultat n'est pas encore satisfaisant.

## LE RÉASSEMBLAGE

Remettre ensemble les pièces d'un appareil démonté en général est simple: il suffit de répéter à reculons les opérations achevées pendant le démontage. Naturellement avec quelque attention pour les points critiques. Nous en rappelons quelqu'un.

Quand on serre les différentes parties métalliques au contact avec les lentilles, barillets en particulier, éviter un excès de tensions et les chocs, pas seulement pour éviter des ruptures, mais pour ne pas soumettre les lentilles à des pressions localisées qui créeraient des tensions internes et une biréfringence induite (« de contrainte ») (voir dans ce site l'art. n° 7, "La mise en œuvre du microscope polarisateur").

Pendant qu'on recompose le paquet des lentilles, éviter chaque corps étranger, pépins de poussière ou ébréchures ("baves", dans les arêtes des parties métalliques):

1) dans les surfaces de contact entre les différents barillets pour éviter qu'ils ne se trouvent plus parallèles entre eux;

2) dans les surfaces latérales des barillets mêmes, à fin que ne devienne pas difficile leur réinsertion dans le barillet général.

Tels corps étrangers et ébréchures font aussi perdre aisément l'équilibrage, au moins entre les objectifs les plus forts.

Comme on a déjà dit, attention maximale quand on manipule les éventuelles anneaux-espace, spécialement entre la frontale et la lentille suivante. Ils sont très minces.

Toutes les opérations de remontage doivent être exécutées dans une pièce très propre, fermée, sans courants d'air: le moindre fil, fibre textile ou autre, portés par l'air, peut se déposer sur la surface des lentilles et y rester attaché pour des phénomènes électrostatiques ou de simple adhésion.

On travaille sur une table couverte d'une feuille en plastique, déjà nettoyé avec une toile humide (justement pour réduire les charges électrostatiques). Quand toutes les lentilles sont nettoyées et prêtes pour le remontage, commencer par l'émergente et l'appuyer sur la table comme il arrive dans l'objectif renversé; puis on superpose une à une toutes les autres avec les éventuels anneaux-espace. À la fin, on doit trouver sur la table l'entier "paquet des lentilles", comme on voit dans la fig. 49 (pag. 50), avec la frontale en haut.

À mesure qu'on superpose un barillet à l'autre, contrôler d'abord avec le stéréoscopique que chaque lentille soit resté propre, chasser les derniers fils de poussière avec un petite poire en caoutchouc (celles pour clystère, du n° 6 ou n° 7), et couvrir chaque fois le tout avec une petite boîte à pellicules ou un petit verre pour liqueurs; à la prochaine lentille, soulever le petit verre, appuyer le lentille et recouvrir. Fini le recouvrement des barillets particuliers, prendre le barillet général ou la monture générale qui doit les contenir (renversée) appuyez-la sur le paquet et pousser vers le bas délicatement. Si on rencontre une résistance, cela signifie que quelqu'un des barillets n'est pas centré et il fait saillie de la pile des autres. Il faut le déplacer avec des légers mouvements latéraux.

Quand le paquet des lentilles est tout rentré dans le barillet général, on ne peut plus pousser au-delà. Alors, pour que le paquet soit comprimé à fond dans le barillet général, pousser encore sur le barillet émergent avec un tube en plastique comme celui de la fig. 44/46 (pag. 48/49). Soi-

gner que son diamètre soit un peu plus petit que celui du barillet émergent.

Dans les deux derniers paragraphes on a tacitement fait référence à des structures “normales” comme celles des figures 41, 42, 43, 45, 47 - 49 dans lesquelles le paquet des lentilles entre dans le barillet général du haut (considéré en position normal de travail): dans ces cas on pousse sur le barillet émergent. Dans les cas “inverses” (fig. 49 et 50 a/b), par contre, le paquet des lentilles s’introduit par-dessous, en poussant sur la frontale avec les mêmes soins: pour ne pas endommager le barillet frontal il faut utiliser encore le tube des figures 44 - 46.

Tous ce qu’on a dit jusqu’ici présente les difficultés et les risques de la réparation et du contrôle d’un objectif défectueux.

Ca vaut la peine ?

Dans chaque pièce d’un microscope il y a des siècles d’études, d’expériences, de travail.

Cela mérite un peu de respect.

G.P Sini - Via D’Azeglio 5  
I 40017 - S. Giovanni Pers. (BO)  
051-68 10 849 – 339-71 54 957  
En Été: 0463-90 30 86

Pour commander des réseaux et star-test: par ex.:  
Graticules Ltd, Sovereign Way, Tonbridge, Kent (UK)  
Edmund Inc. ([www.EDMUNDOPTICS.EU](http://www.EDMUNDOPTICS.EU)), etc.