

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 92 (1966)
Heft: 2

Artikel: Problèmes de fabrication dans le domaine des appareils cinématographiques
Autor: Erni, Théophile
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68340>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)
de la Section genevoise de la SIA
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique
de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-
technique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Groscurin, arch.; J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Autorité: D. Bonnard, ing.
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre.
arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua,
architecte
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 40.—	Etranger	Fr. 44.—
Sociétaires	»	» 33.—	»	»
Prix du numéro	»	» 2.—	»	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,
N° 10 - 5778, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

ANNONCES

Tarif des annonces:	
1/1 page	Fr. 385.—
1/2 »	» 200.—
1/4 »	» 102.—
1/8 »	» 52.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. 1000 Lausanne et succursales



SOMMAIRE

Problèmes de fabrication dans le domaine des appareils cinématographiques, par Théophile Erni, ingénieur EPF.
Autorité. Essai de démystification et d'objectivation et tentative d'analyse rationnelle, par Paul Gaillard, ingénieur EPUL-SIA.
Bibliographies. — Les congrès.
Documentation générale. — Nouveautés, informations diverses.

PROBLÈMES DE FABRICATION DANS LE DOMAINE DES APPAREILS CINÉMATOGRAPHIQUES

par THÉOPHILE ERNI, ingénieur EPF, Paillard S.A., Sainte-Croix (Vd).

I. Introduction

La fabrication des appareils cinématographiques est
caractérisée par quatre points :

1. La diversité

Les appareils de cinéma sont devenus des ensembles
très complets et très complexes touchant beaucoup de
branches de la physique, telles que la mécanique, l'op-
tique, l'électricité, l'électronique, etc. Il n'est donc pas
étonnant que ces variétés se repercutent également sur
les matières premières, et, par conséquent, sur les pro-
cédés de fabrication.

La diversité dans les matières premières utilisées est
illustrée ci-après : aciers laminés et étirés, alliages
d'aciers, métaux non ferreux, aluminium et alliages
sous forme d'étiré, fontes injectées, fontes en coquille,
pièces maticées à chaud ou à froid, matières frittées,
verre, plastiques, caoutchouc, cuir, bois, etc.

Cette diversité se reflète également dans les contrôles
où, en dehors des contrôles dimensionnels courants, le

contrôle final des produits nécessite des mesures de
vitesse et d'accélération, des contrôles optiques, des
contrôles électriques, des contrôles de bruit et ronfle-
ment, des contrôles d'aspect, des contrôles de propreté.

2. Les pièces délicates et de dimensions restreintes

Lors de l'usinage, la flexibilité des pièces et le fléchis-
sissement de l'outillage doivent être pris en considération.
La manutention nécessite souvent des moyens particu-
liers protégeant les pièces contre les coups et la pous-
sière.

3. Les tolérances restreintes

Le problème des tolérances influence d'une façon pri-
mordiale toute l'activité de l'exploitation.

4. La fabrication en série

La fabrication en série justifie les efforts particuliers
pour la préparation du travail et la mise au point des
moyens d'usinage.

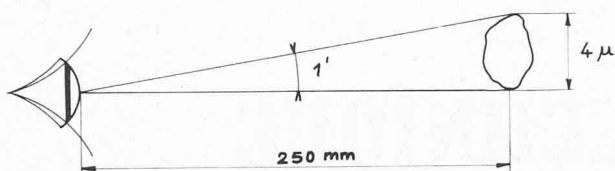


Fig. 1.

II. Problèmes particuliers

Considérons un certain nombre de problèmes typiques à cette branche.

1. Exigences de propreté

Les exigences de propreté ressortent dans l'exemple suivant : un cinéaste qui, à travers le viseur de sa caméra, observe l'image que celle-ci va enregistrer sur le film, exige qu'en dehors d'une bonne netteté aucune poussière ne se trouve dans le champ visible, même si cette poussière n'influence aucunement la qualité de l'image filmée.

Quelle est la grosseur minimum d'une poussière devenant gênante dans le viseur ? Tenant compte du pouvoir séparateur de l'œil humain qui est de l'ordre d'une minute, ceci sur une distance de 250 mm, nous obtenons, en admettant un grossissement de vingt fois de la poussière dans un viseur, la dimension latérale d'un objet visible à l'œil humain, par l'équation :

$$d = \frac{250 \times \text{tg } 1'}{20} = 12,5 \times 0,0003 = 0,004 \text{ mm !}$$

(V. fig. 1.)

Dans un système optique, seules les poussières se trouvant dans le plan de netteté de l'image, ou tout proche de ce plan, sont visibles. Dans le cas du viseur d'une caméra, nous avons deux plans de netteté : le premier plan qui est celui produit par l'objectif, et le deuxième, celui produit par le groupe inverseur dont le rôle est, en particulier, de redresser l'image.

Chaque objectif forme un faisceau de rayons qui sont « rassemblés » par des lentilles collectrices qui se trouvent près du plan de netteté de l'image. Si nous éloignons ces lentilles collectrices du plan de netteté, leur diamètre s'accroît rapidement, ce qui aggraverait d'une façon démesurée la partie optique. C'est pour cette raison que les lentilles collectrices se trouvent placées tout proche du plan de netteté, et que, précisément, les poussières qui se trouvent par hasard sur la surface de ces lentilles deviennent visibles à l'opérateur.

Sur les caméras actuelles de prise de vue, la partie optique est souvent incorporée dans la partie mécanique et électrique. Ceci depuis l'apparition des objectifs à foyer variable et l'incorporation des photomètres, ce qui augmente le danger d'infiltration de poussière pendant le montage. Malheureusement, ce n'est que lorsque la caméra est terminée que les poussières apparaissent, ce qui nécessite souvent un démontage assez important de l'appareil. Plusieurs mesures appliquées conjointement peuvent diminuer ce défaut. En premier lieu, les techniciens se transformeront en détectives et analyseront le genre de particules qui gênent, dans le but de

prendre les mesures de protection en conséquence. Il peut s'agir de particules en provenance de l'appareil (copeaux, graisse, vernis, etc.) ou extérieures à l'appareil, telles que cheveux, fils, etc.

Il faudra donc : obtenir des pièces propres au montage (lavage et dépoussiérage des pièces avant montage, entreposage dans des récipients fermés, même entre deux opérations de montage). Changer les traitements de surface (remplacement d'une pièce vernie par une pièce nickelée). Veiller à la propreté dans l'atelier de montage (blouse de travail, dernier nettoyage des pièces avant assemblage...) En dehors de ces mesures appliquées à l'exploitation, il appartient au constructeur de veiller à ce que lors de la construction d'un système optique le plan de netteté soit éloigné de la surface des lentilles, d'isoler, dans la mesure du possible, la partie mécanique de la partie optique, ainsi que la partie optique vis-à-vis de l'extérieur.

2. Assemblage des pièces

Dans les produits appartenant à la microtechnique, étant donné qu'il est question de fabrications en séries, le constructeur se trouve souvent en face de problèmes d'assemblage de pièces où il s'agit de choisir entre l'exécution de pièces avec des tolérances serrées, ce qui évite ainsi un réglage ou appairage lors de l'assemblage, et une exécution de pièces isolées dans des tolérances larges, tout en prévoyant un réglage ou appairage lors du montage.

Aussi longtemps qu'il s'agit de temps d'usinage, la comptabilité industrielle peut enregistrer les frais nécessaires pour résoudre notre équation. Par contre, dès qu'il est question de frais particuliers, tels que : frais résultant d'un réglage plus soigné, d'un affûtage plus fréquent, d'une surveillance accrue, d'un meilleur entretien ainsi que des frais dans la formation du personnel, la comptabilité industrielle enregistre ceux-ci dans le compte des frais généraux de fabrication. Il est donc difficile, voire impossible, de résoudre ce problème avec l'aide de la comptabilité industrielle. Le choix entre les deux procédés serait facile en comparant les frais spécifiques de chacun. Une enquête statistique faite pour un certain nombre d'opérations donne le résultat suivant : une opération de réglage au montage nécessite en moyenne un temps de l'ordre de 5 mn = 300 s. Une opération destinée à augmenter la précision d'exécution d'une pièce, telle qu'un rectifiage par exemple, nécessite un temps moyen d'environ 40 s. En prenant en considération le coût résultant de l'emploi d'une machine-outil (frais d'amortissement, frais d'intérêt, frais d'électricité, etc.) qui, d'une façon générale, équivaut au prix de l'heure main-d'œuvre, nous pouvons dire qu'une opération de fabrication coûte le double d'une opération de réglage au montage, ceci pour un même temps alloué. L'opération de rectifiage de 40 s vaut, en fait, 80 s ; en y ajoutant pour la surveillance, l'affûtage, etc., environ 10 s, nous obtenons un temps total de 90 s, que nous opposons aux 300 s.

Ceci amène à la conclusion qu'entre l'exécution d'un ensemble de pièces dans des tolérances précises, ou ce même ensemble dans des tolérances moins précises, mais en y prévoyant une opération de réglage, la règle suivante est valable : Une opération de réglage est en général avantageuse si elle permet de supprimer au

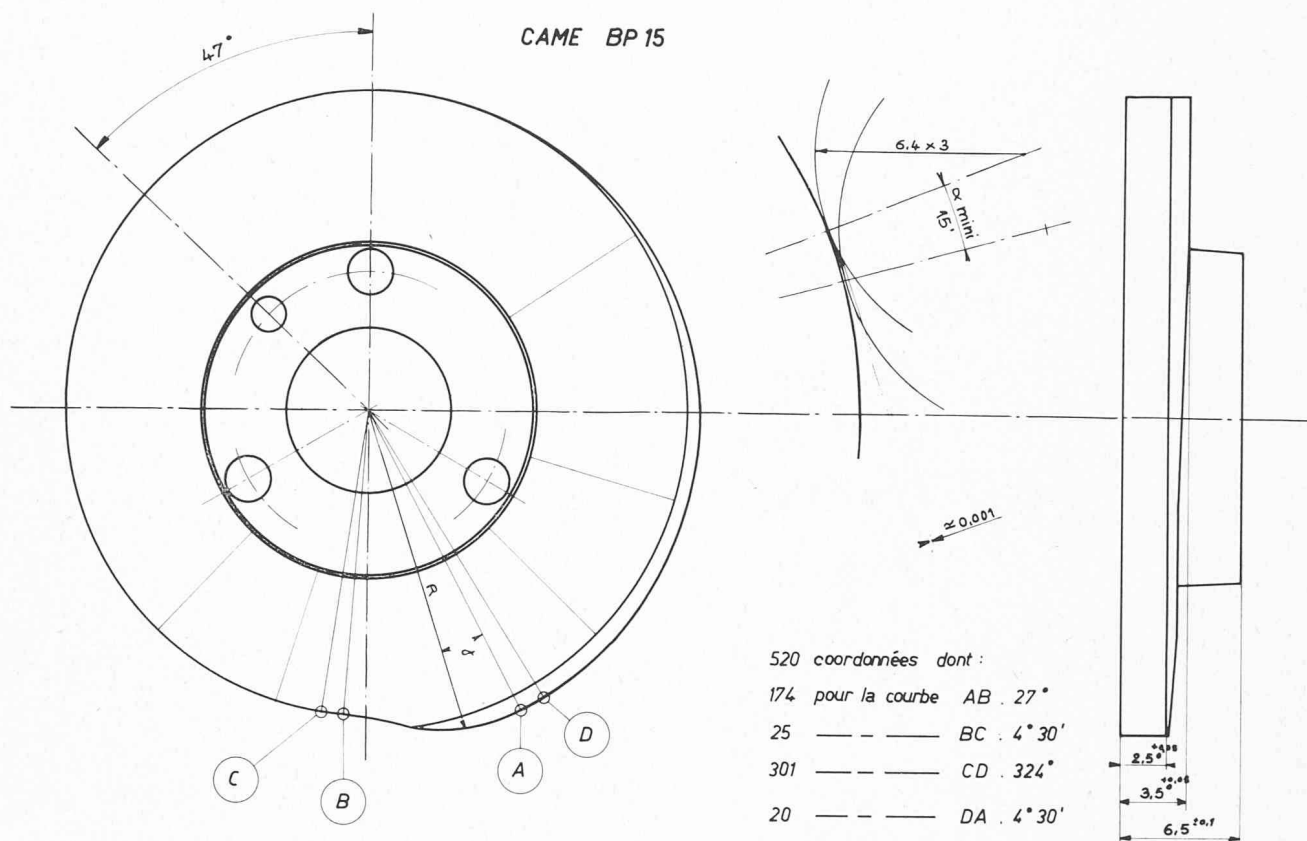


Fig. 2.

moins trois opérations destinées à augmenter la précision des pièces isolées. Elle est également avantageuse lorsque la précision ne peut être obtenue que moyennant des investissements supplémentaires, ceci surtout dans le cas de petites séries.

3. Fabrication d'une came

Dans le domaine des appareils cinématographiques, la fabrication d'une came est un problème souvent posé. Tant qu'il s'agit d'exécuter des comes dont le pourtour se compose de lignes droites reliées entre elles par des rayons constants, la fabrication est relativement simple. Mais, par contre, dès qu'il s'agit de comes dont le pourtour est défini par une courbe quelconque, le problème se complique, en particulier pour l'exécution de l'outillage.

La figure 2 montre schématiquement une came utilisée dans un projecteur pour le mouvement du film. Le pourtour de cette came est défini par 520 coordonnées polaires, la densité des points étant choisie en fonction des tolérances nécessaires. Le nombre de points définissant la courbe de la came doit être choisi en fonction du rayon du palpeur dans le but d'obtenir un défaut minimum entre deux points donnés lors de la confection de l'outillage. La came de série a été exécutée en fer-bronze fritté. Les tolérances admises sur le pourtour étant de l'ordre de 0,01 mm, une opération de tournage par copiage a dû être exécutée. La came de référence utilisée pour le tournage étant sujet à usure lors de la fabrication en série, une came mère représentant la came étalon de base a été prévue. La came étalon est

exécutée en fonte stabilisée, sa dimension est trois fois plus grande que la came de référence, respectivement la came de série. L'usinage de la came s'effectue sur une machine à pointer moyennant plateau diviseur. La descente de la came est taillée après que la machine ait tourné à vide durant deux à trois heures. Le diamètre de la fraise utilisée correspond exactement au diamètre du palpeur de la pièce de série, compte tenu du rapport d'agrandissement. Pour trouver le chemin du centre de la fraise, il est nécessaire de calculer les coordonnées point par point du centre du palpeur de la pièce pour obtenir une courbe exacte. La tolérance de forme est de $\pm 0,01$ mm. Le contrôle s'effectue sur machine à mesurer : 3 mesures avec un doigt ayant le diamètre de la fraise. Erreur estimée : $\pm 0,005$ mm.

La came de référence. En partant de cette came mère, un certain nombre de comes de référence sont exécutées en acier trempé. Pour ces comes, nous obtenons une tolérance de l'ordre de $\pm 0,015$ mm. Les pièces de séries ensuite obtenues par copiage au burin ont une tolérance de forme de 0,014 mm. L'erreur relativement grande de la came de référence est due à l'erreur du diamètre de la meule, aux vibrations de la machine ainsi qu'aux erreurs relatives au rapport de transformation. Le contrôle s'effectue sur machine à mesurer où toutes les cotes exactes de la came, à 3 microns près, sont notées. La came de référence servira pour le contrôle entre les cotes théoriques et les cotes effectives de la came. Le rectifiage a été supprimé par suite des risques de dépôt d'abrasif dans la pièce de série. Une retouche de la came de référence est faite à la pierre à huile une fois cet élément de com-

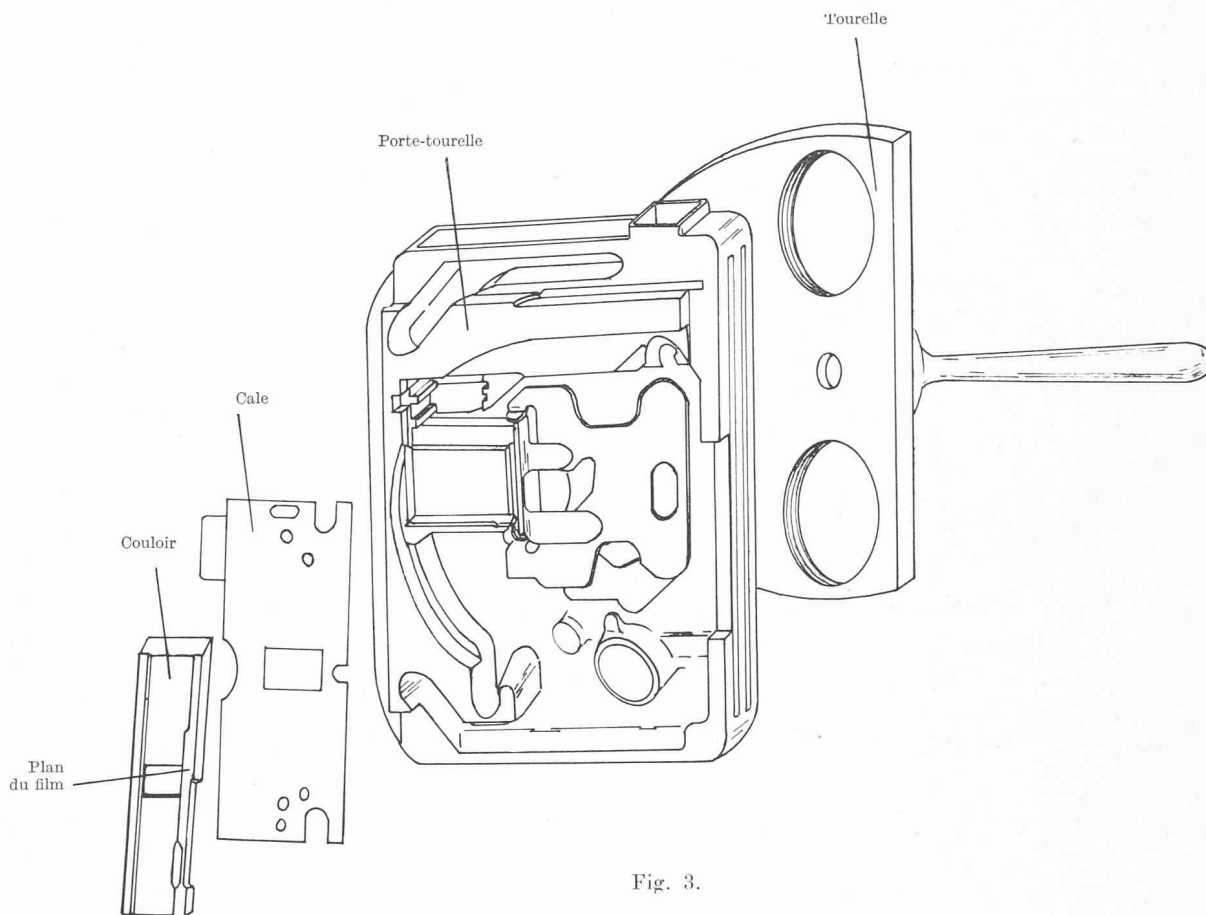


Fig. 3.

mande monté sur la broche de la machine. Le contrôle des pièces de série s'effectue au moyen d'un gabarit : nous connaissons les erreurs de la came témoin à 3 microns près, et la cote finale que nous désirons contrôler sur les pièces de série est corrigée en fonction des erreurs mesurées sur la came de référence.

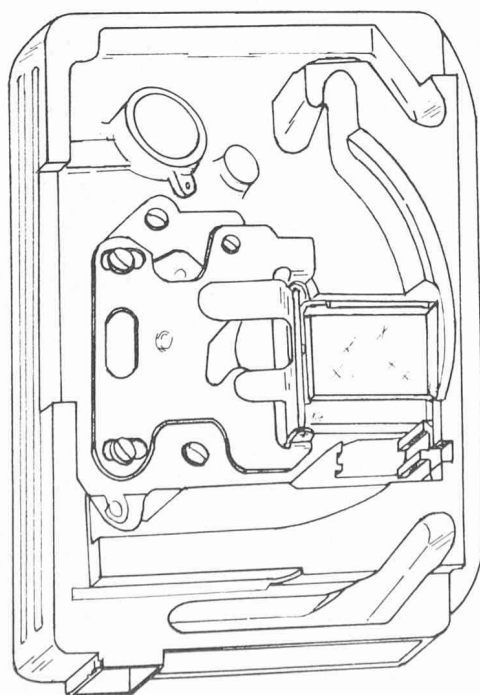


Fig. 4.

4. Tirage des caméras

Abordons maintenant un autre problème qui est celui du tirage des caméras :

Chaque amateur de photos sait que l'image d'un objet se forme à travers l'objectif, à une distance exacte de ce dernier. Cette distance entre l'objectif, plus précisément la face d'appui arrière de l'objectif, et le plan du film, est appelé *tirage*.

Considérons les pièces mécaniques qui séparent l'objectif du plan du film, illustré sur la figure 3. Il s'agit d'un ensemble de pièces prévu pour une caméra avec tourelle permettant de visser plusieurs objectifs. Cet ensemble comprend quatre pièces principales :

- a) Un porte-tourelle contenant des pièces mécaniques et optiques, par exemple : le prisme pour le prélèvement de la lumière pour le viseur.
- b) Une tourelle qui pivote sur le porte-tourelle et sur laquelle les objectifs sont vissés.
- c) Un couloir (une des pièces maîtresses de la caméra) muni des pistes pour le passage du film.
- d) Une cale.

L'assemblage de ces quatre pièces doit se faire avec une tolérance finale de $\pm 0,01$ mm entre les pistes du couloir (plan du film) et la surface d'appui des objectifs sur la tourelle.

Pour réaliser cette performance, les quatre pièces devraient être exécutées avec une tolérance d'épaisseur de $\pm 0,002$ mm si aucun appairage n'est prévu. Il est évident que l'appairage est la seule solution rentable pour les fabrications en série. Garantir la tolérance d'assemblage moyennant un appairage permet de fixer la tolérance d'épaisseur des différentes pièces à $\pm 0,02$ mm jusqu'à $\pm 0,03$ mm. Des tolérances encore plus larges

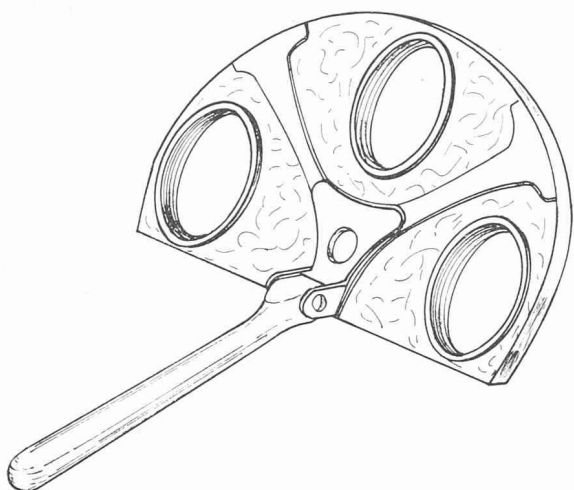


Fig. 5.

pour les pièces composant cet ensemble entraîneraient la nécessité de prévoir une quantité énorme de cales d'épaisseurs différentes. Signalons qu'en dehors de l'épaisseur, la planéité des pièces est également importante, et que les procédés de fabrication doivent être choisis en fonction de ces critères de planéité. Sous cet angle, une précision d'épaisseur de $\pm 0,02$ mm n'est plus une performance extraordinaire.

Considérons brièvement les procédés d'usinage de ces quatre pièces :

a) *Porte-tourelle* (figure 4)

Cette pièce est en fonte d'aluminium injectée. Son procédé d'usinage comprend 49 opérations : 28 opérations dans le but principal d'enlever de la matière, 9 pour améliorer la surface, 9 pour le nettoyage et 3 opérations de contrôle à 100 %.

Pour les pièces en fonte injectée, la première opération est un contrôle éventuellement suivi d'un redressage. La deuxième opération est un fraisage de la base d'appui qui sert de base de départ pour toutes les opérations suivantes. A remarquer que dans le cas du porte-tourelle cette base d'appui n'est identique à aucune des deux faces constituant l'épaisseur de la pièce qui influence le tirage. La tolérance d'épaisseur finale sera donc constituée par l'addition des tolérances résultant d'au moins deux opérations d'usinage, ce qui est un inconvénient inévitable par suite de la forme de la pièce. Les logements pour les pièces optiques doivent également être usinés malgré la précision relativement élevée des pièces de fonderie. Nous avons, par exemple, les parois coniques qui sont nécessaires pour la fonderie, mais non admissibles pour un montage de précision. L'usinage de ces logements dans la fonte injectée est un problème de série compliqué qui a été résolu en utilisant une fraiseuse à cames permettant de faire ces opérations d'une façon rationnelle. L'opération d'alumilitage et de coloration procure à la pièce une dureté suffisante (400 à 500 Hv) ainsi que la couleur noire nécessaire pour éviter des rayons parasites.

b) *Tourelle* (figure 5)

Il s'agit d'une pièce en aluminium matricée à chaud. Le procédé d'usinage comprend 36 opérations dont en particulier le redressage des deux faces sur une machine à roder, avec une tolérance d'épaisseur de 0,03 mm et une tolérance de parallélisme de 0,01 mm.

Le problème particulier dans cette pièce représente le filetage des trois trous prévus pour recevoir les objectifs. Ce filetage doit satisfaire à plusieurs exigences : malgré l'épaisseur relativement faible de la pièce (environ 4 mm), le filetage doit être suffisamment résistant pour recevoir de gros objectifs. L'entrée du filetage doit être orientée par rapport à la pièce permettant de visser les objectifs dans une position bien définie. Une opération d'alumilitage pour prévenir l'usure doit être prévue.

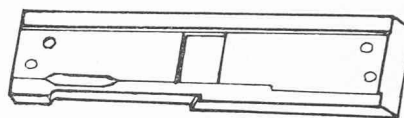


Fig. 6.

Pour toutes ces raisons, le filetage métrique fin M 32 \times 0,5 a été adopté. L'opération de filetage se fait après avoir terminé les deux faces, ceci pour permettre de repérer l'entrée du filetage. Cette opération s'effectue par fraisage moyennant quatre burins tournant sur une broche, la pièce à usiner tournant dans le même sens. L'avantage de cette opération consiste à exécuter les filetages dans un temps très court (économie d'environ 75 % par rapport à un filetage classique). Les surfaces du filet sont très propres et comparables à une qualité de rectifiage. L'échauffement de la pièce est minime et la durée des outils, sans affûtage, est remarquable (environ 10 000 pièces). L'opération d'alumilitage, malgré qu'elle n'apporte qu'une surépaisseur minimum à la pièce de l'ordre de 3 à 5 microns, entraîne la nécessité pour l'exploitation de prévoir deux genres de jauges de contrôle : une jauge permettant de contrôler le filetage avant l'alumilitage, et une jauge pour contrôler les pièces après l'alumilitage, qui tient compte de la surépaisseur résultant de l'alumilitage.

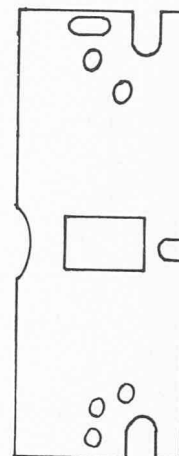


Fig. 7.

c) *Couloir* (figure 6)

Le couloir est une des pièces maîtresses de l'appareil cinématographique. Cette pièce comprend les pistes pour le passage du film et la fenêtre définissant le cadre de l'image. Le film qui défile ayant un effet abrasif sur les pistes de ce couloir, ce dernier est exécuté en acier inoxydable trempé. L'usinage comprend 54 opérations dont en particulier 5 opérations de rectifiage. La difficulté d'usinage réside dans le fait que nous devons enlever de la matière des deux côtés de la pièce tout en maintenant des tolérances serrées pour la hauteur des pistes. Une autre difficulté vient s'ajouter du fait de la minceur de cette pièce (environ 2 mm) par rapport à sa longueur, et que sa flexibilité vient compliquer le problème. La fenêtre est poinçonnée et repassée après avoir été amincie par une opération préliminaire de tournage. Le pourtour de la fenêtre doit être mince et très propre pour éviter des reflets indésirables. Le repassage donnant une surface lisse et brillante, cette dernière est rendue mate par un microsablage. A cause de sa faible épaisseur, la pièce est vissée sur des supports rigides pour les différentes opérations de rectifiage, de finition et de rodage, de la même façon qu'elle le sera lors du montage dans la caméra.

d) *Cale d'épaisseur* (figure 7)

La matière première des cales est livrée en douze épaisseurs différentes, à savoir : de 0,18 à 0,40 mm avec une différence de 0,02 mm entre chaque épaisseur. Tenant compte de la tolérance de la matière première et de l'opération de phosphatation, la tolérance pour chaque cale est de 0-0,01 mm. Suivant leur épaisseur, lors du montage, les cales sont stockées dans des casiers allant de 2 en 2 centièmes.

Les cotes des trois pièces : porte-tourelle, tourelle et couloir, ont été choisies pour garantir une épaisseur minimum de 0,2 mm pour les cales. Avec des cales triées de 2 en 2 centimètres, la tolérance finale de $\pm 0,01$ mm peut être respectée. Notons que pour éliminer les tolérances supplémentaires lors de l'assemblage au montage, les quatre pièces sont vissées ensemble (en prenant une cale d'épaisseur moyenne), sont mesurées, et ensuite, si nécessaire, dévissées pour changer de cale.

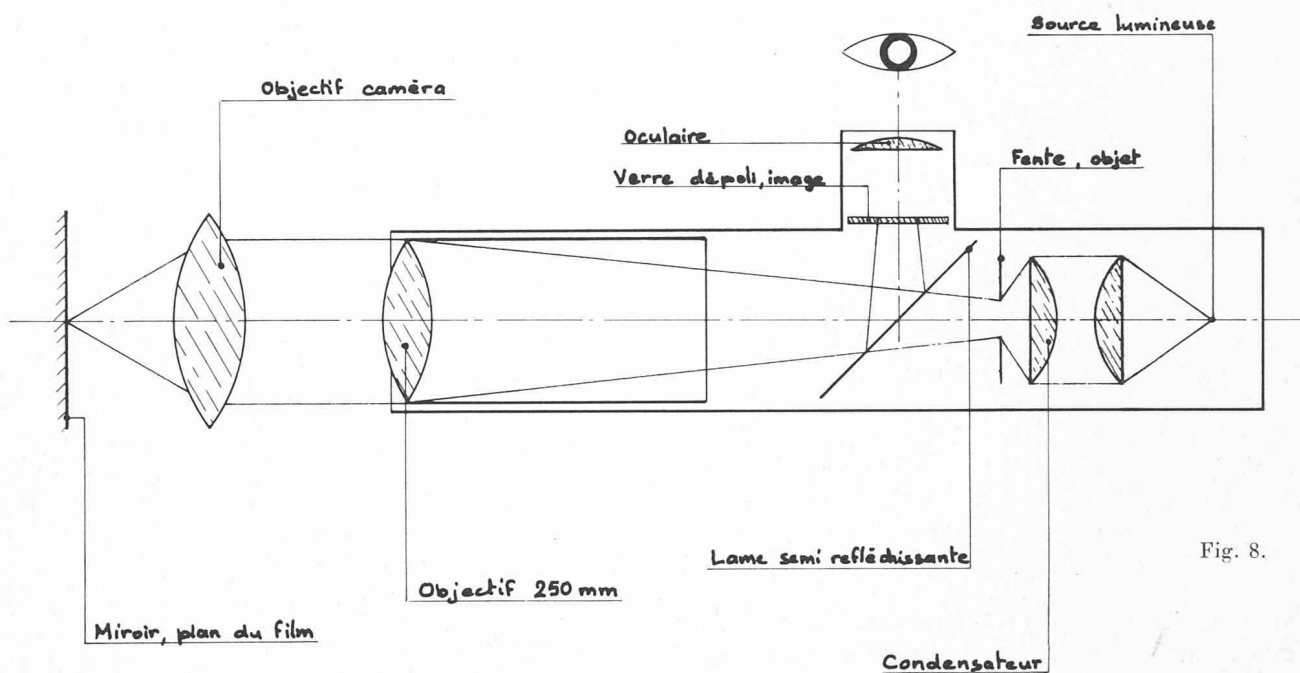


Fig. 8.

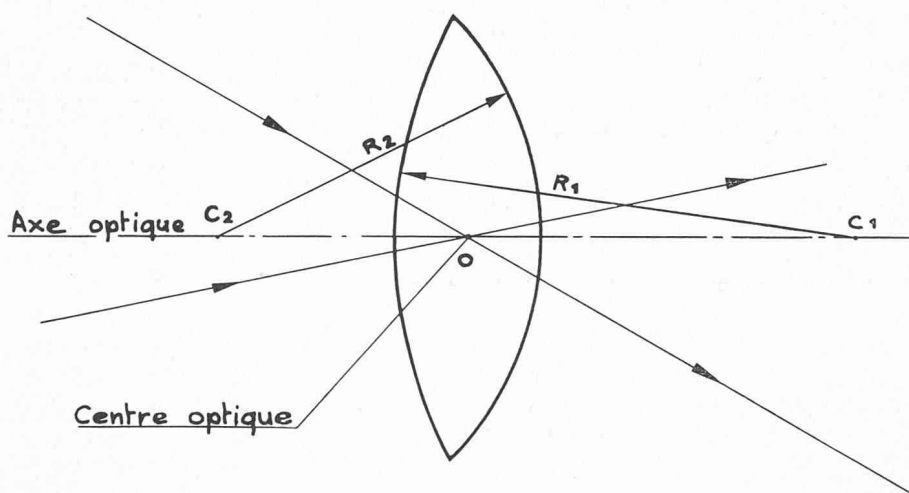


Fig. 9.

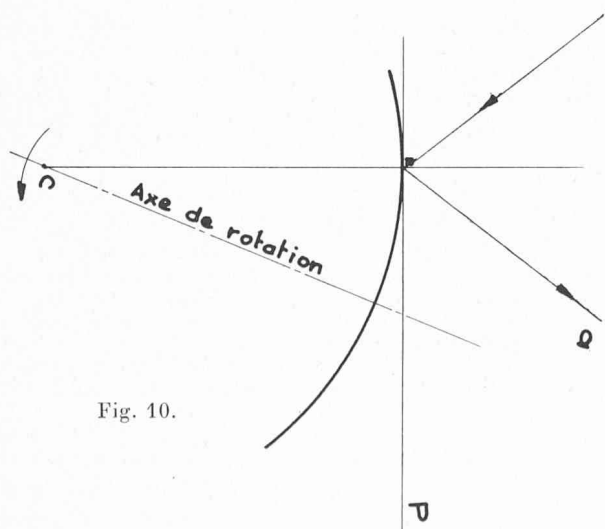


Fig. 10.

Contrôle du tirage

Après montage de la caméra, il reste à contrôler le tirage réglé mécaniquement, avec un objectif de référence, afin qu'il donne des images effectivement nettes sur le film.

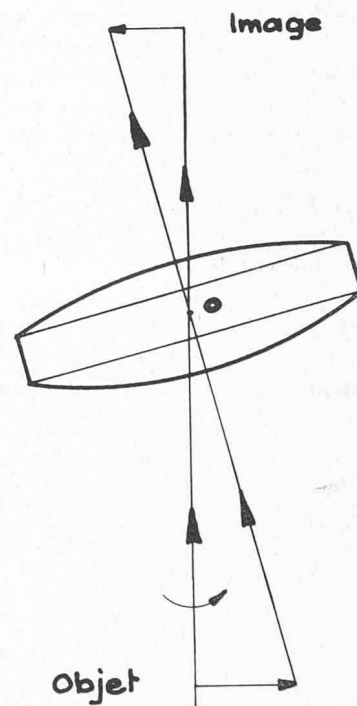


Fig. 11.

Autrefois, pour vérifier ce tirage on filmait les caméras ; aujourd'hui, bien que l'on ait maintenu le filmage pour toutes sortes d'autres contrôles, le contrôle du tirage s'effectue au moyen d'un autocollimateur (figure 8).

Nous savons qu'un objectif recevant des rayons parallèles les fait converger vers un point qui se trouve à la distance focale de celui-ci. Inversement, en plaçant une source lumineuse dans ce point, des rayons parallèles sortiront de l'objectif. En plaçant dans ces rayons une caméra avec une optique de référence, l'objectif de la caméra fera aboutir les rayons lumineux en un seul point qui se trouve précisément dans le plan du film. En

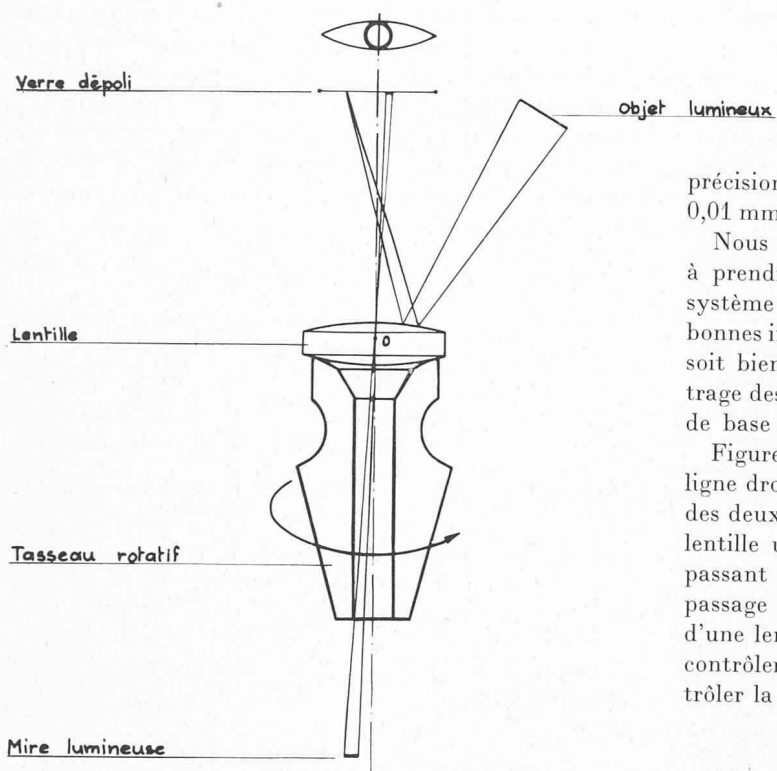


Fig. 12.

remplaçant la source lumineuse par une fente éclairée, représentant l'objet, et en plaçant un miroir dans le plan du film, l'image de la fente sera reflétée par le miroir et rendue visible au moyen d'un prisme semi-transparent sur un verre dépoli. Si le tirage mécanique de la caméra est en ordre, la fente apparaîtra nette sur le dépoli. Si, par contre, il y a une erreur dans le tirage, la fente apparaîtra floue. En déplaçant l'objectif de l'autocollimateur, ce qui permet de changer la distance du plan de

netteté dans la caméra, nous pourrions mesurer cette erreur. Il s'agit là d'une méthode de contrôle très élégante permettant de contrôler n'importe quelle caméra tout en utilisant un dispositif très simple. La précision de lecture de l'autocollimateur est de l'ordre de 0,01 mm.

Nous venons d'examiner quelles sont les dispositions à prendre pour garantir une distance exacte entre le système optique et le plan du film. Pour obtenir de bonnes images, faut-il encore que tout le système optique soit bien centré. Avant d'aborder le problème du centrage des lentilles, rappelons les quelques règles optiques de base nécessaires :

Figure 9 : On appelle *axe optique* d'une lentille la ligne droite joignant les centres de courbure de chacune des deux faces (C_1, C_2). On appelle *centre optique* d'une lentille un point 0 ainsi défini : Tout rayon lumineux passant par 0 ne subit aucune déviation lors de son passage au travers de la lentille. Le centre optique 0 d'une lentille est toujours situé sur l'axe optique. Pour contrôler la précision de l'axe optique, il suffit de contrôler la précision de deux des trois points C_1, C_2 ou 0.

5. Centrage des lentilles

Le contrôle de la précision du centre de courbure d'une face s'effectue en repérant la précision d'une image réfléchi par cette face (voir figure 10). Si C n'est pas sur l'axe de rotation, la sphère se déplace constamment pendant la rotation, et une image vue par réflexion sur la surface se déplace pendant cette rotation. A est un rayon lumineux participant à la formation de l'image réfléchi. Si C (centre de courbure) est sur l'axe de rotation, en tournant la lentille, la surface sphérique tourne autour de son centre de courbure ; le rayon A est donc toujours réfléchi dans la même direction. Une image vue par réflexion sur la surface reste donc fixe pendant la rotation.

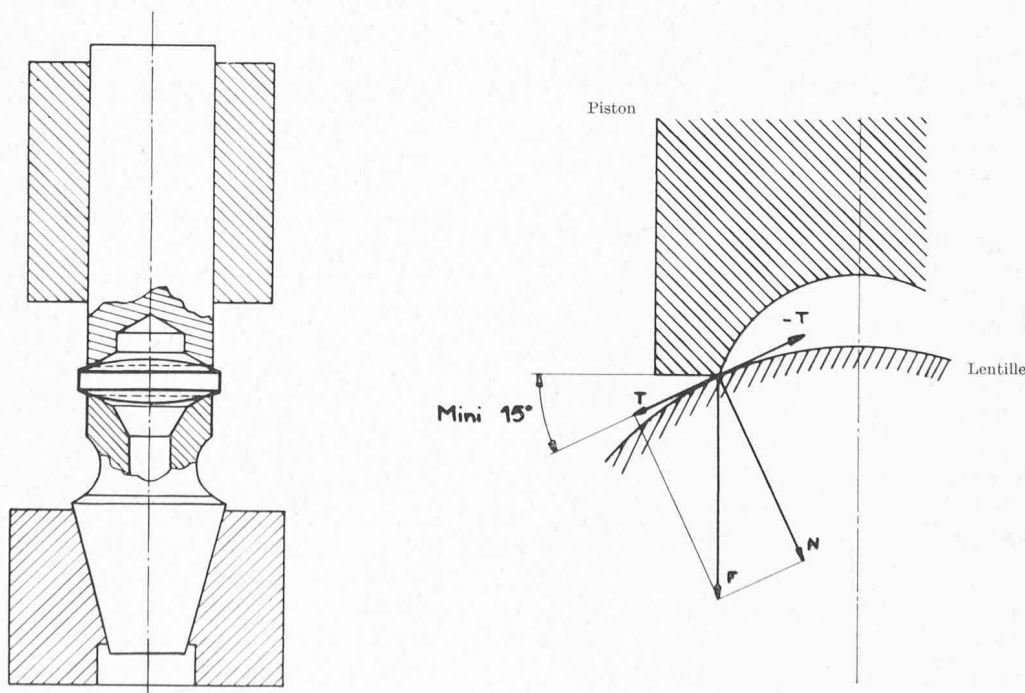


Fig. 13.

Le contrôle de la précision du centre optique d'une lentille se fait en examinant l'image d'un objet lumineux formé par cette lentille (voir figure 11). Si le centre optique 0 est sur l'axe de rotation, la position de l'image ne varie pas pendant la rotation. Si le centre optique n'est pas situé sur l'axe de rotation, l'image se déplace pendant la rotation.

Revenons au problème de centrage des lentilles dans la fabrication d'un système optique. Un objectif de prise de vue ou de projection est formé de plusieurs lentilles. Les diverses lentilles doivent être assemblées de telle façon que tous leurs axes optiques soient confondus sur une même ligne, que nous appellerons l'axe optique du système. En général, les lentilles sont montées avec un jeu minimum dans un alésage cylindrique. Chaque lentille doit être usinée circulairement autour de son axe optique, opération que nous désignerons par débordage.

Méthode classique de centrage. La lentille est collée à l'extrémité d'une broche. En ramollissant la colle et en tournant lentement la broche, on examine les images d'une source lumineuse réfléchie par la face de la lentille, et également l'image formée d'une mire par transparence (figure 12).

La position de la lentille est modifiée à la main jusqu'à ce que les deux images restent fixes. On est alors assuré qu'un des centres de courbure, ainsi que le centre optique, se trouvent sur l'axe de rotation ; autrement dit, l'axe optique est confondu avec l'axe de rotation. Après refroidissement, c'est-à-dire solidification de la colle, on place la même broche sur une machine à déborder.

Cette opération de centrage optique étant longue, laborieuse et coûteuse, une nouvelle méthode de centrage a été recherchée. Cette nouvelle méthode a été expérimentée et nous l'appellerons par la suite *centrage mécanique*.

La lentille est de nouveau collée sur un tasseau à l'aide d'une colle se ramollissant à la chaleur (figure 13). Ce tasseau qui doit être exécuté avec une très grande précision donne un appui en forme de cercle sur la surface de la lentille. En pressant un piston sur la surface supérieure de la lentille et en ramollissant la colle moyennant un chauffage par haute fréquence, la lentille va se centrer par rapport à l'axe du tasseau : la force F , transmise au piston, se décompose en chaque point de contact du cercle d'appui du piston sur la lentille en une composante perpendiculaire N , à la surface de la lentille, et en une composante tangentielle T , à cette surface. La surface de la lentille est donc soumise à la réaction $-T$. L'ensemble des réactions tangentielles fait glisser la lentille jusqu'à ce que toutes les forces tangentielles soient équilibrées sur les deux cercles de contact, aux résistances de frottement près. A ce moment, les centres de courbure des deux faces sont confondus avec l'axe commun du piston et du tasseau. La lentille est centrée sur le tasseau. Pour vaincre les résistances de frottement, un angle minimum de 15° environ est nécessaire.

Possibilités d'erreur de ce centrage mécanique. La première source d'erreur peut provenir de l'appareil de centrage si l'axe du tasseau est incliné par rapport à l'axe du piston. Un jeu d'environ $0,002$ mm entre le piston et son logement doit être observé, l'usure admise étant également de l'ordre de $0,002$ mm. La deuxième

source d'erreur peut provenir du cercle de contact abîmé ou sale. Une troisième source d'erreur résulte des forces de frottement trop grandes. Les composantes tangentielles de la force du piston sont compensées par les frottements avant que la lentille soit centrée. En surveillant ces trois possibilités d'erreur de près, le contrôle des lentilles centrées mécaniquement peut être supprimé dans la plupart des cas.

Faisons le bilan entre les deux méthodes :

	<i>Centrage optique</i>	<i>Centrage mécanique</i>
Outillage	Coûteux, broche tournante	Simple, tasseau fixe
Main-d'œuvre	Spécialisée	Sans formation spéciale
Coût opération	—	Economie de temps d'environ 50 %
Sécurité	Dépend de la qualification de la main-d'œuvre et de la précision des outils	Dépend uniquement de la précision des outils
Précision de centrage	Précision identique pour les deux méthodes	

Cette méthode de centrage mécanique n'est pas seulement utilisable en cas de centrage d'une seule lentille, mais elle est également valable pour le centrage de groupes de lentilles. Suivant le cas, un double système de piston est nécessaire. Le même soin qui doit être apporté à l'exécution des lentilles, quant au centrage, et par conséquent à leur diamètre extérieur, doit être observé lors de la *fabrication des montures* destinées à recevoir les différentes lentilles ou groupes de lentilles.

Le problème est encore relativement simple lorsqu'il s'agit de faire un assemblage dans un tube unique, tel qu'il se présente pour un objectif à focale fixe et sans système diaphragme. Lorsqu'il s'agit, par contre, de produire des objectifs à focale variable, différents groupes de lentilles doivent pouvoir se mouvoir dans le tube tout en gardant une position exacte pour chaque groupe de lentilles par rapport aux autres groupes. Différents systèmes mécaniques existent pour satisfaire cette performance. Un système assez classique consiste à fabriquer des tubes qui s'emboîtent les uns dans les autres, munis soit d'un filetage, soit d'une rainure permettant de donner un mouvement quelconque aux différents groupes de lentilles.

Un problème de fabrication très difficile à résoudre se pose alors : exécuter des tubes qui s'emboîtent avec un jeu minimum. Pour obtenir ce jeu minimum entre deux tubes qui s'emboîtent, il ne suffit pas de les usiner isolément même avec une tolérance serrée. En effet, pour le diamètre entre 20 et 30 mm, une tolérance de la classe ISA 6 nous donne un jeu de 13 microns pour chacune des pièces. Nous obtenons entre les deux pièces, dans le cas minimum, un jeu de l'ordre de 3 microns, et, dans le cas maximum, un jeu de l'ordre de $0,03$ mm, ce qui est inacceptable dans bien des cas. Il faut donc appairer les deux pièces. Pour ceci, plusieurs façons de procéder existent : par exemple, les pièces sont fabriquées séparément, mesurées ensuite et appairées lors du montage. Cette façon de faire a un inconvénient, l'appairage est facilement perturbé par suite du manque de

pièces d'une certaine dimension. Une autre façon plus élégante et moins coûteuse consiste à prévoir un appariement en cours d'usinage des deux pièces. Nous mesurons le diamètre intérieur du tube dans lequel vient s'ajuster un deuxième tube à l'aide d'un outil de mesure genre Solex permettant la lecture au micron près. Chaque tube ayant un certain malrond, nous veillerons à mesurer le plus petit diamètre intérieur. Le diamètre extérieur du deuxième tube est usiné sur un tour, et est indiqué sur une colonne de lecture. Une première pièce est usinée et permet de vérifier, moyennant contrôle au micromètre, si le réglage est correct. Dans ce réglage, on tient compte d'un jeu minimum de l'ordre de 2 à 3 microns qui doit exister entre les deux pièces. Une fois le réglage terminé, l'opération d'appariement est très simple : mesure du plus petit diamètre intérieur du premier tube, positionnement du deuxième tube sur la machine, en réglant le diamètre désiré sur la colonne de lecture au moyen d'une vis de réglage, tournage du diamètre extérieur jusqu'à l'arrêt automatique de la machine.

Le résultat nous permet de garantir en série un jeu de l'ordre de 0,002 mm au minimum et un jeu de l'ordre de 0,01 mm au maximum, tout en tenant compte du malrond et de la conicité. Cela nous donne la possibilité d'élargir les tolérances pour les opérations d'ébauche : au lieu d'exiger des pièces dans une qualité ISA 6, nécessitant des opérations fort coûteuses (ce qui représente une qualité d'ajustage encore insuffisante), nous pouvons reporter ces tolérances dans la classe 7 ou 8. Une seule opération de précision est nécessaire : le tournage du diamètre extérieur du tube venant s'emboîter dans la deuxième pièce. Il est clair que pour cette unique opération de précision une attention spéciale doit être vouée à la machine qui doit être robuste, exempte de vibrations, etc., et que nous devons exiger que celle-ci soit réservée pour les travaux de finition ; toute opération d'ébauche devant être faite sur d'autres machines.

6. Problèmes d'avenir

L'évolution dans le domaine de la fabrication est étroitement liée à celle que vont prendre les produits qui tendent vers un plus grand automatisme tout en restant dans des dimensions restreintes. Cela va amener la fabrication à devoir produire des pièces plus précises et plus petites, des mécanismes plus délicats, tout en maintenant un prix de revient abordable.

Dans les machines-outils, le développement des machines à commandes numériques influencera la fabrication des produits microtechniques. Rappelons toutefois que l'avantage primordial des machines à commandes numériques réside dans la diminution des temps de réglage sans que les temps d'usinage proprement dit soient diminués. Dans la fabrication en grande série, les temps de réglage représentent en général un faible pourcentage des temps d'usinage. Les machines à commandes numériques dont le prix atteint souvent le double du prix d'une machine normale, ne trouveront pas en premier lieu d'application dans ce domaine. Par contre, leur introduction deviendra intéressante dans le domaine de l'automatisation des opérations de contrôle, pour la fabrication des outillages qui doivent être renouvelés fréquemment, pour la fabrication d'une présérie de pièces d'un produit appelées à être fabriquées en grandes séries, ainsi que pour la fabrication de pièces complexes en petites séries.

Sur le plan du personnel, un gros effort reste à faire. En ce qui concerne la formation des ingénieurs, nous pensons qu'une spécialisation devra intervenir après les quatre premiers semestres. L'ingénieur formé actuellement dans nos écoles polytechniques, bien qu'il ait une solide formation de base dans le domaine des mathématiques et de la physique, ignore une quantité de problèmes de la microtechnique, étant plus familiarisé avec le calcul d'une machine thermique ou d'un moteur à explosion.

L'augmentation constante des services techniques et administratifs pendant ces dix dernières années a demandé un personnel spécialisé qui a été recruté en grande partie parmi les professionnels. Par des cours spéciaux ces mécaniciens ont été formés à de nouvelles tâches dans le domaine de la préparation du travail, l'étude des temps, le planning, la programmation, etc. Ce mouvement risque, s'il se prolonge, de soustraire une main-d'œuvre précieuse à sa tâche primitive et privera ainsi l'industrie d'un élément pourtant indispensable.

L'évolution dans les procédés de fabrication et les machines-outils demandera également de plus en plus des professionnels spécialisés pour lesquels des cours de perfectionnement restent à organiser. La formation adéquate de cette main-d'œuvre reste une tâche importante.

AUTORITÉ

ESSAI DE DÉMYSTIFICATION ET D'OBJECTIVATION ET TENTATIVE D'ANALYSE RATIONNELLE

par PAUL GAILLARD, ingénieur EPUL-SIA, Cully (Vd).

1. Avertissement

1.1. Les considérations qui vont suivre au sujet de l'autorité se réfèrent au contexte des rapports à caractère patriarcal qui prévalent encore aujourd'hui dans les structures hiérarchiques. La façon dont les idées exprimées ici s'appliqueraient à un système de relations fratricides n'est pas examinée.

1.2. Les notions de « chef » et « subordonné » utilisées peuvent être comprises dans un sens très large (père et

fils, contremaître et ouvrier, professeur et étudiant, cerveau et organisme, gouvernement et masse électorale ou sociale, Dieu et l'homme, etc.).

1.3. L'autorité est décrite ci-après au moyen de formules et relations à caractère algébrique. L'état actuel de la recherche ne permet pas de concevoir un système d'unités de mesure et il ne semble pas qu'un outil de travail aussi précieux puisse être construit dans un proche avenir.