

LES MONTURES ÉQUATORIALES

99. **Généralités.** - A l'équateur céleste le mouvement diurne dépointe un astre de 15 minutes d'arc en une seule minute de temps ; or, même dans un Plössl de champ apparent 45° le champ réel descend à 13' si le grossissement

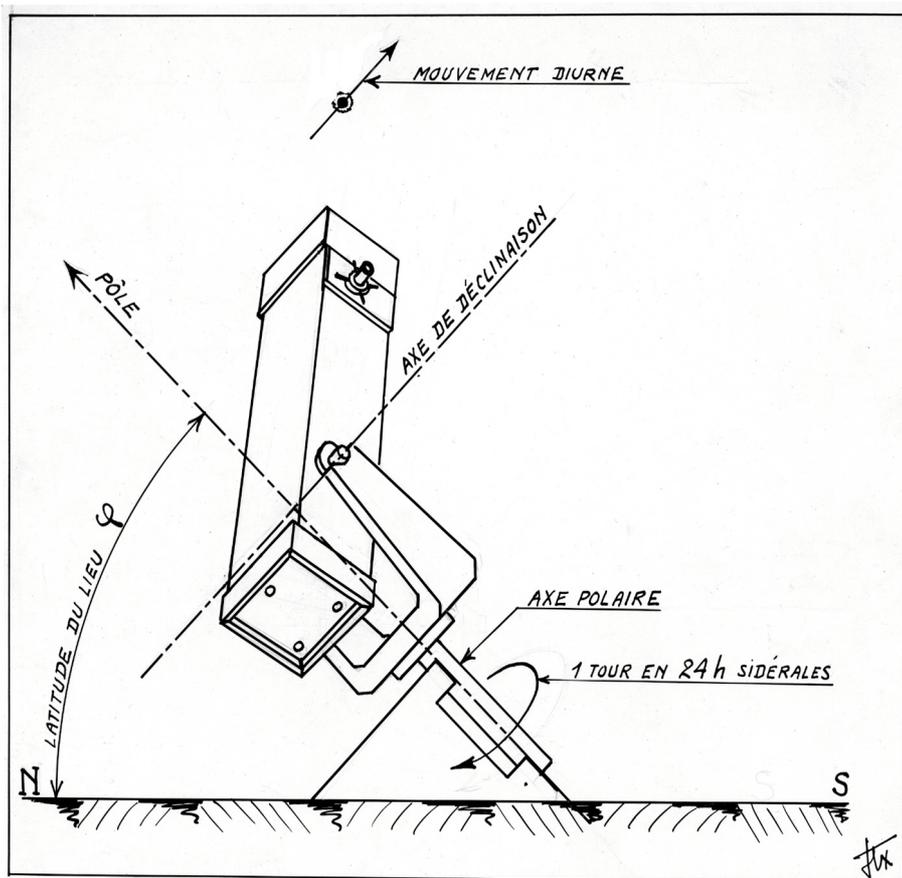


Fig. 111. - principe de l'équatorial.

atteint 200. Centrer l'objet, mettre au point, attendre l'amortissement des vibrations ; *il ne reste guère qu'une quinzaine de secondes pour l'observation proprement dite* car malheur à celui qui laisse filer l'objet hors du champ d'un azimutal, il y a deux mouvements indépendants à manœuvrer pour repointer ; le recours au chercheur est alors indispensable. Il faut beaucoup de courage

pour entreprendre un dessin planétaire dans ces conditions ; par ailleurs la photographie au plan focal même sans prétentions spéciales est limitée à un temps de pose d'une fraction de seconde ; l'on comprend que sans être particulièrement ambitieux l'utilisateur d'un 200 millimètres souhaite vite être affranchi de ces ennuis qui deviennent presque intolérables aux grossissements de 400 et plus.

Ce sont surtout des raisons pratiques - facilités et économie de construction, transportabilité - qui justifient la monture azimutale, nous allons voir toute une cascade de complications surgir en voulant nous en affranchir.

Théoriquement une *monture équatoriale* est simple (fig. 111), il suffit d'incliner un azimutal ordinaire ; l'axe azimutal, primitivement vertical, doit faire un angle avec l'horizon égal à la latitude du lieu et doit être orienté dans le plan du méridien, côté haut vers le Nord dans notre hémisphère. Bref l'on pointe cet axe vers le pôle d'où son nom d'*axe polaire*, il est donc parallèle à l'axe de rotation de la terre et il suffit de le faire tourner en sens contraire à raison de un tour en un jour sidéral pour immobiliser tout le champ en bloc par rapport à l'instrument. L'autre axe de la monture, orthogonal à l'axe polaire, s'appelle l'*axe de déclinaison* ; il ne sert qu'à pointer l'objet au début de l'observation mais n'est plus décalé pendant l'observation, si l'équatorial est bien réglé.

En pratique les complications surgissent car les nouvelles possibilités de l'instrument entraînent de nouvelles exigences de l'utilisateur. Un entraînement horaire précis est vite jugé indispensable ; puis des cercles divisés, bien commodes pour caler un objet faible ; enfin la photographie à longue pose fait découvrir un monde de subtilités et impose un beau jour la reconstruction de tout l'instrument. Au début l'importance de la rigidité de la monture de la douceur et de la précision de l'entraînement horaire sont toujours sous-estimées. Ces difficultés ne sont nullement liées au principe de l'équatorial, l'on n'en serait pas affranchi en transportant un azimutal au pôle pour éviter des modifications mécaniques. Il existe d'ingénieuses solutions pour coordonner mécaniquement les mouvements d'un azimutal et éviter l'équatorial jugé trop coûteux. Ces palliatifs n'ont qu'un faible intérêt pratique : ils sont plus compliqués, plus fastidieux à régler, plus difficiles à réaliser à précision égale qu'un équatorial et finalement ne peuvent compenser la rotation du champ rédhibitoire pour les longues poses.

Ce n'est pas tout, le lourd équatorial supposé mis en station à une précision en rapport avec ses possibilités devient un objet pratiquement intransportable ; plus question de rechercher le petit coin de jardin, de terrasse, voire de simple fenêtre dégagé du bon côté il faut disposer d'un terrain où la visibilité est bonne dans toutes les directions, couler des fondations en béton, bâtir un abri à toit mobile, sinon une véritable coupole ; l'on se contente parfois, faute de mieux, d'une terrasse ou d'un grenier aménagé mais finalement c'est un véritable observatoire qui s'avère nécessaire pour jouir pleinement d'un équatorial.

Beaucoup de collègues ne se rebutent pas pour autant ; cependant les questions posées, les hésitations, les erreurs commises, souvent faciles à éviter, montrent l'utilité d'un examen critique d'un certain nombre de solutions intéressantes. Nous ne croyons pas à l'équatorial standard dont les plans détaillés

seraient suivis par de nombreux amateurs. Les professions, les habitudes, les moyens d'usinage disponibles sont trop variables.

L'employé de bureau dispose rarement d'un atelier suffisamment équipé, il recherchera des éléments de machines adaptables et une aide extérieure ; le menuisier ou le charpentier voudront des plans de pièces en bois tandis que le virtuose du chalumeau s'intéressera à une construction élégante en tôle soudée et les plus favorisés ne reculeront pas devant les travaux de modelage mécanique et d'usinage rendus nécessaires par les grandes pièces de fonderies qui seules donnent de bonnes garanties de rigidité pour certains types de montures. S'il n'est pas possible de donner à tous des plans adaptés à leurs moyens et leurs ambitions il est utile de discuter les principaux types d'équatoriaux en tenant compte de ces éléments ; des exemples assez nombreux d'instruments effectivement construits par des collègues montreront l'importance de l'initiative personnelle.

100. Principaux types de montures équatoriales. - Les lettres A, B, C... renvoient à la figure 111 où les axes de déclinaison sont désignés par *axe d* et les axes polaires par *axe a* :

A. *Monture à berceau ou anglaise.* - Cette monture est due à RAMSDEN (1791), l'instrument est supporté dans un cadre fermé ou berceau ; la charge est donc comprise entre les tourillons de l'axe polaire comme de l'axe de déclinaison, *tout porte-à-faux est exclu*, avantage décisif pour la rigidité de la monture qui devrait être le premier souci de tout constructeur. Ceci entraîne un autre avantage : des tourillons d'assez faibles diamètres donc des *frottements réduits* favorables à un entraînement doux et précis. L'équilibrage d'un équatorial consiste à placer le centre de gravité de l'équipage mobile à l'intersection des axes ou, à défaut dans le cas d'une monture déportée (B), traiter séparément deux centres de gravité par rapport à chacun des deux axes ; ceci est réalisable ici sans *contrepois principal*, donc sans surcharge toujours indésirable du point de vue des flexions et vibrations.

La rigidité, en quelque sorte naturelle, de l'équatorial à berceau rend possible sa réalisation par des moyens rustiques ou de fortune sans trop d'inconvénients (§ 102). Des erreurs grossières dans les dimensions des pièces ou un fini mécanique plus que médiocre n'entraîneront pas forcément une catastrophe comme dans le cas d'une monture allemande ou une monture à fourche par exemple. Voyons maintenant les inconvénients. D'abord *l'encombrement beaucoup plus important* qui rend à peu près inévitable une installation fixe dans un terrain suffisant. Les deux piliers Nord et Sud sont parfois métalliques (fig. 117) et logeables dans un grenier (fig. 116) mais la maçonnerie : béton armé ou brique est moins chère et donne une stabilité meilleure. Ensuite la monture à berceau *ne permet pas de pointer le pôle* et ses environs à cause de la traverse nord du cadre et son palier. Cet inconvénient est de faible poids pour des travaux d'amateurs ; nous serions curieux de savoir combien de fois ceux qui ont rejeté le berceau pour cette raison ont fait des travaux sur la séquence polaire ou les rares objets notables de très hautes déclinaisons ? Tous les amateurs connaissent la monture à berceau très particulière du télescope de 5 mètres du mont Palomar ; la traverse nord y est remplacé par un énorme fer à cheval capable de recevoir le télescope pointé au pôle. A l'époque d'utilisation du

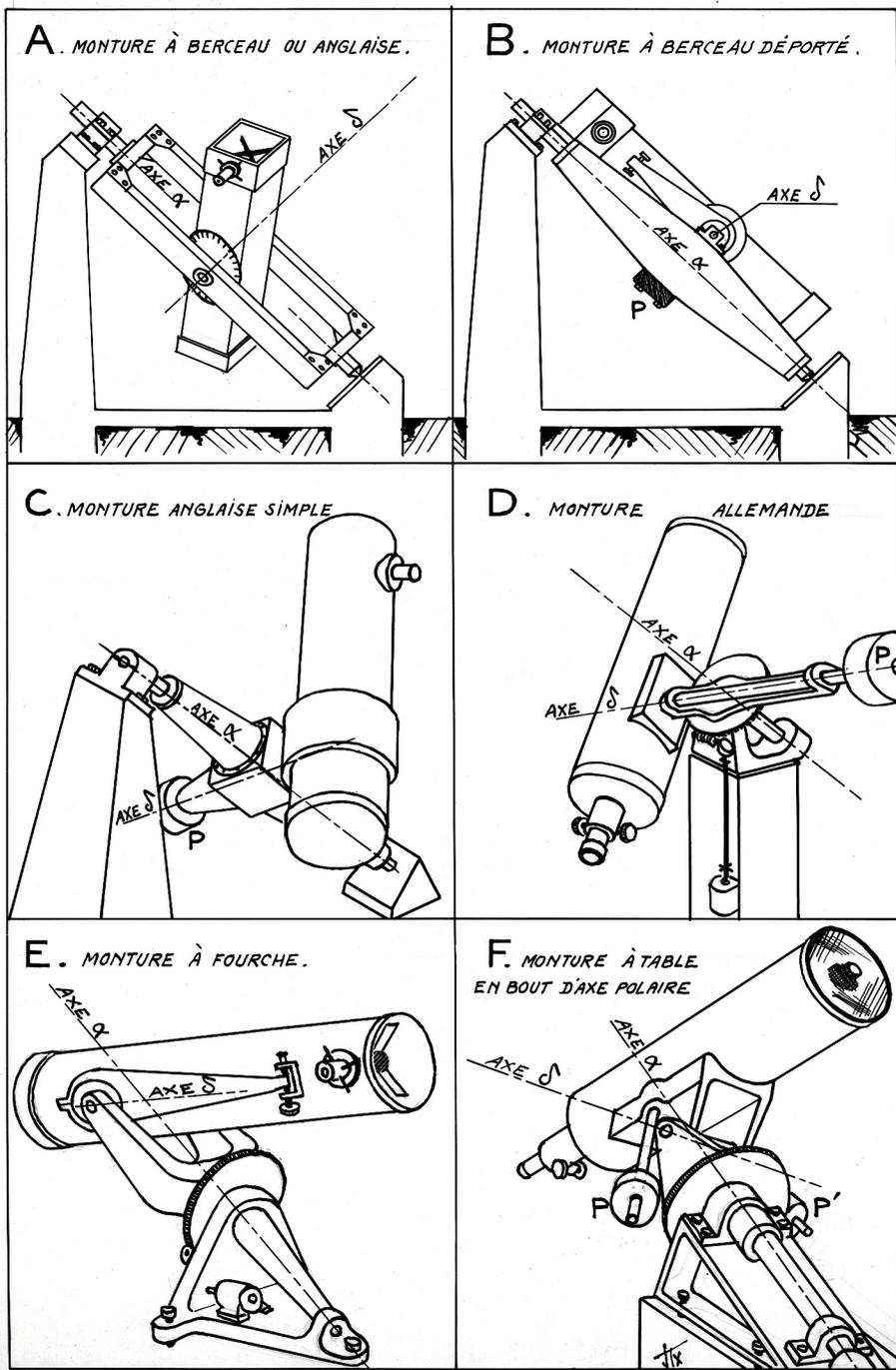


Fig. 112. – Principaux types de montures équatoriales.

2,50 m du Mont Wilson, pourvu d'une monture à berceau ordinaire, l'on s'était plaint de l'impossibilité de pointer la séquence polaire ; actuellement il n'est pas certain que cet argument l'emporterait pour choisir la solution ruineuse du fer à cheval, les séquences modernes très poussées sont plutôt prises dans des champs d'amas globulaires tels M 3 ou M 13. Le fer à cheval est non seulement très coûteux mais il affaiblit beaucoup le berceau et nous paraît tout à fait injustifié dans une réalisation d'amateur, il faut vraiment avoir envie de posséder son petit Palomar personnel pour l'adopter.

B. *Monture à berceau déporté.* - Le pointage du pôle est possible grâce à un berceau spécial dont les paliers de déclinaison sont suffisamment excentrés. Cette disposition ne comporte pas de difficulté de réalisation, les paliers de déclinaison sont même plus faciles à monter. Les avantages essentiels du berceau fermé subsistent mais des contrepoids P sont inévitables pour l'équilibrage par rapport à l'axe polaire ; ce n'est pas un inconvénient très grave car la rigidité du berceau peut être assez grande malgré une charge sensiblement double. La figure 119 donne une variante de ce montage comportant deux télescopes qui s'équilibrent cette fois par rapport à l'axe de déclinaison resté dans l'axe du berceau.

C. *Monture anglaise simple.* - Due à Sisson (1760). L'axe polaire est une poutre dont les deux extrémités, usinées en forme de tourillons, reposent comme un berceau sur des paliers Nord et Sud. L'axe de déclinaison perpendiculaire est porté par ses paliers dans l'axe de la poutre et non loin du milieu en général. Il n'y a pas de porte-à-faux sur l'axe polaire mais le télescope est en porte-à-faux sur l'axe de déclinaison : cela nécessite un montage mécanique bien conçu et exécuté. Un contrepoids en déclinaison P est nécessaire, il ne constituera pas un vibreur trop gênant s'il est supporté par une robuste console conique au lieu d'être simplement enfilé sur l'extrémité de l'axe de déclinaison. Cet équatorial, comme la monture à berceau, permet de suivre sans difficulté un objet de part et d'autres du méridien, il convient aussi bien pour un Newton que pour un Cassegrain ou un réfracteur, ce n'est qu'une question de hauteur de piliers. En général un objet peut être pointé dans deux positions du télescope : à l'Est ou à l'Ouest par rapport à l'axe polaire après retournement de 180° dans les deux sens. Ce genre d'équatorial se prête encore assez bien à une réalisation d'amateur modestement outillé (fig. 120 et 121).

D. *Monture allemande.* - Conçue et construite dès 1815 par Fraunhofer pour des héliomètres, puis la lunette de 240 de l'équatorial de Dorpat (1824) rendu célèbre par les mesures d'étoiles doubles de W. Struve. L'extrémité de l'axe horaire est chargée par une pièce portant les paliers de déclinaison. L'extrémité de l'axe de déclinaison porte l'instrument. *Ce double porte-à-faux est très défavorable à la rigidité* et le contrepoids P à l'extrémité de l'axe de déclinaison n'est pas fait pour faciliter l'amortissement des vibrations. Pour réduire le contrepoids et les flexions de la pièce porte-paliers de déclinaison, il est avantageux de rapprocher le plus possible l'instrument de l'axe horaire mais l'on réduit un même temps le diamètre du cercle d'entraînement donc la précision du mouvement. La monture allemande, destinée à l'origine à des réfracteurs visuels, a un autre inconvénient irritant : pour certaines déclinaisons positives, *l'instrument ne passe pas le méridien sans venir buter*

rapidement sur le pilier, visuellement ce n'est pas très grave, il suffit de procéder au *retournement* et de reprendre l'objet dans la seconde position possible mais cette opération est inadmissible au cours d'une longue pose photographique car la plaque serait, elle aussi, retournée de 180° par rapport au champ. En pratique l'on ne peut réduire suffisamment la section du pilier, il faut recourir à une colonne coudée qui sera toujours une source de vibrations très délicates à amortir, il vaut mieux rejeter la monture allemande pour les photographies à longue pose. Malgré tous ces défauts cette monture est probablement la plus populaire, même chez les possesseurs de télescopes newtoniens, cela peut s'expliquer par un certain conformisme et peut-être une relative facilité d'improvisation à partir de machines existantes telle une poupée de tour comme bâti et axe horaire (fig. 124) ce sont presque toujours des pis aller qui nécessitent à titre de compensation beaucoup d'habileté et de patience de la part de l'utilisateur.

E. *Monture à fourche*. - Cette solution élégante présente deux points faibles évidents : *le porte-à-faux* énorme sur l'extrémité de l'axe polaire qui nécessite une très forte section au palier Nord ; *la fourche elle-même* dont une bonne rigidité ne sera obtenue que par une solution coûteuse. En contrepartie il n'y a *pas de contrepoids ni de nécessité de retournement* et de plus *l'encombrement est réduit* cela est particulièrement avantageux dans une installation demi-fixe (fig. 125 et 129). Le cas le plus favorable est le montage d'un newtonien assez modeste : 200 ou 250 d'ouverture dont le centre de gravité est relativement proche de la culasse alourdie par le grand miroir ; dans ces conditions l'instrument passe le pôle dans une fourche de proportions encore raisonnables et sans porte-à-faux trop inquiétant mais de toutes manières il est bon d'adopter une solution à pièces de fonderies bien conçues (fig. 125 et 128) plutôt qu'un assemblage de fers profilés supporté par un axe trop faible.

F. *Monture à table en bout d'axe polaire*. - L'équatorial à fourche serait peu pratique avec un Cassegrain dont l'oculaire nécessiterait souvent un prisme de renvoi pour des raisons d'accessibilité. L'on peut réaliser une fourche trapue porteuse d'une table déportée par rapport à l'axe de déclinaison. Cette disposition est assez pratique pour l'observateur sauf au voisinage du pôle *malheureusement elle nécessite des contrepoids P et P' qui constituent des vibrateurs*. Une exécution très soignée ne parvient pas toujours à une rigidité vraiment bonne, l'ingénieur Meyer des établissements Carl Zeiss a fait construire beaucoup de montures de ce type pourvues d'un dispositif compliqué de décharges d'axes, générateur de vibrations, ce modèle est tombé en désuétude. La Société belge d'Astronomie publia en 1943 un article ⁽¹⁾ et des plans cotés détaillés d'un équatorial de ce genre réalisé en tubes et fers profilés soudés. Notre collègue J. S. Dubois monta son newtonien de 260 sur le prototype de cette monture (fig. 131) malgré cet exemple assez réussi et la grande facilité apportée par les plans cotés nous n'avons pas eu connaissance d'autres réalisations de télescopes S. B. A., cela donne à réfléchir sur l'utilité de prendre la peine d'éditer des plans détaillés d'un équatorial standard. Les figures 93 et 94 montrent partiellement une monture à table en bout d'axe horaire très ramassée et d'ailleurs trop faible pour le Cassegrain court de 257 qu'elle supporte.

⁽¹⁾ ANDRE, Le télescope S. B. A., *Ciel et Terre*, LIX, , n°s 1-2, janv.-fév. 1943.

101. **Solutions plus ou moins déconseillées.** - L'accès à l'oculaire du télescope newtonien équatorial de 250 et plus est souvent malaisé, l'observation prolongée devient rapidement pénible, particulièrement dans le cas de longues poses photographiques et surtout en hiver car l'opérateur est plutôt mal protégé. La recherche d'une solution plus confortable est, en elle-même, tout à fait justifiée, l'on est toujours conduit à utiliser des miroirs plans sous une incidence oblique. En pratique nous déconseillons tous ces systèmes et ce point de vue demande une explication. L'instrument d'amateur, disons de 200 à 300 d'ouverture, a des possibilités de résolution théorique encore vraiment exploitables en pratique ; malgré la turbulence (chap. XV) il est payant de l'équiper d'une *optique parfaite* et une optique parfaite dans le sens où nous l'entendons, après A. Danjon et A. Couder (§ 48, p. 87) n'est guère réalisable que pour des instruments *très simples* : télescopes newtoniens, Cassegrains, réfracteurs à $f/15$. Nous considérons encore rentable la complication de la lame de fermeture mais n'acceptons pas l'intermédiaire d'un grand plan employé sous une incidence oblique, pourtant le plan, théoriquement, est encore plus *neutre*, en optique que la lame. Ce sont les propriétés physiques des pièces qui amènent des surprises. Un miroir en service n'est jamais, à l'approximation utile, en bon équilibre thermique par rapport au milieu ; il perd sa parfaite correction, supposée obtenue au laboratoire. Si la trempe résiduelle est régulière, c'est-à-dire si elle est centrée sur le contour et croît du centre au bord sans anomalies, en chaque point d'une section méridienne à une distance h de l'axe la différence de marche thermique Δ peut être représentée par le développement :

$$\Delta = ah^2 + bh^4 \quad (32)$$

Au terme en a correspond un changement de rayon de courbure dont l'observateur, acharné à pomper sa mise au point en attendant la faible turbulence miraculeuse, ne s'aperçoit même pas. Le terme en b introduit de l'aberration de sphéricité mais le plus souvent reste peu gênant dans un petit télescope. Mais sur un plan qui rejette obliquement le faisceau c'est le terme en a qui devient directement nuisible : le miroir n'est plus plan, le *faisceau résultant est astigmatique* (§ 53) il ne s'agit pas d'un petit phénomène de maniaque figoleur, une marche thermique de l'ordre de 1°C par heure suffit à faire apparaître un astigmatisme très gênant dans un faisceau de 200 réfléchi à 45° par un plan de 300. Les disques en silice fondue (§ 10) permettent bien de réduire beaucoup cet effet mais, outre qu'ils sont excessivement onéreux, les défauts d'exécution ne l'oublions pas se répercutent par des défauts quadruples sur l'onde, comparés à ceux d'une lame ou d'une lentille ; un surfaçage très soigné sera nécessaire pour ne pas ajouter d'aberrations sensibles à l'instrument et il restera les perturbations optiques dans le faisceau *beaucoup plus vulnérable* en général que celui d'un instrument droit pointant haut dans le ciel. Expérience faite, nous formulerons la conclusion suivante : *il est toujours préférable de conserver un petit instrument simple, par exemple un standard 200, plutôt que de consacrer d'énormes efforts à la construction d'un grand instrument fixe, par exemple un 400 à cœlostats, dont il sera très difficile en pratique de tirer des résultats équivalents à ceux du 200.* Il est bien entendu que cœlostats et télescopes coudés sont intéressants et même indispensables pour d'autres usages astronomiques ou l'exploitation de la résolution théorique n'est plus le souci

principal, en particulier pour l'emploi des grands spectrographes ; nous tenons seulement ici à détourner les amateurs d'une copie de certaines installations de professionnels qui ont d'autres soucis que les leurs. Voyons tout de même quelques dispositions favorisant la commodité ou le confort de l'observateur au prix d'inconvénients divers :

Le Cassegrain coudé, déjà examiné § 63, est très pratique et tout à fait acceptable, son plan supplémentaire est trop petit et proche du foyer pour causer les soucis dont nous venons de parler. Le seul ennui du système est l'image *non conforme*, symétrique par rapport à l'objet, due au nombre impair de réflexions, il ne faut guère espérer remplacer le plan par un prisme à toit assez parfait pour éviter tout dédoublement.

Le Cassegrain doublement coudé, examiné également § 63 et dont la figure 74 donne le principe, ne comporte lui aussi que des plans non dangereux, pour les proportions d'un instrument d'amateur ; l'image est conforme mais tourne devant l'observateur aussi bien pour une rotation en angle horaire qu'en déclinaison de l'instrument ; il faut un siège incliné muni d'un appui-nuque pour bien profiter du confort de l'oculaire fixe sous nos latitudes. L'inconvénient principal du système résulte de la *nécessité de rejeter le plan focal beaucoup plus loin en arrière* du grand miroir que dans un Cassegrain ordinaire, cela entraîne au choix une augmentation de l'obstruction ou de la longueur focale équivalente.

La figure 113 schématise d'autres solutions au moins curieuses :

A. *Monture Springfield*. - Due au regretté R. W. Porter elle est assez répandue chez les amateurs américains et constitue encore une solution très acceptable si elle est bien réalisée. Le télescope de Newton est très excentré sur l'axe de déclinaison qui coïncide avec l'axe du faisceau réfléchi par le plan classique ; un deuxième plan, ou un prisme très proche de l'oculaire, coude une seconde fois le faisceau pour le mettre dans le prolongement de l'axe polaire. L'observateur est installé dans une *position fixe et commode*, comme devant un microscope. *L'augmentation de l'obstruction*, due à l'allongement du faisceau coudé, est assez sensible ; *l'image est symétrique*, les variabilistes qui utilisent cette monture calquent les cartes des champs de comparaison et les examinent retournées dans des boîtes à lumière, en outre l'image tourne en déclinaison comme en ascension droite ; le grand porte-à-faux du télescope nécessite un contrepoids coudé P, inquiétant pour la nuque de l'observateur et difficile à régler à la fois pour les deux axes. L'instrument est nécessairement *moins stable* qu'un équatorial classique. Les Américains s'en tiennent généralement à l'ouverture de 6", l'on peut douter de la rigidité des quelques 12" montés suivant ce système.

B. *Equatorial coudé*. - Réalisé pour la première fois à grande échelle suivant les indications de Lœwy en 1882. C'est un réfracteur dont l'objectif O et un grand miroir plan M_1 à 45° sont portés par un cube tournant en déclinaison. Un second plan à 45° plus petit M_2 renvoie le faisceau dans l'axe horaire très stable. *L'observateur est installé à l'abri* dans une pièce chauffée. Les miroirs plans, de grandes dimensions, sont heureusement enfermés dans le tube, malgré cela l'astigmatisme, dû à la courbure thermique du premier plan principalement, est le plus souvent très important. A Besançon nous avons

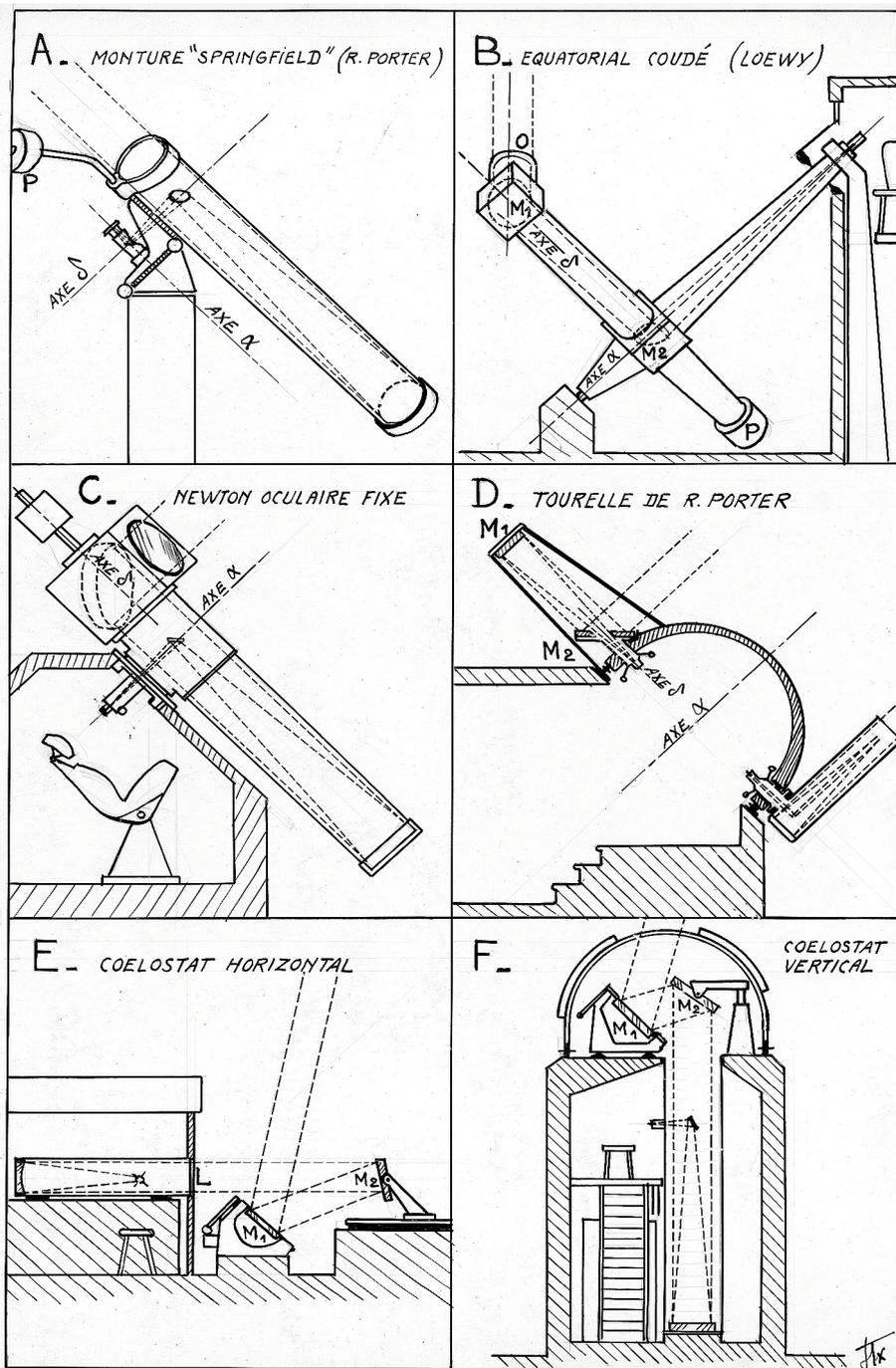


Fig. 113. – Solutions plus ou moins déconseillées.

noté une longueur d'astigmatisme de 18 millimètres au coudé de 320 ! Le grand coudé de l'Observatoire de Paris ($D = 610$; $F = 18\,000$) dont le grand plan pèse près de 200 kilogrammes a un astigmatisme chronique encore plus prononcé. Cet instrument est connu pour le bel *Atlas photographique de la Lune* qui a nécessité plus de 20 années d'effort de la part de Lœwy, Puiseux et Le Morvan mais du point de vue de l'exploitation du pouvoir résolvant ces photographies sont très faibles et ne montrent que des détails observables visuellement avec une ouverture de 120 millimètres et photographiables, au prix de beaucoup de soins, dans un simple 200. En 1933 Bernard Lyot emprunta l'objectif de 610 du grand coudé et l'installa au Pic du Midi en repliant le faisceau par des plans très soignés employés sous une *incidence presque normale*, dans ces conditions l'astigmatisme thermique était très faible et Lyot obtint des détails lunaires au moins trois fois plus fins que ceux de l'Atlas.

C. *Newton à oculaire fixe*. - Abriter l'observateur d'un télescope comporte des difficultés et *inconvenients encore plus sérieux* que ceux de l'équatorial coudé lunette. La solution schématisée ici est peut-être l'une des moins mauvaises car le grand plan travaillant à incidence fixe peut être abrité en enceinte fermée par une lame à faces parallèles. L'on retrouve l'inconvénient de *l'image symétrique* et l'observateur doit disposer d'un siège confortable inclinable pourvu d'un appui-tête. Une quatrième réflexion rendrait l'image conforme et accessible sans inclinaison mais la place disponible ne peut être que très mesurée si l'on veut limiter le surcroît d'obstruction. *Le rayonnement de l'abri doit affecter le faisceau incident* quand l'instrument pointe vers le Sud.

D. *Tourelle de R. W. Porter*. - Cet instrument, conçu et construit par Porter aidé des fidèles du groupe Stellafane près de Springfield (Vermont, U. S. A.) n'est pas ce qu'il y a de mieux dans l'œuvre de cet incomparable animateur d'amateurs constructeurs. Le ou les télescopes sont portés par une coupole en béton armé tournant sur un chemin de roulement incliné de la latitude du lieu, ce qui constitue un mouvement horaire grossier. Un miroir parabolique M_1 d'un premier télescope est soutenu par une charpente légère dans des *conditions aussi déplorables pour la stabilité mécanique que pour les effets thermiques*. Un bras au moins de cette charpente se trouve le plus souvent dans le champ du plan M_2 tournant en déclinaison depuis l'intérieur. Naturellement ce plan, percé au centre pour laisser passer le faisceau, est *une cause chronique d'astigmatisme* ; à cet égard le second télescope, monté en guise de contrepoids, ne présente que les inconvenients d'un simple Cassegrain coudé affecté toutefois d'une turbulence locale sensible due au voisinage malsain de la tourelle.

E. *Cælostæt horizontal*. - Disposition classique, souvent adoptée pour les spectrohéliographes et les spectrographes trop encombrants pour trouver leur place sur un équatorial. Seul un miroir plan M_1 est porté par un axe polaire tournant en 48 heures sidérales ; le faisceau réfléchi, fixe, est renvoyé horizontalement par un second miroir plan M_2 ajusté pour chaque déclinaison. Le télescope peut être installé dans un abri sur un pilier stable. Il est possible de réduire les effets thermiques dans l'abri par une lame de fermeture L, mais *les 3 éléments de faisceau compris entre les plans et le voisinage des piliers et de l'abri sont inévitablement perturbés par les veines d'air hétérogène*. Seuls des

plans en silice fondue rendent possible un astigmatisme thermique assez faible, même dans ces conditions *le pouvoir résolvant de ces installations atteint très rarement une seconde d'arc.*

F. *Cælostat vertical.* - Montage plus favorable que le précédent quant à l'influence de la turbulence locale ; les deux plans sont mieux dégagés des obstacles et du sol mais il est *plus difficile de couvrir une large zone de déclinaisons.* La grande tour solaire de 50 mètres de hauteur de l'Observatoire du Mont Wilson a donné très exceptionnellement des clichés assez fins et en tous cas nettement meilleurs que ceux des cælostats horizontaux. Un grand télescope solaire de 1,50 m d'ouverture, longueur focale 91 mètres, alimenté par un sidérostat polaire à miroir plan de quartz de 2 mètres de diamètre monté sur une tour de 31 mètres de hauteur est en construction à l'Observatoire américain Kitt Peak ; ce ne sont pas, répétons-le, des installations à copier pour des réalisations d'amateurs à petite échelle.

102. Conseils pratiques pour la construction d'une monture à berceau.- Le projet coté figure 114 concerne un télescope newtonien de 200 à $f/6$ à tube en bois section 300 x 300, longueur 1 500 : il ne comporte que des pièces faciles à réaliser sans outillage de précision, seule une monture à berceau peut être construite de manière satisfaisante par des moyens aussi rustiques. Signalons quelques particularités et variantes possibles :

Piliers. - Ils peuvent être en béton, légèrement armés par des fers de 10 au voisinage des arêtes ou en briques pleines avec couronnement de forme en béton, ménager les trous de scellement à la coulée, sauf dans des terrains particulièrement défavorables il n'est pas nécessaire de dépasser une profondeur de fouille d'environ 50 centimètres. Un radier de grosses pierres d'environ un mètre de côté peut supporter le pilier Nord dont la section hors du sol sera de 40 x 40 centimètres et la hauteur, sous nos latitudes, environ 140 centimètres. La figure 114 ne montre qu'une partie des piliers. L'amplitude de réglage de l'axe polaire en azimut est de ± 25 millimètres sur la cornière repère 1. Il faut donc bâtir les piliers dans le plan du méridien à une approximation meilleure. Un théodolite visant le passage d'un astre au méridien, dont l'heure est calculée au moyen de *La Connaissance des temps*, donne une approximation surabondante mais attention aux étourderies faciles à commettre : signe de la correction de longitude locale, temps des éphémérides, etc ... ; en cas de doute vérifier par un passage supérieur ou inférieur de la polaire moins affecté qu'un passage du Soleil par exemple. A défaut de théodolite et de tables astronomiques le moyen suivant peut suffire si la manipulation est soignée. Planter *bien verticalement* dans l'axe du futur pilier Sud un bâton bien droit, un long manche à balai ; trois heures environ avant le passage du Soleil au méridien planter en terre une longue pointe de charpentier juste à l'extrémité de l'ombre du bâton puis couper une latte légère à la longueur exacte qui sépare le pied du bâton de la pointe. Il ne reste plus qu'à attendre, symétriquement par rapport au méridien, que l'ombre du bâton reprenne exactement la longueur de la latte et planter une seconde pointe dans l'azimut correspondant. La trace du méridien sur le sol est la bissectrice de l'angle formé par les deux pointes et l'axe du bâton.

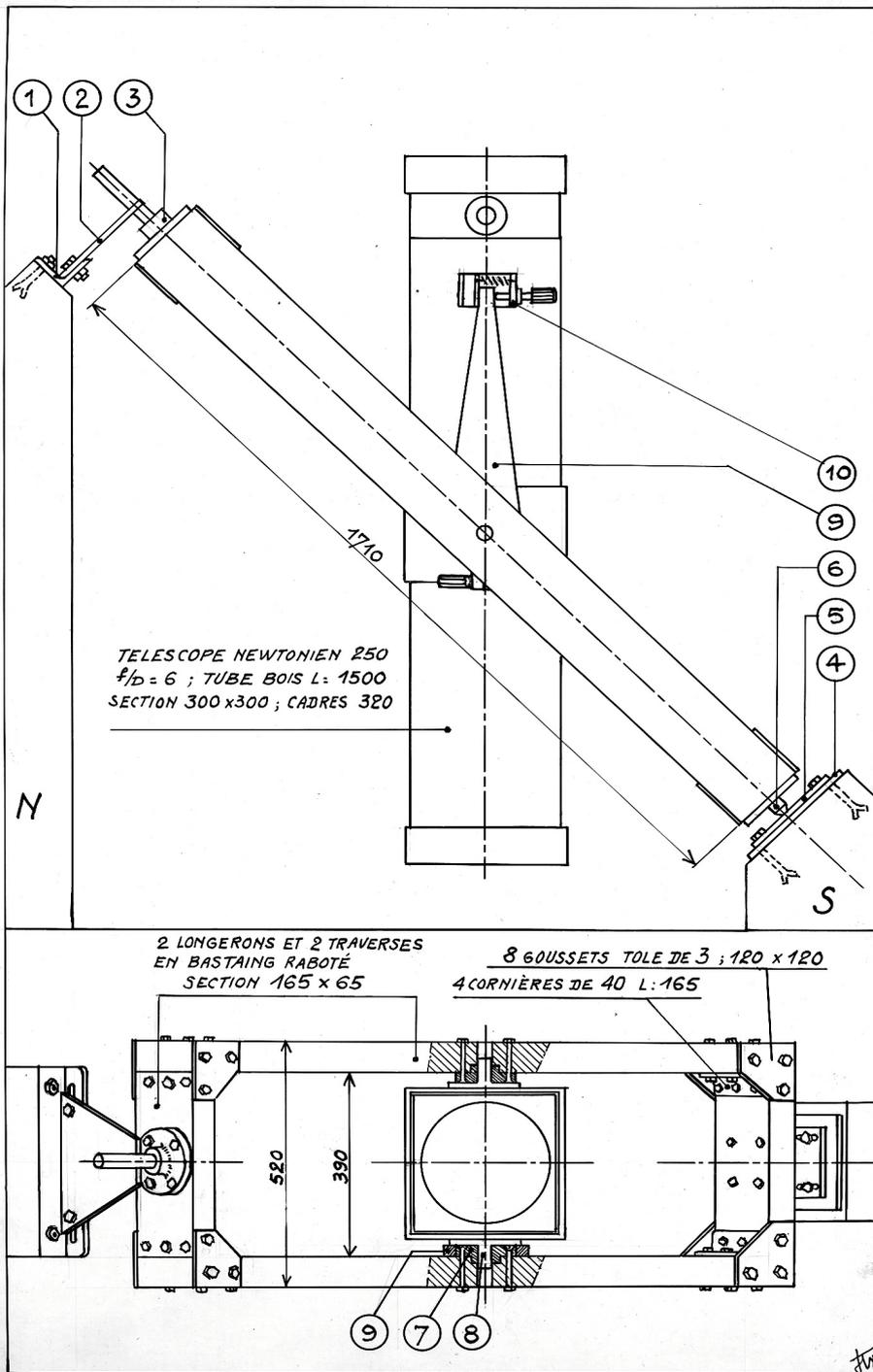


Fig. 114. – Ensemble d'une monture à berceau rustique pour télescope de 250.

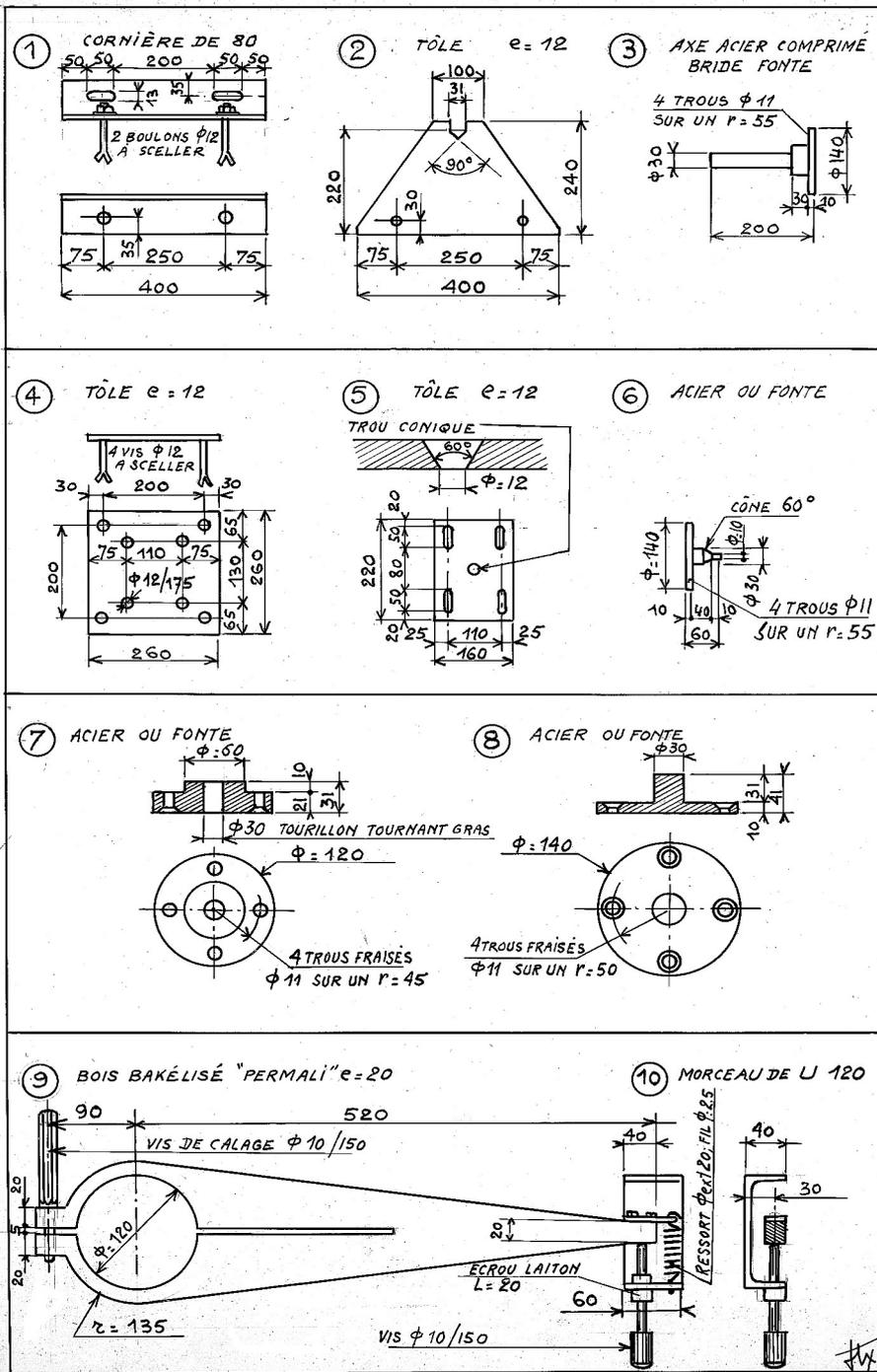


Fig. 115. - Détails des pièces de la monture à berceau rustique.

Berceau. - Celui représenté figure 114 est simplement en bois ayant la section du bastaing raboté soit environ 165 x 165, des planches collées peuvent également convenir. Il ne faut pas chercher à assembler les longerons et

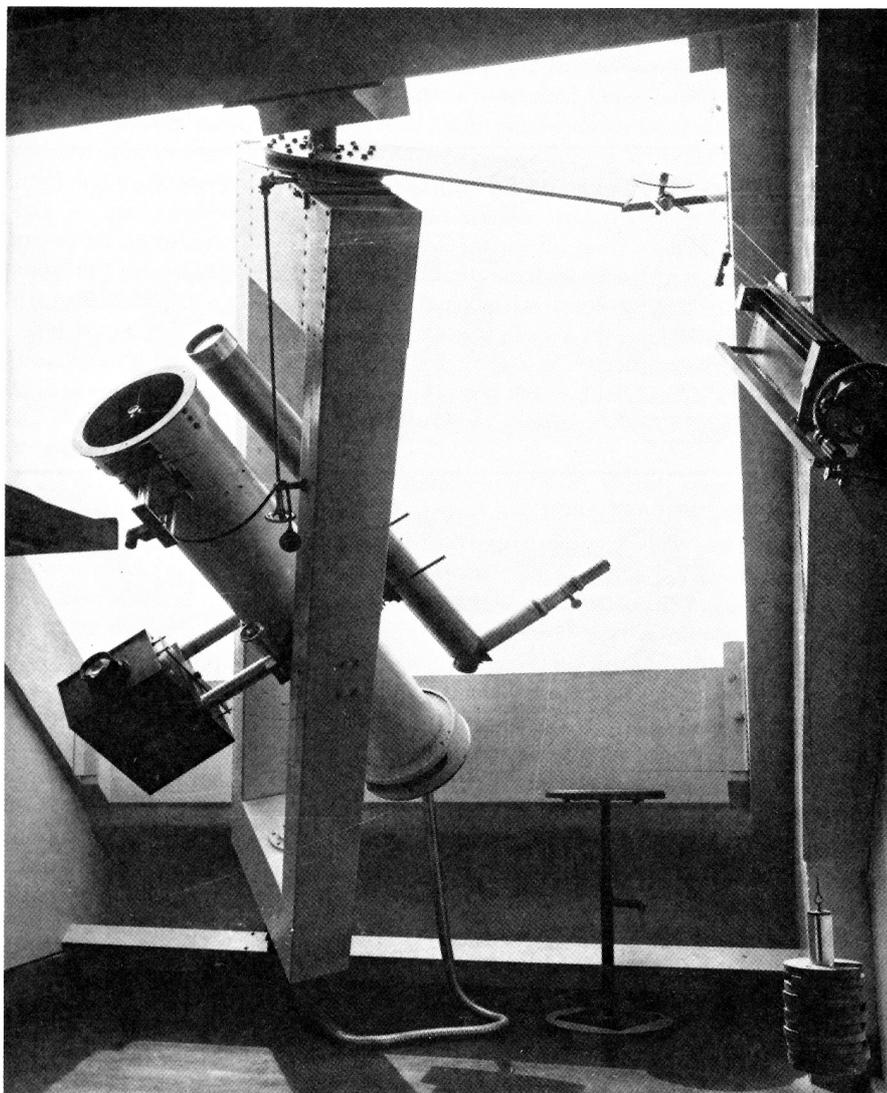


Fig. 116. - Equatorial à berceau en tôle pliée. (Réalisation Saget.)

traverses de manière classique par tenons et mortaises ou queues d'aronde, le séchage du bois pourrait compromettre ultérieurement la rigidité des encastresments. Ici les quatre pièces sont simplement boulonnées sur des cornières d'angle, tous les boulons ou tiges filetées doivent traverser entièrement les

pièces pour permettre d'exercer un bon serrage par écrous et larges rondelles et surtout de reprendre les jeux futurs après travail du bois. Huit goussets en tôle de 3 sont assemblés de la même manière dans les angles. Le pointage des trous de fixation des tourillons axe polaire - repères 3 et 6 - et paliers de déclinaison - repère 7 - doit être fait sur un bon tracé à la pointe pour assurer le mieux possible la coaxialité des tourillons de l'axe polaire et une bonne perpendicularité de l'axe de déclinaison ;

cette dernière condition est particulièrement intéressante quand on veut pointer des objets de coordonnées connues au moyen de cercles divisés. Comme les tourillons de déclinaison sont séparés par une bonne distance l'emploi d'une simple équerre de menuisier vérifiée donnera facilement une approximation de quelques minutes d'arc très suffisante en pratique.

Ceux qui préfèrent un berceau entièrement métallique ont le choix entre plusieurs solutions. La figure 116 montre un équatorial construit par M. Saget dont le berceau est en tôle pliée et rivée et constitue une pièce d'un dessin très net, cette monture est installée

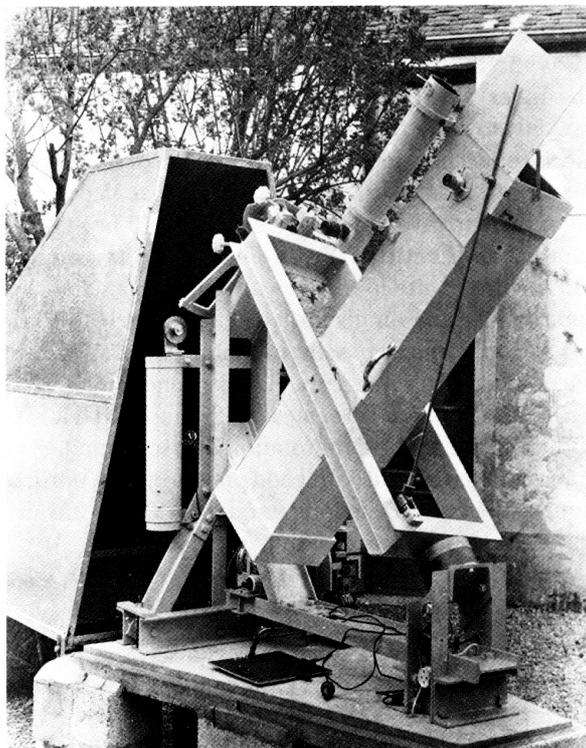


Fig. 117. – Equatorial à berceau, construction fers profilés.
Télescope de 200. (Réalisation Sévoz.)

dans le grenier d'une maison. La tôle de 2 ou 3 pliée sur une bonne plieuse et soudée rend possible la confection de poutres prismatiques à section rectangulaire par exemple où un poids de métal donné est mieux utilisé que dans un assemblage de fers profilés normaux à section en I ou en U. A part cet inconvénient et une élégance discutable les montures à berceau construites en profilés sont tout à fait valables, la figure 117, en donne un exemple intéressant concernant un télescope de 200 ; le cadre du berceau est un U de 100 x 50 et son poids, y compris les tourillons fortement encastrés, n'excède pas 33 kilogrammes ; les piliers eux-mêmes sont en U de 100 x 50 reliés par un I de 140 x 50, disposition à retenir quand la construction de piliers de maçonnerie est exclue pour une raison ou une autre. Une troisième

solution est celle dessinée figure 118 à propos de l'équatorial à berceau déporté mais applicable également au berceau simple. Des tubes d'acier assemblés sur des pièces de fonderie assez simples donnent une bonne rigidité pour tous les angles horaires de l'instrument.

Les pièces métalliques, partiellement détaillées figure 115 ne demandent pas de longs commentaires. Le montage de l'axe polaire reste cinématique par un V à deux contacts côté Nord (repère 2) et le point triple de la plaque repère 5 du pilier Sud. La pression dans ce trou conique est importante mais la graisse consistante suffit à éviter le grippage. Les butées à billes et roulements à rotule sont des solutions d'aspect plus mécanique mais la grande mobilité de l'instrument n'est pas toujours un avantage et nous connaissons des télescopes montés sur billes pourvus ultérieurement de patins de freins pour éviter les déplacements intempestifs. La disposition sur contacts cinématiques est abandonnée en déclinaison, il pourrait y avoir glissement dans certains angles horaires : le jeu inévitable des paliers lisses ne sera guère gênant en pratique, la pince de déclinaison et l'inertie de l'instrument suffiront pour éviter les vibrations mais bien entendu il n'est pas déconseillé d'adopter une solution mécanique plus élaborée par exemple à coussinets de bronze réglables ou roulements à billes, de préférence à rotule pour permettre un réglage exact de la perpendicularité de l'axe, ces roulements peuvent supporter la charge axiale de l'instrument incliné il est donc superflu de prévoir en plus des butées montées sur contre-paliers.

La pince de calage et rappel en déclinaison, repères 9 et 10, est classique, le bois bakélinisé et comprimé genre « Permali »⁽¹⁾ est plus facilement usinable qu'un métal fondu ou découpé dans de la planche épaisse. Le rappel dessiné ici par vis et ressort travaillant à la traction a une tendance au broutement un peu plus faible que la disposition « à pompe » comprenant un ressort travaillant à la compression. Le broutage se produit parfois pour des déséquilibres infimes du télescope ; à ce point de vue une commande positive dans les deux sens par vis et écrous correctement articulés est plus avantageuse mais elle nécessite une réalisation mécanique beaucoup plus soignée et un dispositif d'élimination de temps perdu de la vis pour être irréprochable.

Les cercles divisés, facultatifs et non représentés figures 114 et 115, peuvent simplement être constitués par des grands rapporteurs de dessinateur qui se trouvent actuellement réalisés en « Plexiglas » ou en Rhodoïd sous forme de cercles entiers. Il est facile d'interpoler à vue le dixième de degré ou 6' sur la division en degrés d'un cercle de 200 à 300 de diamètre ; employer un index dont le trait repère ait bien la même épaisseur que les traits du rapporteur. Naturellement le centrage du trou de réalésage dans le rapporteur doit être effectué à une précision correspondante. L'on peut forer un petit trou, bien pointé sur l'axe qui constitue un trou de centrage pour un outil à lamer pourvu d'un traceur et engagé prudemment si l'on veut éviter d'éclater le « Plexiglas », à défaut l'on peut se contenter d'un découpage à la scie à repercer, volontairement trop grand pour rendre possible une fixation à centrage retouchable par 3 vis à têtes plates. Le rapporteur servant de cercle en déclinaison est simplement fixé avec son zéro en face de l'index quand le télescope est

⁽¹⁾ Voir référence en note page 151.

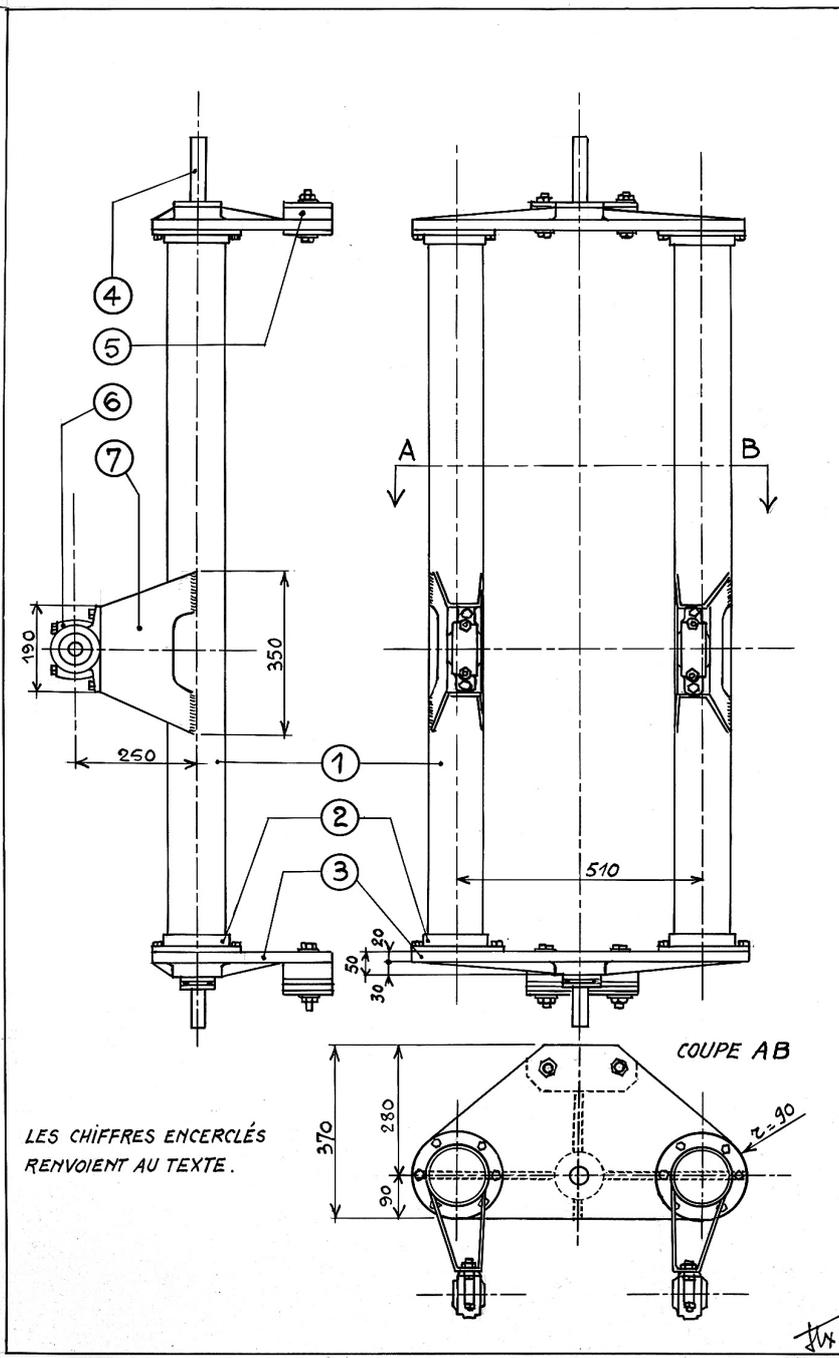


Fig. 118. – Monture à berceau déporté pour télescope de 250 à $f/6$

braqué à l'équateur céleste il suffit d'ajouter le signe + pour les déclinaisons vers le Nord de 0 à 90° et le signe - pour les déclinaisons de 0 à 90° vers le Sud. Pour l'ascension droite l'on pourra ajouter une chiffraison en heures de 15 en 15 degrés, chaque degré de la division représente 4 minutes de temps. L'origine de la division horaire n'a guère d'importance si l'on n'utilise qu'un cercle simple ou à simple index. En général, pour éviter d'avoir à employer l'heure sidérale locale, l'amateur cale son objet en affichant sur le cercle horaire la différence d'ascension droite par rapport à un premier objet facile calé à vue. Ceci suppose bien entendu un bon réglage de l'axe horaire de l'équatorial (voir § 122).

Entraînement horaire : cette question est traitée à part § 109, la monture à berceau s'accommode spécialement bien de l'entraînement par vis et secteur le plus facile à réaliser à une bonne précision pour un amateur. Le tourillon polaire Nord, repère 2 sur les figures 114 et 115 est suffisamment long pour recevoir le secteur d'entraînement qui doit passer ici au-dessus du pilier Nord.

103. Conseils pratiques concernant les montures à berceau déporté. - La figure 118 montre l'emploi de tubes en fer comme longerons de berceau, quelques cotes fixent les idées pour les proportions d'un newtonien de 250 à $f/6$. Les deux longerons - repère I - sont en tube chauffage de 102/114 ou 4 pouces dont les extrémités peuvent être filetées et munies de brides en fonte malléable - repère 2 - qui existent en stock chez les spécialistes en raccord chauffage. Suivant les facilités locales l'on peut préférer des tubes acier soudés sur des brides découpées dans de la tôle épaisse. Les plaques d'embase identiques - repère 3 - sont prévues ici en alliage d'aluminium fondu tel que l'AS 10 G (Alpax β), la réalisation du modèle en bois pour une pièce plate de ce genre ne présente aucune difficulté. Les embases reçoivent les brides 2 fortement boulonnées ainsi que les tourillons 4 d'axe polaire bien encastrés dans des noyaux massifs ; deux tiges filetées serrent les contrepoids 5 qui ramènent le centre de gravité sur l'axe polaire ; contrairement à la disposition esquissée figure 112 B ces contrepoids ne sont pas en regard de la charge déportée il en résulte un effort de torsion sur le berceau probablement préférable à l'accroissement des flexions qu'apporterait un surcroît de charge au milieu. Les paliers de déclinaison - repère 6 - sont empruntés à une série existante : S.K.F. n° S1507, ils possèdent un roulement à rotule sur deux rangées de billes pour axe de 30, un manchon de serrage suffit pour les efforts axiaux modérés du télescope pointés dans des angles horaires importants. Des paliers lisses à coussinets de bronze réglables seraient parfaitement acceptables, seulement un peu plus difficiles à régler. Les chaises support - repère 7 - sont en tôle de 5 pliée et soudée à l'autogène suivant des génératrices des tubes, il est bon de prévoir un montage assurant une présentation correcte des pièces pendant les premiers points de soudure. On peut préférer comme supports de palier des colliers deux pièces en Alpax fondu serrant les tubes dans une position ajustable. Le déport coté 250 par rapport à l'axe rend possible le pointage d'un tube de 310 au pôle même, au prix d'un effort, de torsion appréciable sur le tube.

L'on peut rapprocher du berceau déporté l'équatorial réalisé par notre collègue Walbaum, à Reims (fig. 119) dont le berceau en bois est classique

mais supporte deux télescopes qui s'équilibrent mutuellement en déclinaison. Les fers U de liaison et les cornières paraissent faibles mais les performances de cet instrument sont excellentes, notamment les longues poses photographiques donnent des images stellaires bien rondes de 37μ au plan focal du télescope de 330 soit sensiblement 3" (fig. 155).

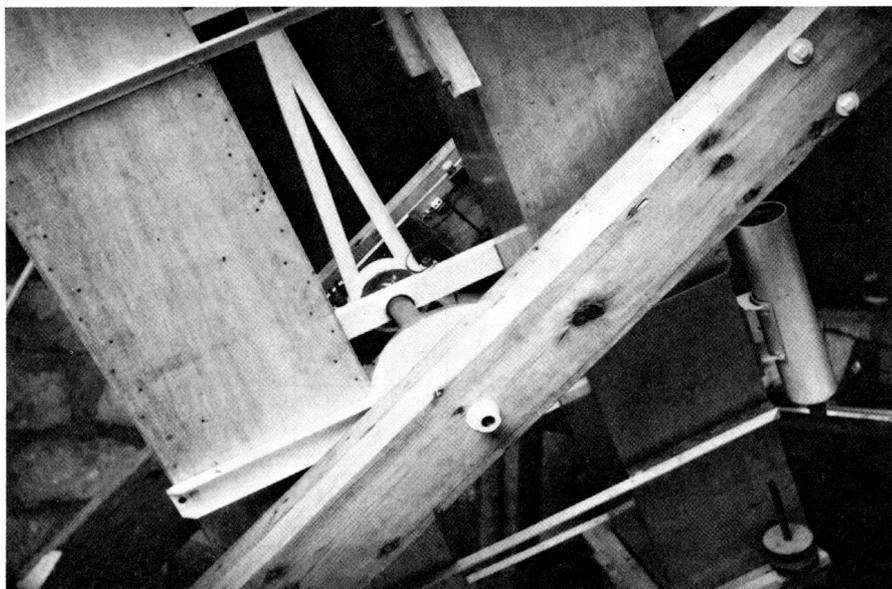


Fig. 119. – Partie centrale d'un berceau à deux télescopes déportés.
(Réalisation Walbaum.)

104. Conseils pratiques relatifs aux montures anglaises simples. – Les poutres horaires classiques très robustes sont réalisées par deux troncs de cônes porteurs de tourillons et pourvus de fortes brides pour un assemblage par boulons sur un cube central muni des paliers de déclinaison (fig. 112 C). La monture de Grubb Parsons du télescope de 193 centimètres de l'Observatoire de Haute-Provence comprend un axe horaire de ce genre pesant à lui seul 21 tonnes ! Notons un raffinement supplémentaire preuve du soin apporté à l'étude d'équatoriaux d'une certaine dimension et à quel point le souci de construire rigide l'emporte sur l'esthétique et la facilité de réalisation ; les troncs de cône sont quelquefois excentrés - télescope de 80 centimètres de Haute-Provence - et la poutre horaire en forme de cigare dissymétrique - télescope Crossley, Observatoire Lick - pour rapprocher au maximum le télescope de l'axe et réduire l'importance du contrepoids.

Dans un ordre d'idées plus directement applicables pour l'amateur voyons quelques solutions simples de poutres horaires. Une construction en bois par 4 fortes planches légèrement galbées, assemblées de manière à constituer une double pyramide à base carrée, dont les extrémités tronquées sont fortement assemblées sur des porte-tourillons métalliques, offre sinon une stabilité parfaite

dans le temps, du moins une robustesse très acceptable. La figure 120 montre une poutre de cette forme mais entièrement métallique, les flancs sont en tôle. Cette monture, due à M. Gauthier à Sanary, porte un télescope newtonien de 330, elle utilise beaucoup de pièces métalliques de récupération empruntées en particulier à des cadres de wagonnets et des instruments militaires réformés. M. Gauthier a pu contrôler avec ce télescope les milliers d'objets



Fig. 120. – Equatorial de 330 construit par G. Gauthier.

de la *Revue des Constellations* ⁽¹⁾ et suivre visuellement le déplacement de la planète Pluton,

L'idée d'employer comme poutre horaire le pont arrière d'une grosse automobile ou d'un camion paraît due à l'amateur américain M. Maxwell qui monta un télescope de 12" 1/2 sur un pont banjo de Chevrolet ⁽²⁾, le pignon à queue est remplacé par une large couronne à billes pour la rotation en déclinaison. Les ponts *non porteurs* de véhicules relativement légers – Juvaquatre,

⁽¹⁾ Publication *Société Astronomique de France*, au siège de la Société.

⁽²⁾ *Amateur telescope making*, 4^e édition, figure et plan, p. 65.

1 000 kilos Renault – sont un peu faibles pour des télescopes supérieur à 200 mais assez pratiques, la rotation horaire pouvant se faire en bloquant simultanément l'extrémité des demi-axes de roue et même le mouvement en déclinaison directement sur le pignon à queue si l'instrument est assez léger et si les roulements coniques peuvent avoir repris leur jeu.

Sur la figure 121 l'on voit un newtonien de 260 porté par un pont de 1 000 kilos Renault ; l'axe polaire est presque horizontal pour cet instrument monté à Brazzaville par M. Delnott ; l'on remarque la rotation horaire simplement réalisée par le bridage des extrémités des demi-axes de roues sur les piliers.

Pour des télescopes de cette dimension il est préférable de choisir un *pont porteur* de véhicule robuste : Citroën T45, Ford F7, Dodge T110, trouvé le plus souvent à bon compte chez un casseur de voitures. Le dernier type mentionné a été employé par notre collègue Verseau pour un télescope de 300 Newton-Cassegrain et la figure 122 suggère une forme de montage.

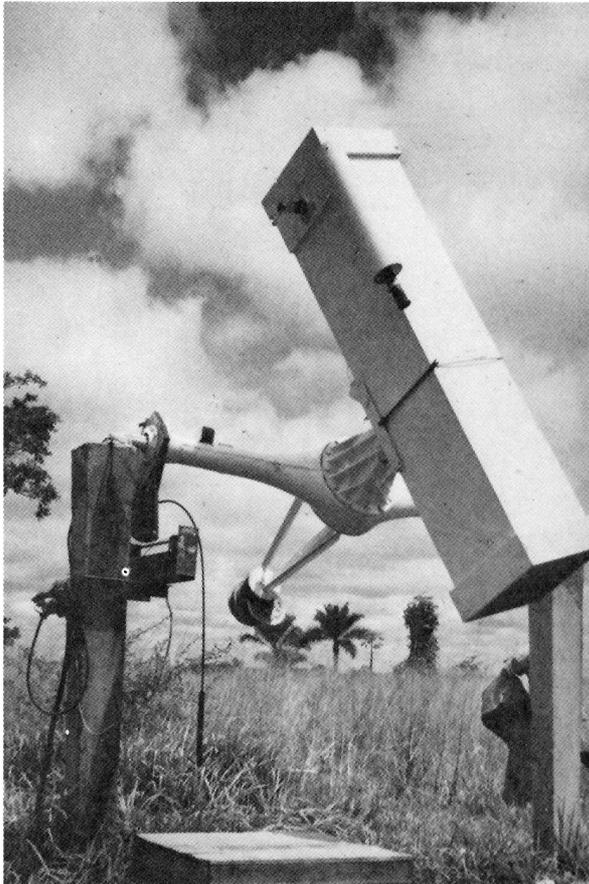


Fig. 121. – Equatorial de 260 sur pont arrière de 1 000 kg Renault (Réalisation Delnott).

La rotation horaire sur sur les roulements coniques d'origine est possible mais il est plus pratique de couper le bout du tube porteur et d'employer un palier muni d'un roulement à rotule sur deux rangées de billes ce qui facilite le réglage de l'axe. Quelle que soit la poutre horaire utilisée nous savons que le point faible de la monture anglaise simple est la section de sortie de l'axe de déclinaison en porte-à-faux. La figure 122 concerne un axe de 70 sur roulements à rouleaux coniques *Timken*. Des flasques nervurés en fonte reçoivent les cages extérieures des roulements de 125. L'axe en acier demi-dur présente une tête tournée dans la masse pour le boulonnage robuste d'une pièce intermédiaire ou du berceau du télescope lui-même, l'autre extrémité filetée est munie d'un écrou et d'un contre-écrou permettant une pré-contrainte axiale, qui peut atteindre sans inconvénient plusieurs centaines de kilogrammes sur des roulements de cette

dimension. Noter la pièce indépendante en tôle pour porter le contrepois et abriter le cercle de déclinaison, un contrepois simplement porté en bout d'axe risque de constituer un vibrateur indésirable.

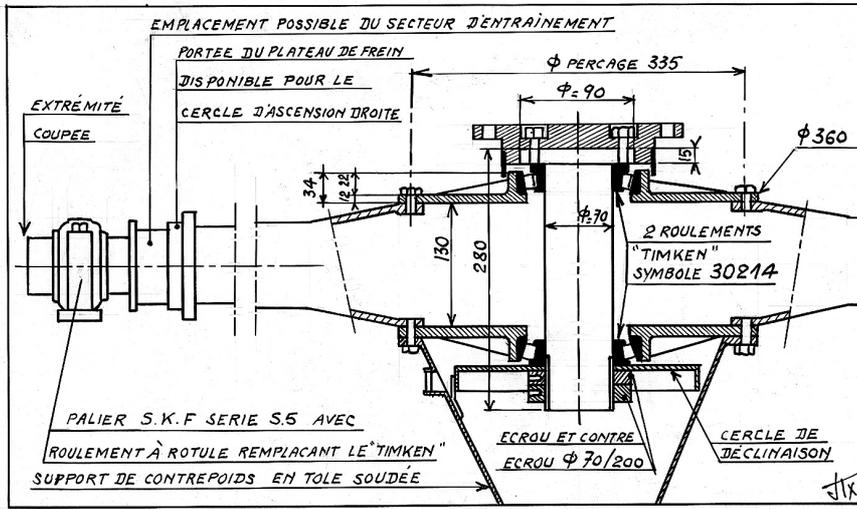


Fig. 122. – Montage d'un axe de déclinaison sur pont-porteur Dodge T 110.

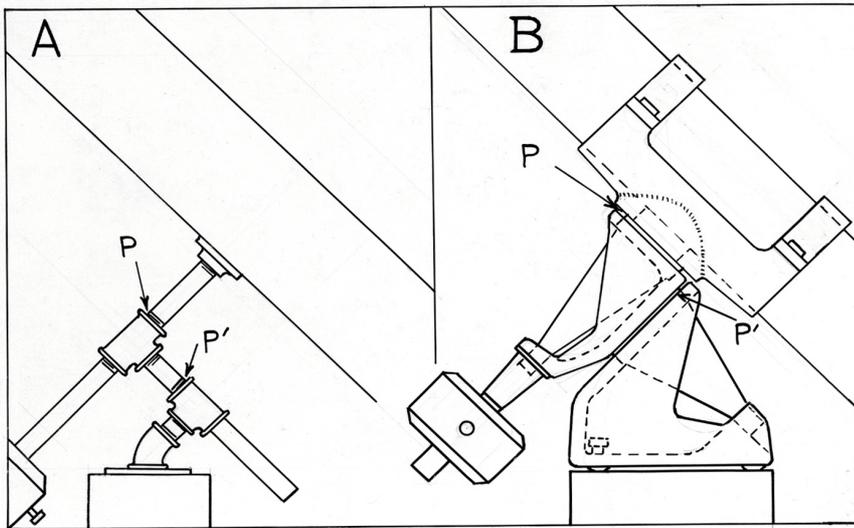


Fig. 123. – Comparaison d'une monture allemande extrêmement flexible
A une monture rigide mais coûteuse.

105. **Conseils pratiques pour les montures allemandes.** – Les montures allemandes d'amateurs sont bien souvent de pauvres assemblages « à la fortune du pot » d'éléments de machine existants, il ne paraît pas opportun de se

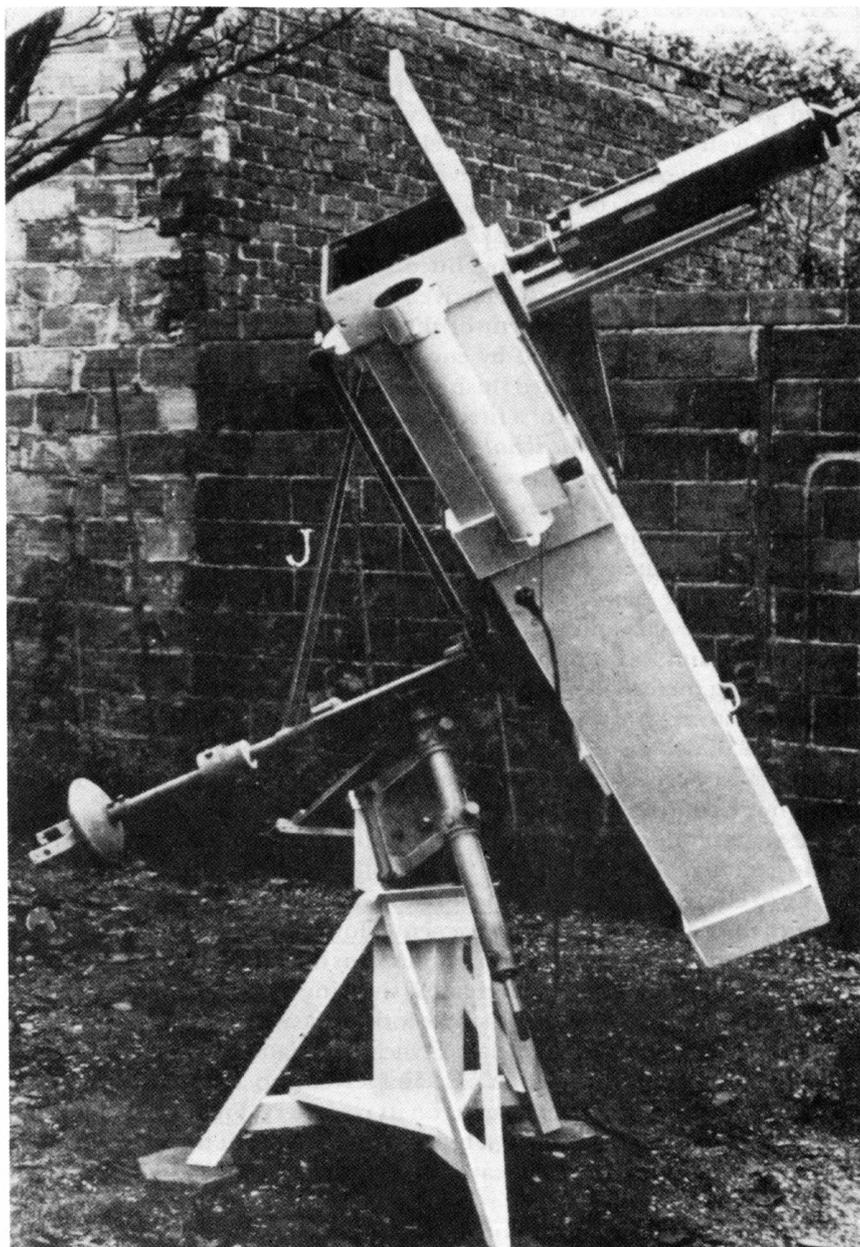


Fig. 124. – Equatorial allemand à télescope standard 200 (*Réalisation Faure-Geors*).

perdre dans des descriptions de constructions peu recommandables. Il faut seulement rappeler les fautes les plus courantes.

Un dessin de R. W. Porter a inspiré la figure 123 dont la partie A est une caricature, peu chargée, de certaines constructions d'amateurs américains obtenues par assemblage de tubes et raccords de chauffage. S'il faut en arriver là pour des raisons de facilité il est bien préférable de s'en tenir à un azimutal standard, la longueur des porte-à-faux et la faiblesse des axes aux points chargés P et P' entraînent des vibrations peu amorties intolérables. Par contraste la solution luxueuse B fait ressortir le renforcement maximum des axes aux points chargés associé à des pièces de fonderie très élaborées, une si grosse dépense en modelage et usinage paraît mieux justifiée pour une monture à fourche, tout au moins pour le montage d'un réflecteur.

Il existe des moyens termes acceptables construits à base de paliers de transmission assemblés à des bâtis d'angle en tôle soudée ou même des fortes charpentes en bois. Une poupée de tour inclinée peut offrir également une solution admissible, la figure 124 en montre un exemple réalisé par M. Faure-Geors pour un standard 200 à $f/7$. Le trépied en bois d'origine est renforcé par une forte colonne coupée à l'angle. Un touret dont la broche ne dépasse pas malheureusement 30 de diamètre donne la rotation horaire. Une pièce en tôle épaisse porte les paliers de déclinaison : l'axe de déclinaison est faible mais une jambe de force J relie l'extrémité du tube à une douille ajustée sur l'axe ce qui amortit efficacement les vibrations. La partie oculaire est alourdie ici par une grande chambre à amplificateur focal pour la photographie planétaire à haute définition ; quelques résultats excellents obtenus doivent être surtout mis au compte de la patience, des soins méticuleux et compétents de l'utilisateur.

106. Conseils pratiques concernant les montures à fourche. - Voyons d'abord le cas de l'équatorial mobile, jugé hérétique par certains mais parfaitement acceptable au prix de quelques précautions. La monture à fourche, bien centrée et peu encombrante se prête assez bien à un transport sur sol uni. L'équatorial roulant retiendra en particulier l'attention de ceux qui disposent d'une terrasse cimentée déjà pourvue d'un abri et rejettent l'éventualité de la construction d'un abri spécial à toit roulant ou d'une coupole. Une solution possible est esquissée figure 125, le socle en fonte de l'équatorial est rectangulaire et pourvu de 3 roulettes caoutchoutées montées sur billes, une roulette à chape tournante sur billes et un brancard facilitent la conduite. La fidélité du réglage en azimut et en hauteur est assurée par l'engagement des fortes vis calantes dans un système d'emboîtures *trou-trait-plan* en acier scellées à fleur dans le ciment. Une première vis calante a une extrémité en forme de boule A qui vient s'engager dans le *trou* conique à 90° A' de la première emboîture, cela élimine trois degrés de liberté ; l'extrémité B, également sphérique, de la seconde vis calante vient s'immobiliser dans le *trait* B', en forme de V à 90° orienté dans la direction du trou, ce qui élimine encore deux degrés de liberté ; le sixième et dernier degré de liberté est éliminé à son tour par le simple contact de l'extrémité C, légèrement bombée, de la troisième vis calante contre le *plan* C'. Des écrous et contre-écrous bloqués une fois pour toutes à l'endroit voulu servent de butée de course aux vis calantes pour assurer la décharge complète des roulettes et le réglage d'inclinaison de l'axe. Le réglage en azimut s'obtient

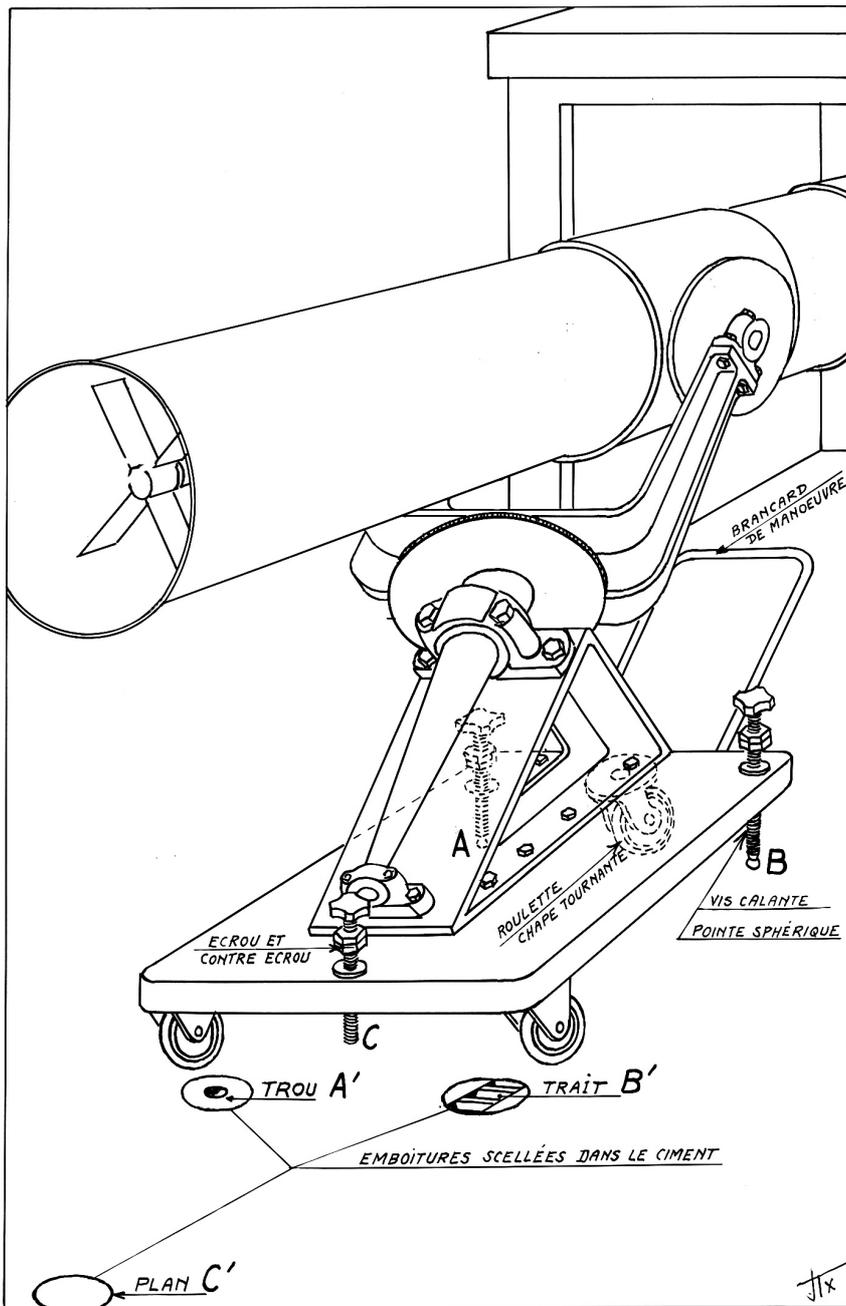


Fig. 125. – Equatorial roulant à mise en station rapides sur emboîtures trou-trait-plan.

par déplacement du trait B' qu'il y a intérêt à construire en deux pièces car le scellement d'un V fixe ne pourrait se faire avec assez de précision. La mise en station dans ces conditions ne prend guère plus de temps que l'ouverture d'un abri fixe.

L'étude d'un équatorial à fourche doit être centrée avant tout sur la rigidité de la fourche elle-même et de l'axe polaire considérablement chargé au palier Nord.

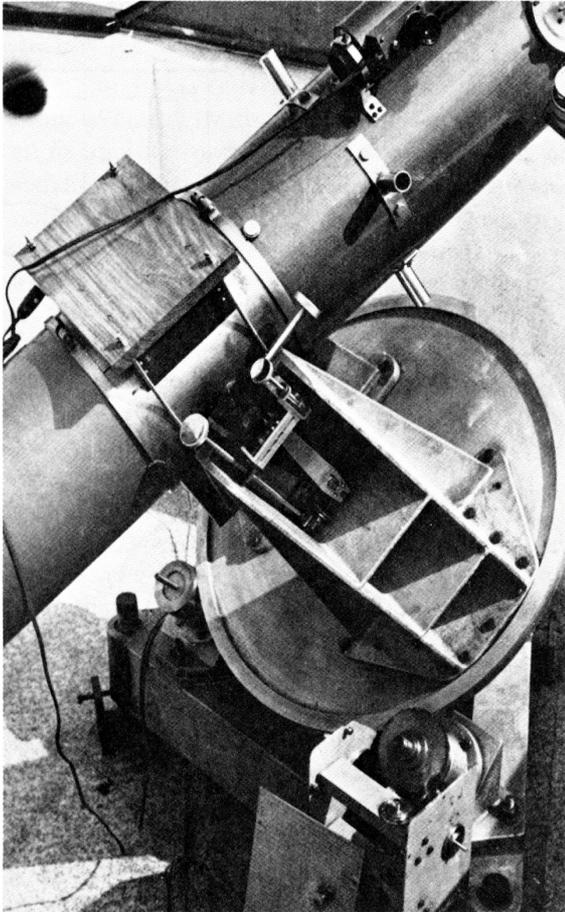


Fig. 126. – Equatorial à fourche (Réalisation Boudrand).

d'entraînement horaire par friction. Le plateau de charge est coulé d'une pièce, de larges nervures assurant une liaison parfaitement rigide au tourillon Sud, beaucoup plus modeste, dont le roulement *Timken* joue le rôle supplémentaire de butée. Un socle triangulaire fortement nervuré également porte l'ensemble. Toutes ces pièces de fonderie sont en Alpax et l'on comprend qu'avec de telles proportions la rigidité ne laisse rien à désirer. Naturellement la dépense en modelage est très dure à amortir sur un exemplaire unique ; il n'est pas interdit de rêver au riche magasin de modèles que pourrait posséder une société d'amateurs dont les membres lègueraient leur outillageEncore faudrait-il résoudre des

Il est tentant d'allonger les bras de la fourche pour pouvoir saisir le télescope près de son centre de gravité et réduire le rayon de rotation de l'oculaire, mais *les flexions croissent comme le cube de la longueur en porte-à-faux*. Une solution irréprochable à ce double problème est illustrée par les figures 126 et 127 montrant un newtonien de 200 à $f/6$ réalisé par M. Boudrand. Les deux bras de fourche sont des pièces de fonderie fortement nervurées dont l'assise est considérable, ils sont boulonnés sur un grand plateau – diamètre 800 – qui n'est autre que la tête d'un axe polaire très particulier servant elle-même de chemin de roulement sur deux galets d'acier à 90° ; La figure 127 montre le galet monté sur *Timken* servant en même temps

problèmes d'usages embarrassants pour le plus grand nombre quand il s'agit de telles pièces.

L'assemblage de bras de fourche sur un plateau n'est pas nécessairement

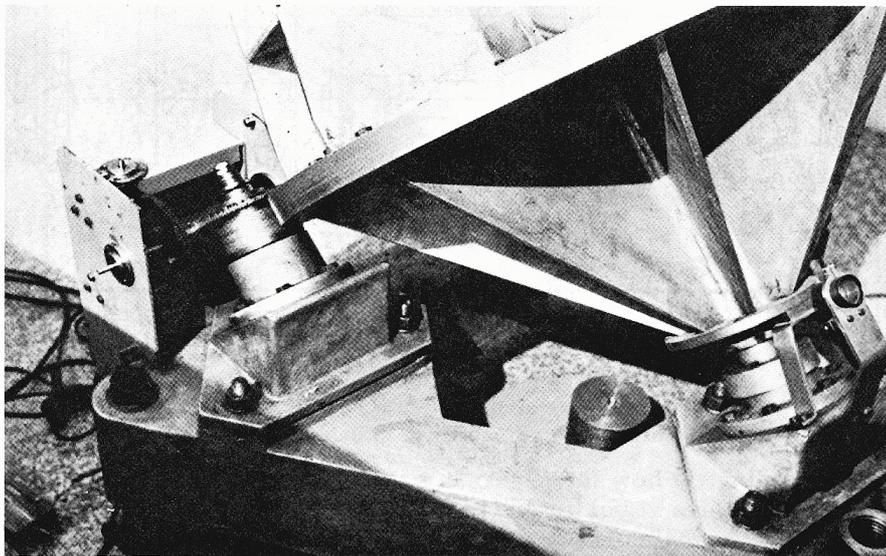


Fig. 127. – Détail de l'axe polaire de l'équatorial de Boudrant.

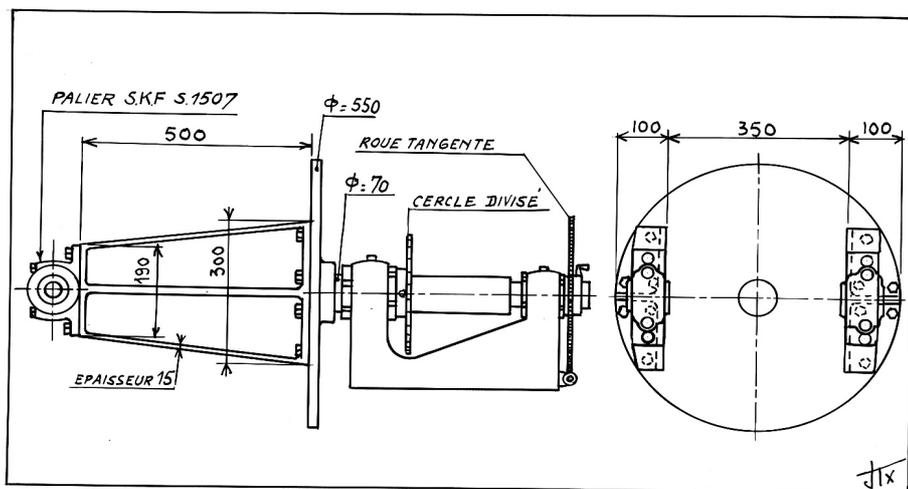


Fig. 128. – Monture à fourche sur poupée et plateau de tour.

une solution aussi chère. Léon Foucault l'avait adopté dès 1860 et avait fait construire par Secrétan, puis Eichens, plusieurs modèles à télescopes de 200, 400 (Observatoire de Paris) et même 800 d'ouverture (Observatoire de Marseille). Ces fourches sont principalement en bois, leur construction compliquée serait actuellement peu intéressante à imiter pour un amateur mais

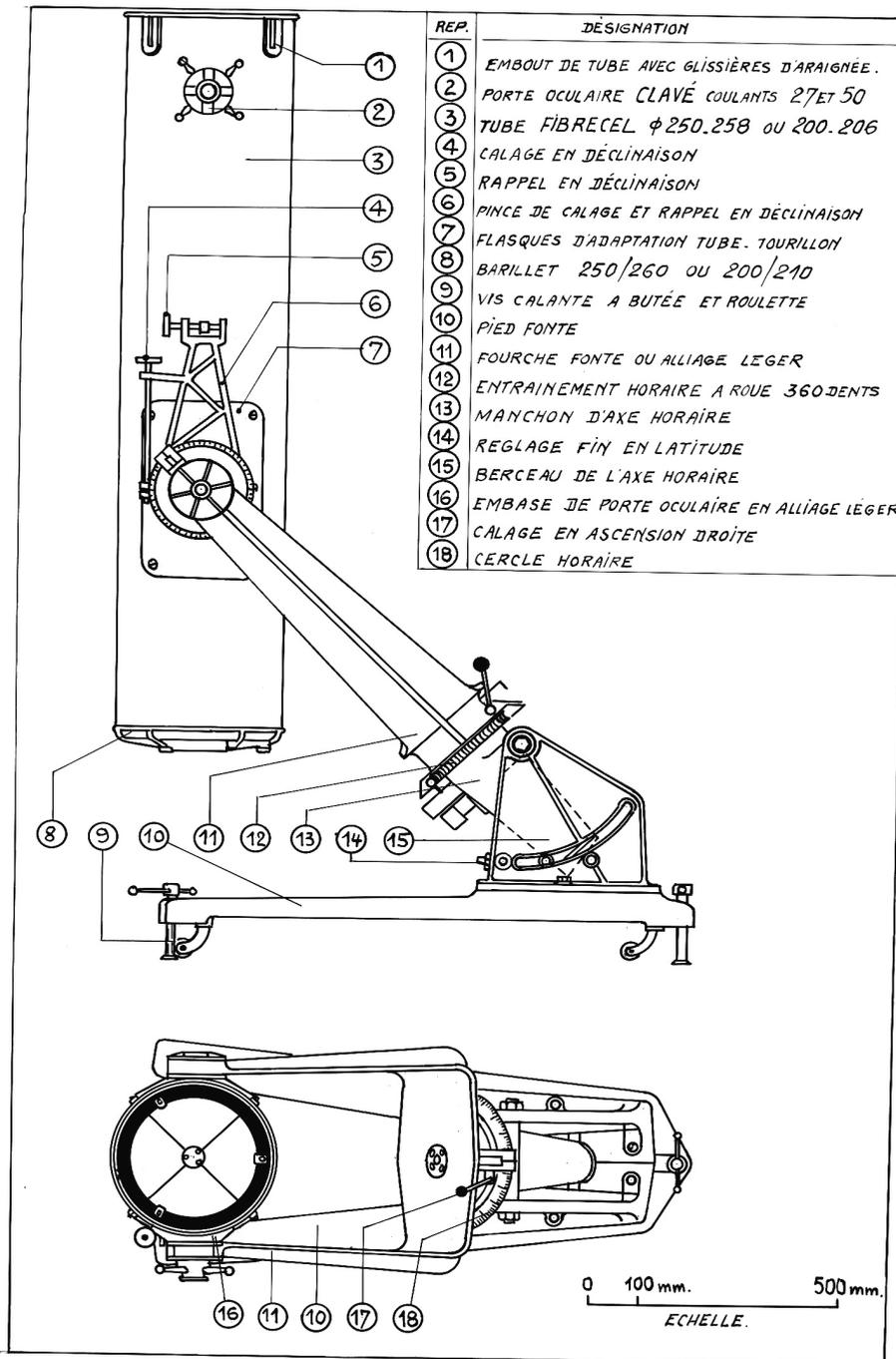


Fig. 129. - Equatorial à fourche réalisé en série et détaillé par pièces
(Réalisation G Florsch).

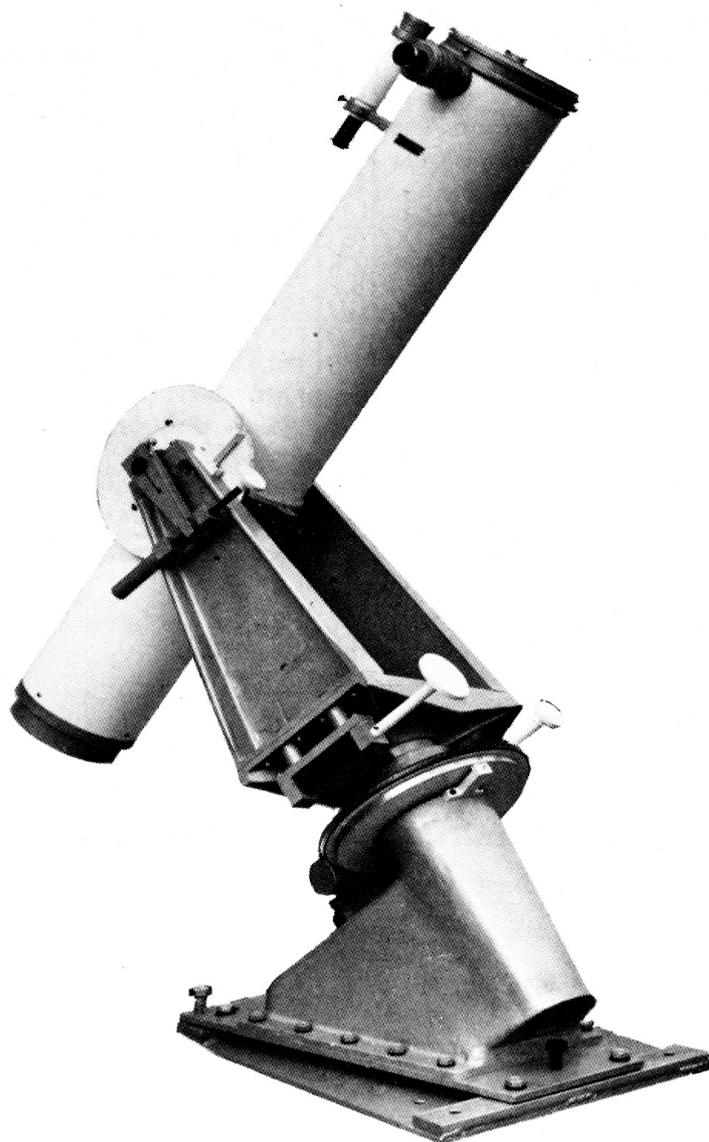


Fig. 130. – Equatorial à fourche construit en série par M. Mévolhon.

Corps en alliage léger, à latitude fixe, boulonné sur semelle et contre-plaque épaisseur 12 mm. Axe polaire $\varnothing = 60$ mm, monté sur roulement à billes le diamètre peut être porté à 70. Roue dentée en bronze 300 dents ; $\varnothing = 265$; vis en acier inoxydable ; moteur synchrone et réducteur ; cercles donnant la minute en ascension droite et $15''$ en déclinaison. Fourche assemblée pour télescopes 150, 210 ou 360 (310 en portant l'axe à $\varnothing = 70$). Encombrement hors tout ; largeur 400 ; longueur 800 ; hauteur des paliers 800 ; poids 72 à 90 kg.

l'on peut trouver toute faite une forte poupée d'un tour en l'air encore munie d'un grand plateau de fonte sur lequel il suffira de boulonner deux bras de fonderie très simples (fig. 128). Comme l'axe ici est directement porteur il faut choisir une poupée dont la broche ne mesure pas moins de 60 millimètres de diamètre pour porter un 200/250 ; le plateau de fonte aura un diamètre de 500. La figure 128 donne quelques cotes des bras de fourche qui sont ici des pièces de fonderie plate peu onéreuses. La poupée de tour peut se monter sur un socle de latitude dans le genre de celui représenté figure 125.

Les fourches coulées d'une pièce sont plus élégantes à rigidité égale, les meilleures sont creuses et limitées par des surfaces nettes de large galbe mais il faut être modelleur professionnel pour se lancer dans un modelage aussi complexe comprenant de grandes boîtes à noyau. Une monture à fourche plus simple est donnée figure 125. La figure 129 est un modèle construit en série par notre collègue G. Florsch ⁽¹⁾ ; cet équatorial à fourche peut être livré complet ou en pièces détachées. Dans le même ordre d'idées mentionnons l'équatorial à fourche construit en série par notre collègue Mévolhon ⁽²⁾ (fig. 130)

Nous déconseillons les modèles de fourche obtenus par assemblage de fers profilés et même par soudure de plaques de tôle découpées, ces assemblages peuvent bien présenter une rigidité suffisante mais les vibrations sont toujours moins bien amorties que dans une pièce de fonderie aux congés généreux.

107. Conseils pratiques sur les montures à table en bout d'axe polaire. – L'axe polaire doit être traité comme celui d'une monture à fourche. Le plateau du tour, ou son équivalent, peut recevoir les paliers de déclinaison directement boulonnés dessus. Les contrepoids en déclinaison sont très ennuyeux ; pour éviter de leur faire jouer le rôle de vibreur ils doivent être montés sur des tiges assez courtes et de forte section ; le socle de l'équatorial doit être suffisamment dégagé pour leur donner le passage dans les angles horaires importants. La figure 131 montre, partiellement, l'équatorial S. B. A. conçu par André et réalisé par J. S. Dubois à Linkebeek, près de Bruxelles, pour un newtonien de 250. C'est un bon exemple de construction en tubes et tôles soudés, remarquer l'importance donnée à la charpente du socle et le prolongement portant le palier Nord. Les vibrations sont nécessairement moins bien amorties que dans une construction à pièces de fonderie, des points de contact surnuméraires au sol améliorent la tenue du châssis.

108. Généralités sur les entraînements horaires. - Suivant l'usage de l'instrument le problème prend un aspect pratique très différent. *Pour les démonstrations visuelles et les dessins planétaires* il suffit que l'astre reste à peu près au milieu du champ, disons à une minute d'arc près, approximation facile à atteindre par des moyens mécaniques très approximatifs dont les réducteurs sont empruntés à des instruments divers : tournebroches, écrémeuses, moteurs de phonographes à rouleau... Sans être méprisables ces réalisations ne sont pas assez intéressantes pour servir de modèle à ceux qui n'ont pas justement l'instrument en question sous la main. *La photographie à longue pose* exige par contre un entraînement beaucoup plus soigné. Les images photographiques d'étoiles sous-tendent dans de bonnes conditions 3 à 4" au plan focal de télescopes

⁽¹⁾ 65, avenue de la Blies, Sarreguemines (Moselle)

⁽²⁾ Chemin des Plantiers, Manosque (Basses-Alpes)

d'amateurs de 250 à 400 d'ouverture, elles ne paraissent « bien rondes » que si le mouvement diurne est suivi à 1" près, or c'est 1 μ sur la denture d'une roue horaire de 412 de diamètre, la portée et les filets de la vis d'entraînement devront également « tourner rond » à cette précision. L'expérience montre que l'amateur n'arrive à de bons résultats qu'au prix d'un suivage attentif par oculaire latéral (§ 112) et de fréquentes corrections, la réfraction atmosphérique suffirait d'ailleurs à imposer cette surveillance même avec une mécanique idéale. La nécessité des rappels à la main étant reconnue, il reste tout de même indispensable de réaliser un *ensemble homogène* tant au point de

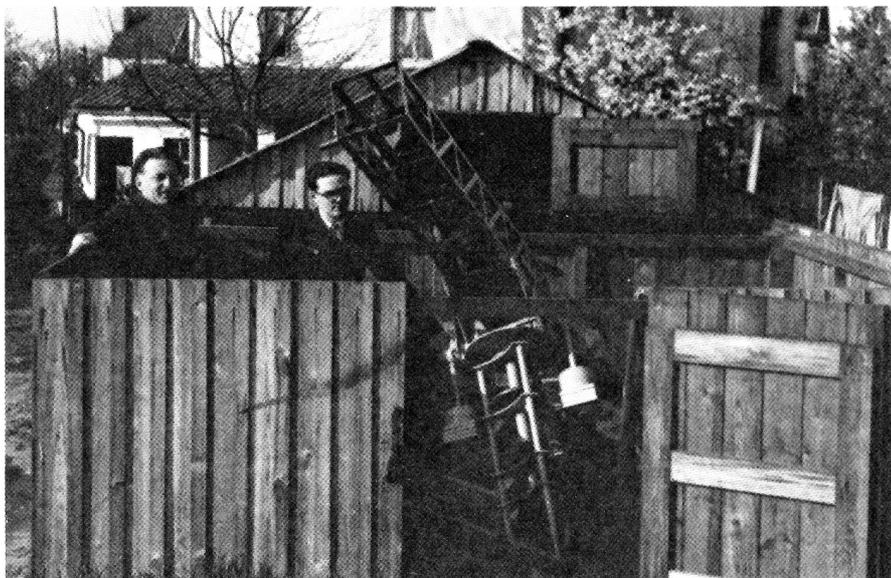


Fig. 131. – Equatorial de 250 construit par J. S. Dubois.

vue de la rigidité de l'équatorial que de la douceur et la fidélité de son entraînement.

Les imperfections inévitables méritent un classement car leur importance pratique est très variable.

Erreur de marche progressive. - Par exemple : vitesse trop lente ou trop rapide du moteur ; approximation de la démultiplication du train réducteur négligeant parfois la différence entre le jour solaire moyen et le jour sidéral (1/360) ; excentricité du grand mobile calé sur l'axe polaire et tournant par conséquent à raison d'un tour en 24 heures. Ce genre de défauts est le moins gênant, les corrections périodiques nécessaires ne seront pas beaucoup plus fréquentes que celles motivées par les causes extra-instrumentales sauf si la marche est scandaleuse.

Erreurs sinusoïdales. - L'excentricité d'un mobile lent, par exemple la vis tangente de la grande roue horaire est un défaut sérieux car l'amplitude atteint aisément 10 à 20" pour un seul centième de « faux-rond », il faudra rappeler alternativement dans les deux sens à une fréquence qui peut malheureusement

être assez grande. L'excentricité d'un mobile rapide, disons un tour par seconde, ne sera guère compensable au rappel manuel mais heureusement l'amplitude sur la rotation horaire sera toujours très petite sinon inobservable ; il ne faut donc pas hésiter à accepter les boîtiers démultiplicateurs des fabricants de petits moteurs synchrones, au moins pour les premiers étages de réduction.

Erreurs accidentelles brutales. - Ce sont les plus dangereuses car elles imposent une surveillance exempte de toute défaillance et de bons réflexes à l'observateur voulant quand même une bonne photographie. Ce sont les défauts locaux d'usinage de la vis et de la grande roue horaire qui sont particulièrement à craindre car ils entraînent vite un dépointage inacceptable. Les broutages d'entraînement sont dus en général à un mouvement horaire trop dur ou à un défaut d'équilibrage de l'équatorial (§ 121).

La grosse question est donc la réalisation du grand cercle d'entraînement assez parfait. La disposition classique d'une grande roue horaire dentée entraînée par vis tangente est nécessairement très onéreuse à construire correctement, il faut prendre un diamètre aussi grand que possible pour réduire les erreurs angulaires dues aux défauts d'usinage inévitables et le taillage des nombreuses dents immobilise longtemps une machine précieuse qui ne sera pas volontiers affectée à une commande isolée d'un simple particulier. Un entraînement par friction d'un galet rectifié contre une roue horaire lisse est parfaitement admissible (fig. 126 et 127) et réalisable beaucoup plus aisément.

Mais la solution la plus intéressante pour l'amateur est celle d'un grand secteur lisse sur lequel s'enroule un ruban d'acier tiré par l'écrou d'une vis. Cette disposition paraît remonter à la seconde monture du télescope Crossley de l'Observatoire Lick vers 1908, M. J. Saget en a donné en 1933 une version (fig. 116) pouvant encore servir de modèle aux réalisations d'amateur. L'inconvénient évident du secteur est de nécessiter des interruptions d'entraînement pour la remise à zéro de l'écrou toutes les trois heures par exemple mais il est beaucoup plus facile de construire à une bonne précision une vis et son écrou qu'une vis et une grande roue tangente à laquelle il serait généralement impossible de donner un rayon aussi grand que celui du secteur. Dans un domaine susceptible de réalisations très variées dans le détail nous nous contenterons de deux exemples.

109. Entraînement par vis et secteur lisse. - La figure 132 n'est pas un plan d'exécution, elle précise seulement quelques proportions d'un entraînement à secteur de trois heures applicable notamment à l'équatorial à berceau rustique des figures 114 et 115.

Secteur - Le bois bakélinisé genre « Permali » est presque aussi stable et résistant qu'un métal mais beaucoup plus facile à usiner ; faute d'une machine-outil appropriée il faudra seulement veiller à soigner le mieux possible le forage recevant le tourillon Nord de l'axe polaire, si le contour du secteur est obtenu à la scie à chantourner il faudra avoir la patience de rôder les inégalités au moyen d'un patin porteur de papier de verre monté provisoirement sur le pilier Nord. L'épaisseur du secteur doit être suffisante pour permettre l'enroulement côte à côte du ruban d'acier et du second ruban ou du câble tiré par le contrepoids de rappel des jeux. Le rayon du secteur se calcule aisément, ici la vis a un pas de 2 et tourne à 1 tour par minute (de temps moyen)

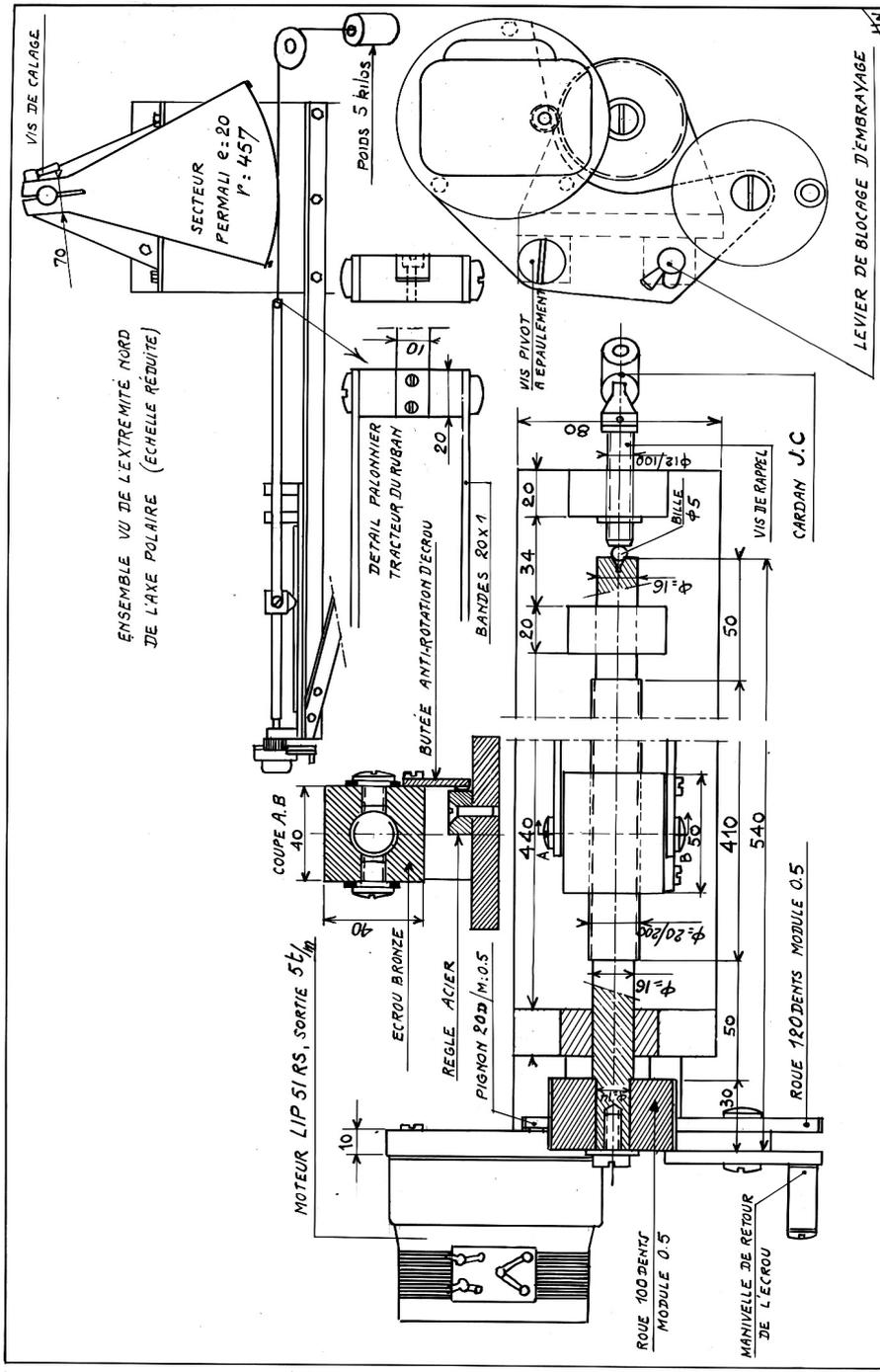


Fig. 132. - Disposition générale d'un entraînement par vis et secteur.

or l'axe horaire doit tourner à raison de un tour en un jour sidéral de $23^{\text{h}},56$ ou 1 436 minutes. Si la circonférence d'enroulement du ruban était complète elle devrait développer $1\,436 \times 2 = 2\,872$ millimètres, d'où le rayon cherché de 457,1 ; en divisant par 2π l'on peut arrondir à 457 pour tenir compte de la demi-épaisseur du ruban.

Ruban. - La bande d'acier laminé doit être assez mince pour éviter une raideur excessive, deux dixièmes d'épaisseur suffisent et 10 millimètres de largeur ; à défaut, les rubans utilisés par les emballeurs pour cercler les caisses peuvent convenir, il faut éliminer naturellement tout morceau du ruban qui présenterait une déformation. Le ruban est pincé (fig. 132) dans un palonnier relié à l'écrou tracteur par deux bandes articulées très libres sur des vis à épaulement.

Vis et écrou. - Ce sont les organes de précision qui méritent les meilleurs soins. La vis sera taillée sur un bon tour parallèle dans de l'acier demi-dur, par exemple A.D.V. 45 ⁽¹⁾. L'écrou en bronze, assez long pour réduire les erreurs accidentelles, ne devra pas être ajusté ferme mais au contraire être très libre, son jeu axial est repris par la traction du poids. La rotation de l'écrou est empêchée sans contrainte, par la butée contre une longue règle d'acier. La précision de la vis est celle de la vis-mère du tour qui l'engendre, celle-ci est souvent fatiguée sur une partie de la course d'où possibilité d'erreur progressive ; l'échauffement d'une longue pièce au cours de l'usinage peut être également une cause d'erreur progressive mais ce défaut, au même titre qu'un faible écart régulier de vitesse du moteur, n'est guère gênant et il paraît en général inutile d'avoir recours à une vis de précision taillée à la fraise-mère sur une machine spéciale. Précisons que la simple tige filetée, vendue au mètre dans le commerce, peut donner un entraînement sinon parfait du moins très acceptable surtout si l'on rôde les bavures des filets dans l'écrou en faisant circuler ce dernier un grand nombre de fois tout le long de la vis en interposant une graisse contenant de l'émeri 10 minutes. Naturellement le rodage terminé les pièces sont soigneusement nettoyées au pétrole avant le graissage du service. Sur la figure 132, la butée axiale de la vis se fait par son trou de centrage, usiné assez grand pour recevoir une bille de 5 butant elle-même contre la face plane et trempée d'une seconde vis. Cette disposition élimine l'erreur périodique d'une portée classique et rend possible des rappels très précis, il y a deux inconvénients : 1° la commande de la vis de rappel n'est pas très facile, il faut disposer plusieurs cardans ⁽²⁾ pour conduire la commande près de l'oculaire ; 2° la roue dentée calée sur la vis doit avoir une denture longue spéciale sinon un accouplement extensible, les deux systèmes peuvent introduire des erreurs si la réalisation matérielle laisse à désirer.

Moteurs. - La disposition ancienne classique d'un poids moteur dont la chute est contrôlée par un train d'engrenage actionnant un régulateur de vitesse est tout à fait utilisable particulièrement si le régulateur est bien isochrone ⁽³⁾ même le régulateur à boules et plateau de friction, d'un vieux moteur de phonographe autorise quelques résultats mais en général ces systèmes ne disposent

⁽¹⁾ Anciens Ets ALBERT DENIS, 88, rue Amelot, Paris 11^e.

⁽²⁾ Par exemple les joints universels au COMPTOIR CENTRAL D'OUTILLAGE MECANIQUE, 22, avenue Daumesnil, Paris 12^e.

⁽³⁾ *Lunettes et télescopes*, p. 348.

pas d'une hauteur de chute de poids suffisante pour éviter de fréquentes interruptions au cours de la pose ; il est beaucoup plus pratique, si l'électricité est installée, d'avoir recours à un petit moteur électrique.

Ce sont les *moteurs synchrones* qui paraissent les plus avantageux ; tant que la charge reste inférieure au couple de décrochage leur vitesse reste constante et ne dépend que de la fréquence du courant alternatif d'alimentation. Autrefois cette fréquence était stable à 1.10^{-3} près environ ; les alternateurs des centrales étaient pilotés par des régulateurs de précision pour permettre les interconnexions de réseau; actuellement d'autres procédés, malheureusement pour nous, n'imposent plus des normes aussi rigoureuses et des écarts de l'ordre de 1.10^{-2} sont fréquents, l'observateur doit rappeler plus souvent ou bien alimenter son moteur par un générateur basse fréquence piloté par un grand diapason auto-entretenu, un push-pull de 6L6 suffit amplement ; nous laisserons cette solution aux amateurs électroniciens.

Parmi les moteurs synchrones utilisables signalons les L.I.P. ⁽¹⁾ modèle 51 S tournant à 3 000 tr/mn sur courant 50 périodes, dont la puissance est de 8 watts et le couple de synchronisme 10 grammes à un centimètre. Ce faible couple sur l'axe rapide écarte les réducteurs à vis et roue tangentes dont les frottements risquent d'être excessifs : le mieux est de prendre au moins pour les premiers étages, les réducteurs à engrenages droits livrables avec ces moteurs et dont les rapports variés sont très pratiques pour notre problème. La figure 132 montre l'emploi d'un réducteur L.I.P. dont l'axe lent fait 5 tours par minute, sur cet axe le couple de synchronisme est de 3200 grammes à un centimètre, les frottements de la vis dans son écrou et les paliers doivent normalement être très inférieurs. L'axe lent sortant des deux côtés permet de disposer toujours du bon sens de rotation au besoin par retournement du moteur réducteur. Eviter l'emploi de réducteurs dont l'axe lent fait moins de un tour/minute pour ne pas fatiguer exagérément la denture des engrenages en cas de calage, il est préférable d'adopter, comme sur la figure, un dernier étage de réduction par engrenages extérieurs plus robustes. Le taillage d'engrenages spéciaux peut souvent être évité en empruntant des pignons et roues à une série tenue en stock par certains spécialistes ⁽²⁾. Le moteur est porté ici par une plaque pivotante assurant en même temps le débrayage du moteur et l'embrayage d'une roue dentée actionnée à la main pour le retour rapide de l'écrou.

La figure 133 montre une disposition un peu différente réalisée par Walbaum. Le moteur est directement en bout de vis. La vis est montée dans un morceau de fer U. Noter la commande de la vis butée servant aux rappels et le secteur réalisé en fer cornière.

110. Entraînement classique à grande roue tangente dentée. – La place limitée disponible sur une monture allemande, ou une monture à fourche, rend souvent mal commode l'installation d'un secteur tiré par ruban, il faut en général faire usage de renvois d'angle par poulies ; il reste l'inconvénient des interruptions et des remises à zéro de l'écrou. D'un autre côté la friction sur une roue lisse nécessite quelques précautions de manipulation et une surveillance des couples résistants. Pour ces raisons la roue horaire dentée classique

⁽¹⁾ L.I.P., Industrie, 25, boulevard Malesherbes, Paris 8^e.

⁽²⁾ S.A. Horlogerie R. BELOT, 55, rue de Saintonge, Paris 3^e.

et sa vis tangente conservent un intérêt certain. Beaucoup d'équatoriaux anciens sont à vis débrayable, la roue tangente est fixée à demeure sur l'axe polaire, elle porte même quelquefois la division horaire. Il est préférable de prévoir une roue débrayable de l'axe mais toujours en prise dans la vis, cela assure une usure uniforme sur tout le contour et évite d'érailler la denture par des embrayages maladroits. La récupération de roues tangentes sur des éléments de machine existants donne beaucoup de mécomptes, un nombre de dents peu élevé n'est pas en lui-même une mauvaise indication de précision mais en général le montage de ces pièces est difficile à bien adapter à un équatorial.

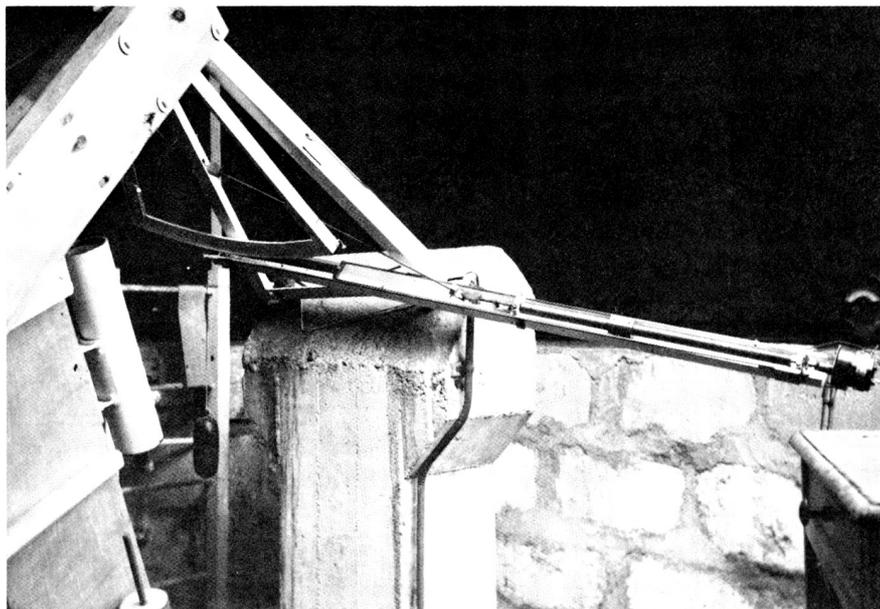


Fig. 133. – Entraînement par vis et secteur (Réalisation Walbaum).

La réalisation spéciale d'une roue horaire en bronze de 300 à 500 de diamètre est forcément très onéreuse et l'on n'est jamais bien sûr que la précision souhaitable sera réalisée. L'on peut livrer au taillage une pièce de tour soignée pourvue d'un cymblot de centrage si le façonnier ⁽¹⁾ le désire, confier l'exécution de la vis à la même maison ; une machine à taillage « par génération », est préférable. Même les vis non débrayables sont souvent portées par des berceaux basculants, la charge d'un poids ou d'un ressort pressant la vis à fond de denture sans jeu. Nous préférons réduire les frottements au minimum en laissant un léger jeu d'entredents, d'ailleurs les dilatations sont peu importantes sur les roues d'équatoriaux d'amateurs de proportions modestes ; le temps perdu n'apparaîtra que pour des rappels inverses plus rapides que le mouvement diurne. L'erreur périodique de portée de vis sera réduite par une butée axiale sur bille (fig. 134). Un rappel par butée à vis serait applicable comme pour un entraînement à vis et secteur (fig. 132) cela économiserait un différentiel dont les jeux cumulés sont souvent gênants sur un axe lent.

⁽¹⁾ KARP, 112-114, rue Saint Maur, Paris 11^e.

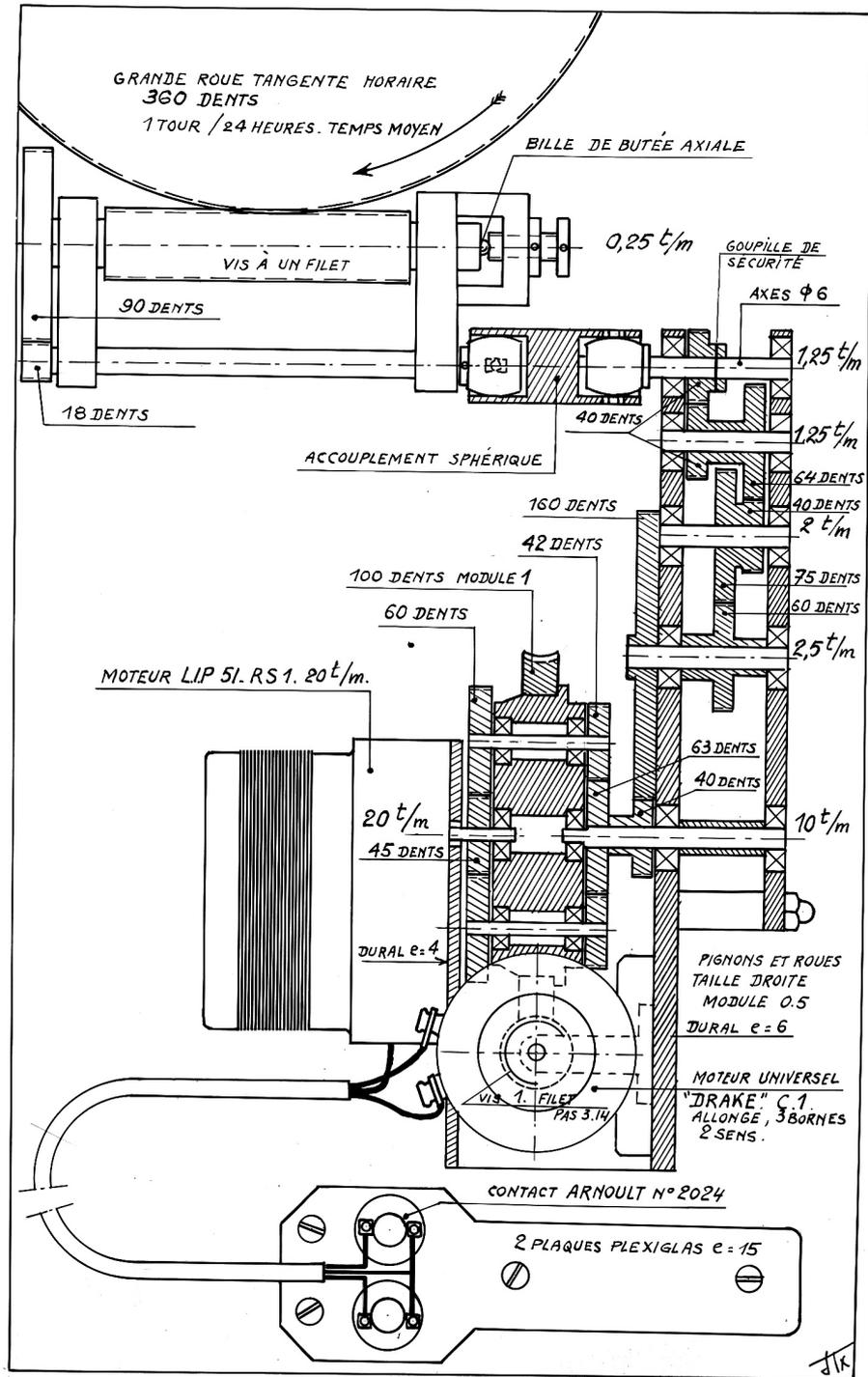


Fig. 134. - Schéma de l'ensemble moteur réducteur de l'équatorial de 153 de la S. A. F.

Pour fixer les idées sur un exemple, voici les données d'un ensemble moteur réducteur à rappels électriques que nous avons construit pour l'équatorial allemand de la lunette de 153 de la Société Astronomique de France (fig. 134 et 135). Tous les détails ne sont pas à prendre à la lettre il a fallu adapter ce montage à des pièces existantes notamment la roue horaire à vis débrayable et le premier étage de réduction dus au constructeur Manent.

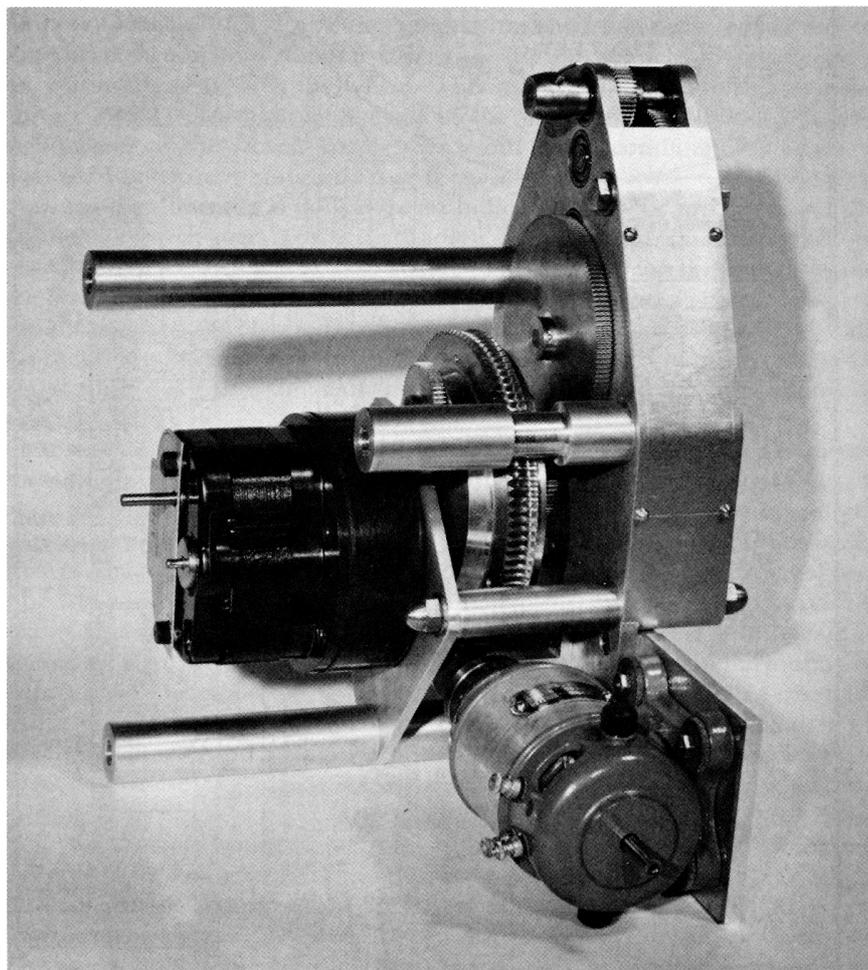


Fig. 133. – Moteur et réducteur de l'équatorial de 153 de la S. A. F.

Roue horaire. - La roue tangente de 360 dents a un diamètre de 200. Remarquons qu'en prenant 359 dents l'on aurait une bonne conversion de temps moyen (tours moteur) en temps sidéral. La conversion sur un équatorial existant pourrait se faire par un train épicycloïdal, cette complication risque d'être plus nuisible qu'utile, l'erreur de $1/360$ se trouvant généralement noyée dans d'autres causes de décalage : fréquence du réseau, réfraction... Dans le cas

d'un équatorial à télescope de 250/300 il sera bon de prévoir une roue horaire à la fois plus grande (précision) et plus robuste ; un diamètre de 300 (360 dents au module 1) paraît souhaitable.

Train réducteur. - Des soucis de robustesse et d'encombrement ont fait adopter ici une solution luxueuse. Toute fatigue au petit réducteur L. I. P. est évitée en prenant une vitesse d'axe de sortie égale à 20 tr/mn. L'emploi exclusif d'engrenages droits (module 0,5) et le montage des axes sur roulements à billes autorisent un bon rendement et le minimum d'entretien. Un ancien boîtier réducteur à vis et roues tangentes fut mis hors service en quelques années. Le rapport 1/8 du grand réducteur serait réalisable par un seul étage c'est la nécessité de rejeter les moteurs dans le socle, pour entraver le moins possible le passage de la lunette au méridien, qui a fait prendre les étages intermédiaires mécaniquement inutiles.

L'équatorial correctement équilibré (§ 121) et lubrifié nécessite pour son entraînement un couple moteur de 0,5 kilogrammes à un centimètre, dû principalement au frottement de la vis dans la grande roue tangente, ce couple est mesuré sur l'axe tournant à 1,25 tr /mn ; à la sortie de réducteur attaquant cet axe l'on dispose de 25 kg/cm sans décrochage de la marche synchrone du moteur L. I. P. 8 watts. Une goupille de sécurité sur le pignon de sortie est cisailée si le couple résistant devait atteindre 30 kg/cm. Ces valeurs précisent l'étendue d'application des micromoteurs et de leurs réducteurs. Les frottements tolérables en pratique peuvent être beaucoup plus importants que dans cet exemple mais il est bon qu'ils ne dépassent pas le tiers du couple disponible sur un instrument neuf fraîchement réglé.

Différentiel. - Les rappels électriques par moteur à deux sens de marche ⁽¹⁾ permettent d'insérer le différentiel entre des mobiles assez rapides même si la rotation du porte-satellites est commandée comme ici par une roue tangente pour assurer l'irréversibilité. Les proportions des planétaires et satellites précisées figure 134 sont des multiples d'un différentiel calculé par A. Couder pour une table équatoriale de 500 kilogrammes de charge. Remarquer la disposition de *deux axes* porte-satellites symétriques qui donne des réactions d'un couple pur sur l'axe et réduit les temps perdus. La réduction de vitesse entre l'axe d'entrée et la sortie est égale à deux. Si le porte-satellite tourne à une vitesse égale à celle de l'axe d'entrée, l'axe de sortie a une vitesse qui s'annule ou double suivant le sens de la correction. Les rappels dans ces conditions s'opèrent à la vitesse du mouvement diurne ce qui est un peu brutal pour de fines corrections photographiques de l'ordre de la seconde ; il est possible d'obtenir une seconde vitesse plus lente en intercalant à volonté une résistance en série avec le moteur universel.

Raquette. - La raquette de commande de rappels par boutons poussoirs est réalisée en Plexiglas pour protéger l'observateur de toute masse défectueuse. Il faut employer des contacts d'excellente qualité ⁽²⁾ pour assurer un long usage et le maximum de précision aux plus brèves interventions.

⁽¹⁾ « Universel », type C1 allongé, 2 sens, DRAKE, 240 bis, boulevard Jean Jaurès, Billancourt (Seine).

⁽²⁾ Référence 2024, chez ARNOULD, 16, rue de Madrid, Paris 8^e.

234

Page Blanche