

coup de Zoom sur les Zooms

par M. Baluteau d'après une conférence de l'AFITEC

Les objectifs de focale fixe n'ont plus de secrets pour nous : ils agissent à peu de choses près, comme une lentille unique de même distance focale. Mais les zooms, comment peuvent-ils exister ? Sur quels principes sont-ils conçus ? C'est à ces questions que répond cet article.

CONCEPTION ET STRUCTURE DES ZOOMS

Un zoom est un objectif qui donne, d'un objet fixe, une image dont la grandeur peut varier de façon continue et dont la position reste fixe. Ce type d'objectif, couramment utilisé par les cinéastes et les photographes, n'est pas cependant l'apanage de la prise de vues ou de la projection. On le retrouve dans tous les appareils d'optique perfectionnés : microscopes, loupes binoculaires, appareils de restitution, endoscopes, périscopes, lunettes de visée ou d'observation, simulateurs divers, etc. Le rapport des dimensions extrêmes atteintes par les images d'un même objet est appelé le rapport du zoom. Selon les fonctions assignées à l'objectif, ce nombre varie entre 1,5 et 20. Théoriquement il n'existe pas de limite supérieure ; c'est le plus souvent des considérations d'encombrement et d'aberrations qui interdisent les rapports très élevés.

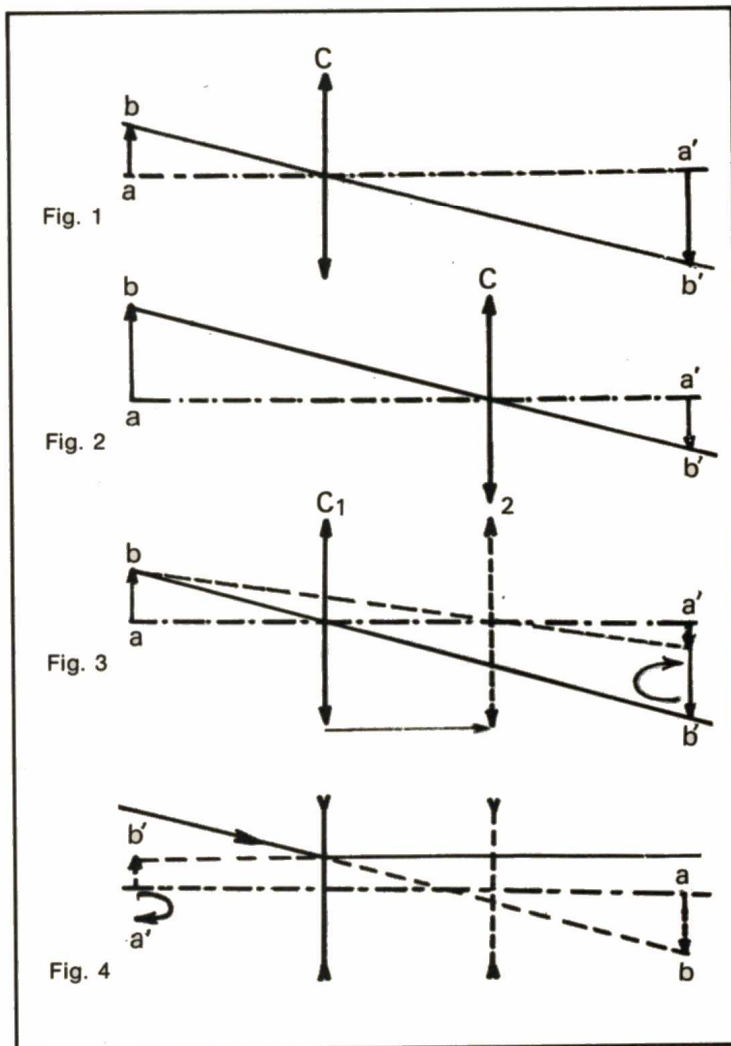
Dans l'exposé qui suit, nous allons décrire les différentes structures de zooms et les classer par familles en dégagant pour chacune d'elles les principales caractéristiques. Nous n'utiliserons aucune formule ; en nous aidant le plus possible de schémas simples nous ne ferons appel qu'à des notions élémentaires d'optique.

La variation de la grandeur d'image, c'est-à-dire de la distance focale de l'objectif, est généralement obtenue en déplaçant certaines lentilles. Mais ces déplacements ne sont pas quelconques puisqu'ils faut maintenir constamment l'image dans un plan fixe. Il existe bien des façons de réaliser ces mouvements.

Supposons tout d'abord qu'une lentille convergente C (fig. 1) donne un objet réel AB une image réelle A'B' deux fois plus grande par exemple. En vertu du principe du retour inverse de la lumière, si nous disposons d'un objet en A'B' et que nous renversons le sens des rayons lumineux, la lentille C formera en AB une image deux fois plus petite. Pour conserver le sens de la lumière de la gauche vers la droite, nous pouvons faire tourner la figure 1 d'un demi-tour sur elle-même. Nous obtenons la figure 2 et l'examen des deux schémas nous permet d'affirmer : lorsqu'une lentille convergente donne d'un objet réel AB une image réelle A'B' avec un grandissement γ ($\gamma = \frac{A'B'}{AB}$), il existe toujours une seconde position de la lentille pour

laquelle celle-ci reforme une image dans le même plan A'B' avec un grandissement inverse $\frac{1}{\gamma}$. On démontre d'ailleurs facilement qu'il n'y

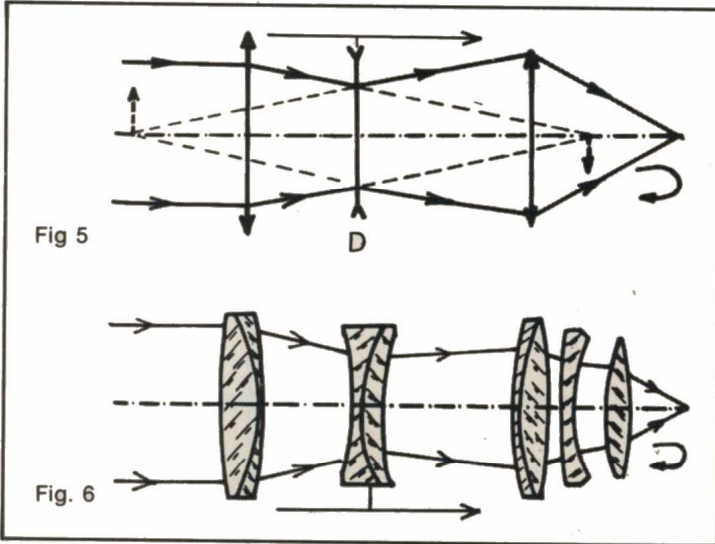
a pas d'autre position privilégiée assurant la conjugaison des plans AB et A'B'. Sur la figure 3, la lentille C est rendue mobile et se déplace de la position 1 à la position 2. Nous savons déjà qu'aux deux extrémités de la course les images A'B' sont dans le même plan de front et que le rapport de leurs tailles est $2 : 0,5 = (4 \gamma^2)$ dans le cas général). Que se passe-t-il quand la lentille est en position moyenne ? Il est facile de répondre si l'on se rappelle que la distance objet réel — image réelle est minimum lorsque la lentille « travaille » au grandissement — 1. Par conséquent, en position intermédiaire, l'image A'B' se rapproche de l'objet AB et quand la lentille C effectue toute sa course, cette image exécute un aller et retour comme l'indique la figure 3.



On peut répéter rigoureusement le raisonnement précédent lorsqu'on remplace la lentille convergente C par un élément divergent D, l'objet et l'image étant alors virtuels. La nouvelle disposition est expliquée par la figure 4 ; les rayons lumineux allant former l'objet AB sont interceptés par la lentille divergente et, après réfraction dans celle-ci, semblent provenir de l'image A'B'. Quand la lentille passe de la position 1 à la position 2, l'image A'B' effective, comme précédemment, un mouvement d'aller et retour. Pratiquement l'objet virtuel est donné par une lentille frontale convergente et l'image virtuelle A'B' est reprise et rendue réelle par une seconde lentille convergente (fig. 5). On obtient alors la structure de la plupart des zooms utilisés en projection, le plan de l'image finale étant celui du film. Ils sont d'une conception fort simple puisqu'ils ne possèdent qu'un seul groupe mobile en translation. L'image par contre, n'est pas rigoureusement fixe et ce n'est pas un défaut pour ce type d'objectif, car la variation de focale n'est utilisée que pour le cadrage sur l'écran. Peu importe si au cours de cette opération l'image devient un peu floue : la mise au point est toujours affinée avant la projection. En général, le rapport de ces zooms ne dépasse pas 1,5 et le déplacement du foyer par rapport au film est de l'ordre du dixième

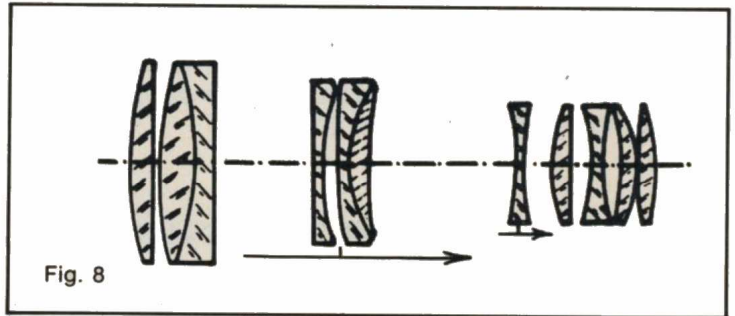
de millimètre. La figure 6 donne une silhouette d'un zoom conforme à la description précédente : les lentilles minces sont remplacées par des lentilles épaisses de puissances équivalentes, certaines étant formées de deux éléments collés. La cambrure de chaque élément est calculée de façon à obtenir une image de bonne qualité.

En prise de vues, il est indispensable de résorber le déplacement résiduel de l'image par rapport au film ou, tout au moins, de le réduire à une faible valeur, de l'ordre de 0,01 millimètre. Pour atteindre ce but, nous savons qu'il est nécessaire d'introduire dans le système optique un second déplacement. Mais comment procéder en partant par exemple de la figure 5 ? On peut opérer de deux façons très différentes chacune d'elles engendrant une famille particulière de zooms.



tion dérivée où les deux premières lentilles sont mobiles. Ces différents zooms constituent une famille très répandue ; ils sont caractérisés par le déplacement important d'un élément qui réalise, à lui seul, la variation de focale et par un second déplacement d'amplitude beaucoup plus faible dont le rôle est d'assurer la fixité de l'image. La figure 8 représente un exemple en lentilles épaisses.

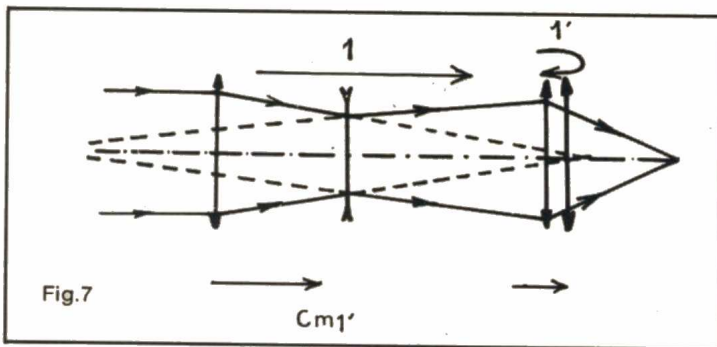
Reprenons la figure 5 ; nous avons constaté qu'à la position moyenne de la lentille mobile, l'image se forme trop loin. Pour la maintenir dans le plan du film, il faudrait qu'en cette position la focale de la divergente s'allonge légèrement. Or, un moyen simple de modifier la distance focale d'un groupe consiste à le dédoubler en deux éléments de même signe, séparés par un petit intervalle d'air et à faire varier cet intervalle (fig.8). On vérifie facilement que la



focale d'un groupe formé de deux lentilles divergentes écartées s'allonge lorsque les deux lentilles se rapprochent l'une de l'autre. Ainsi que les figures 9a, 9b, 9c, le groupe mobile est constitué de deux éléments dont l'écartement varie avec la position du groupe. On peut donc stabiliser parfaitement l'image sur le film. L'intervalle est identique aux extrémités de la course et minimum en position moyenne. Les deux lentilles mobiles sont commandées par l'intermédiaire de deux cames différentes. Nous dirons que ce nouveau mode de compensation mécanique est de deuxième espèce (CM2) pour bien le distinguer du type précédent ; en effet, les deux mouvements ont ici des amplitudes comparables et les deux lentilles jouent le même rôle. Beaucoup de zooms récents sont issus de ce type dont il existe plusieurs variantes où l'on a détruit la symétrie de fonctionnement du groupe mobile, l'intervalle minimum ne correspondant plus au milieu de la course.

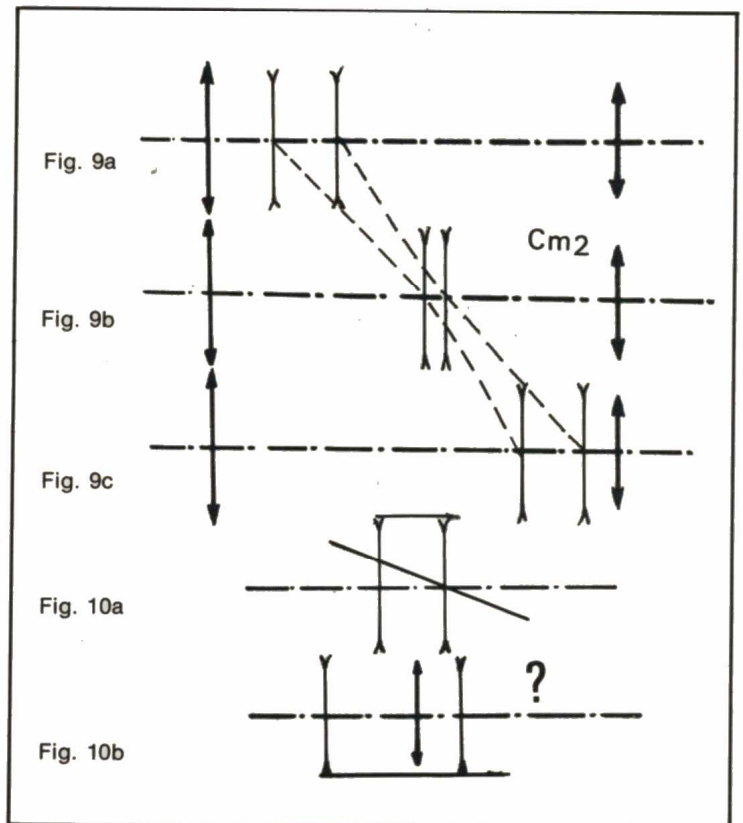
à suivre

Nous avons vu qu'après la lentille divergente mobile l'image virtuelle exécute un petit mouvement d'aller et retour. Or, si nous disposons derrière cette lentille un élément convergent en prenant soin de maintenir toujours en coïncidence son foyer objet avec le centre de l'image, nous réalisons un système afocal quelle que soit la position



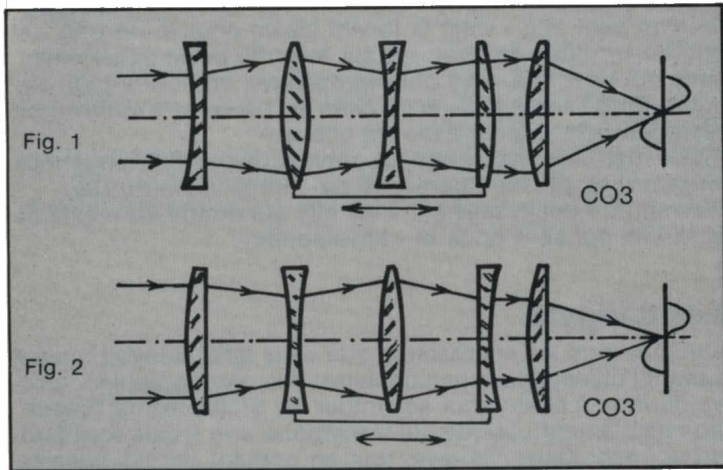
de la lentille divergente (fig. 7). Il suffit d'adjoindre à ce dispositif un élément convergent fixe pour focaliser l'image sur le film. Par les déplacements simultanés 1 et 1' des deuxième et troisième éléments nous obtenons bien un zoom donnant théoriquement une image absolument fixe ; nous l'appellerons zoom à compensation mécanique de première espèce (CM1). La came commandant le mouvement d'aller et retour 1' pose quelques problèmes d'usure et de réglage. Il est possible d'éviter l'aller et retour en limitant les déplacements à la première ou la seconde moitié de la course (CM1'). Bien entendu, pour conserver la même variation de distance focale, la lentille divergente devra « travailler » en fin de course à un grandissement $(\gamma \text{ ou } \frac{1}{\gamma})$ plus important $(\gamma^2 \text{ ou } \frac{1}{\gamma^2})$ Cette variante où les

organes mobiles se déplacent dans le même sens a donné lieu à de nombreuses réalisations pratiques. Pour réduire l'encombrement du système on approchera vers la divergente la lentille frontale ou la partie postérieure du zoom selon qu'on utilise la seconde ou la première moitié de la course. D'autre part, le retournement du système afocal qui n'affecte pas la mise au point sur le film, donne une solu-



Rien n'est simple, tout se complique. Même les zooms. Ceux des nouvelles générations comportent parfois plus de vingt lentilles réparties en dix ou douze groupes. Mais leurs qualités sont telles qu'ils résistent souvent à la comparaison avec des focales fixes.

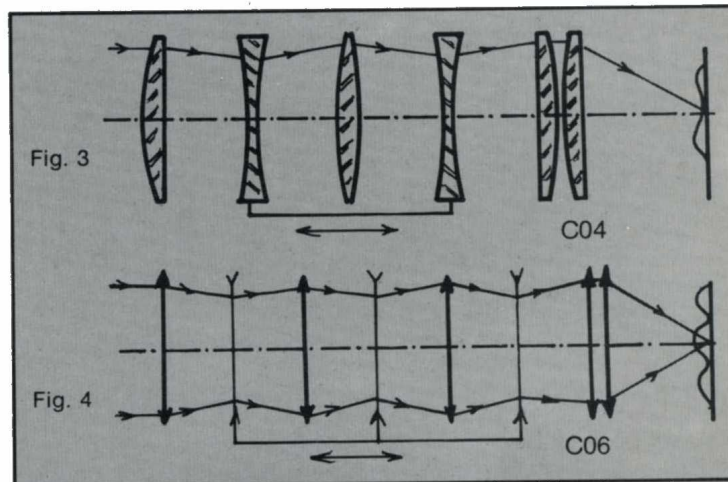
Les zooms que nous allons décrire, ce mois-ci, sont supposés être constitués d'un système afocal à grossissement variable et d'un objectif fixe qui focalise l'image sur l'émulsion.



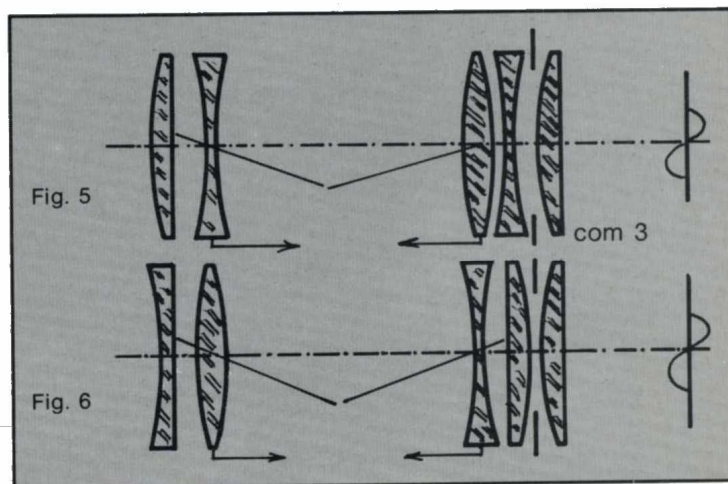
1° Le système afocal comporte quatre éléments dont les deuxième et quatrième sont mobiles et liés entre eux (fig. 1 et 2) ; pour un rapport donné des grossissements extrêmes, on peut déterminer la puissance de chaque élément de façon que l'image passe trois fois par la même position. L'amplitude des déplacements de l'image est négligeable si le rapport ne dépasse pas 3 et l'ouverture $F/2,8$. Le calcul fournit plusieurs solutions dont les plus intéressantes sont celles où les lentilles mobiles sont de même signe, convergentes ou divergentes, et les lentilles fixes du signe opposé ; ce sont elles en effet qui conduisent à la meilleure qualité. Remarquons que si l'objet est à l'infini ou à grande distance, l'équipement mobile peut être constitué soit par le deuxième et le quatrième éléments, soit par le premier et le troisième. C'est un mouvement relatif. Ces zooms forment la famille dite à compensation optique à trois passages (CO3).

2° Le système afocal comporte cinq éléments dont le deuxième et le quatrième sont mobiles et solidaires, les trois autres restant fixes (fig. 3). On peut calculer la puissance des éléments pour que l'image passe quatre fois par la même position. L'amplitude des déplacements résiduels est beaucoup plus faible que dans le zoom précédent. Ce type de compensation optique à quatre passages autorise un rapport plus élevé, de l'ordre de 5. La solution intéressante est celle où les lentilles mobiles sont encore de même signe ; les éléments sont alors alternativement convergents puis divergents et l'ensemble forme un système symétrique en puissances. Cette solution a assuré le succès des zooms appelés « Pan Cinor », succès couronné d'ailleurs par un Oscar à Hollywood.

3° D'une façon plus générale le système afocal comporte n groupes où les éléments de rang pair sont solidaires et mobiles ; on peut déterminer une courbe d'amplitude à $n-1$ passages. Mécaniquement le dispositif est séduisant car malgré sa simplicité il permet un rapport élevé ; par contre, l'optique devient complexe quand le nombre des groupes de l'afocal est supérieur à 5 (fig. 4).



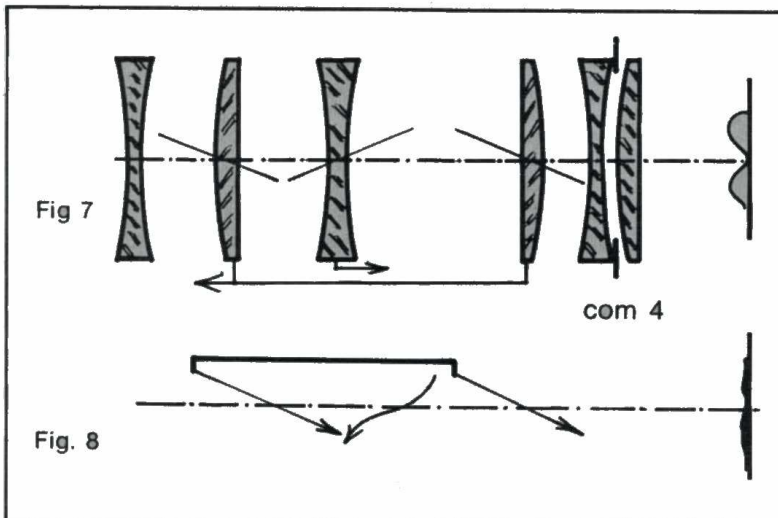
Tous ces zooms à compensation optique ont l'avantage évident d'être indéréglables, puisque le seul déplacement possible est celui de l'équipage mobile dont les translations, par construction, n'affectent pas la fixité de l'image. Il n'est plus besoin de caler soigneusement, comme précédemment, chaque élément mobile sur sa rampe. La commande du baladeur est réalisée soit par une fourchette, soit par une rampe hélicoïdale où le galet peut avoir du jeu sans aucun dommage. De plus, l'hélice, faisant un angle constant avec les génératrices du cylindre sur lequel elle s'enroule, se prête fort bien à une commande par moteur à qui elle réclame un couple d'entraînement constant. Malheureusement ces zooms ont deux limites :
 — d'une part, la répartition des puissances, dont on n'est pas maître, entre les différents groupes ne permet pas de capter un champ supérieur à 40 degrés, en position grand angle, sans introduire une distorsion gênante ;
 — d'autre part, les déplacements résiduels de l'image deviennent importants quand le rapport du zoom dépasse 6.
 Aussi a-t-on recherché d'autres structures où l'on conserve la plupart des avantages précédents. On s'est orienté vers les systèmes à deux déplacements constamment proportionnels, ne nécessitant, par conséquent, que l'utilisation de deux hélices. Les plus simples sont schématisés sur les figures 5 et 6 : la deuxième et la troisième



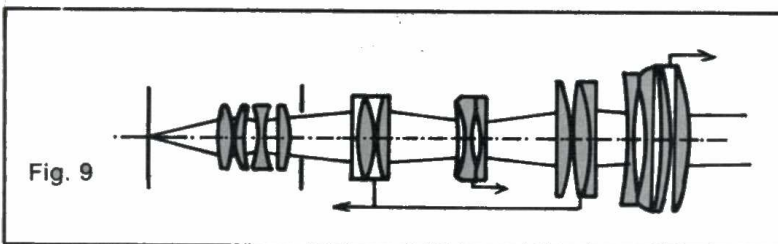
lentilles sont de signes contraires et sont animées de mouvements inverses et proportionnels. Grâce à un choix judicieux des distances focales des trois premiers éléments, l'image peut passer trois fois par la même position. Ces systèmes à compensation opto-mécanique (COM3), utilisables pour les faibles rapports conduisent à des réalisations faciles où toutefois les jeux doivent être éliminés.

Pour des rapports plus élevés, on utilise la structure représentée par la figure 7. C'est celle du Pan Cinor à quatre passages (CO4) où la lentille médiane se déplace à l'encontre du baladeur et de façon proportionnelle.

Les avantages des rampes hélicoïdales sont conservés : pas d'origine précise dans les mouvements et commande facile des organes mobiles. Il est possible de déterminer les focales mobiles. Il est possible de déterminer les focales des éléments de façon que l'image passe 4 fois par le plan du film et la supériorité de ce zoom sur le Pan Cinor est que la répartition des puissances ainsi calculées est favorable à la correction des aberrations, même si le champ en position grand angle est élevé et dépasse 60 degrés. Quand le rapport est supérieur à 6, les décrochements de l'image ne sont plus négligeables.



Pour les annihiler on fausse alors un peu l'hélice commandant la lentille prisonnière du baladeur, comme l'indique la figure 8. Pratiquement la rampe, dont les deux extrémités et le point central ne sont pas modifiés, reste très proche d'une hélice et en conserve les avantages. Somme toute, cette disposition est capable à la fois d'un grand rapport et d'un grand champ. Une silhouette d'un tel système est tracée sur la figure 9. La plupart des solutions à compensation optique ou optico-mécanique sont brevetées par Sopelem, les plus anciennes étant d'ailleurs tombées dans le domaine public. Mais beaucoup de firmes ont repris avec bonheur les systèmes à compensation mécanique grâce à des montages soignés et astucieux.



Nous terminons par trois importantes remarques générales. Quel que soit le principe de fonctionnement, un variateur est conçu pour « travailler » entre deux plans conjugués bien déterminés. Quand l'objet se rapproche, il est indispensable de replacer l'image en position correcte avant la première lentille mobile. Aussi doit-on faire la mise au point par l'élément frontal si l'on veut conserver la fixité de l'image. D'autre part, l'éclairement sur le film reste identique en cours de travelling, si l'ouverture du cône des rayons formant le point central de l'image, est constante. C'est pourquoi le diaphragme est toujours placé après les organes mobiles. Cette position reculée entraîne souvent une hypertrophie de la tête de l'objectif quand on désire limiter les chutes de lumière au bord du format. Enfin, quand on conçoit un zoom on commence par choisir sa structure en fonction du programme que doit remplir l'objectif. Mais il reste à faire un travail difficile : la correction des aberrations pour toutes les positions des éléments mobiles. C'est souvent d'elle que dépend la qualité de l'objectif car maintenant les difficultés mécaniques semblent maîtrisées.