

---

DESCRIPTION  
DU  
GRAND ÉQUATORIAL COUDÉ  
DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS,  
PAR M. P. PUISEUX.

---

I. — DISPOSITION GÉNÉRALE. — PARTIE MÉCANIQUE.

La charpente de l'instrument est constituée par deux tubes en tôle d'acier montés normalement, au moyen de boulons, sur deux faces adjacentes d'un cube C (*fig. 1*) en fonte de fer, que nous appellerons *cube central*. Les deux tubes lui sont reliés d'une manière invariable.

Le plus long des deux tubes métalliques, que nous appellerons le *tube oculaire*, est dirigé vers le pôle de la sphère céleste. Sa forme générale est légèrement conique, et il a été nécessaire, en raison de sa grande longueur, de le composer de plusieurs parties reliées ensemble. Ce tube est représenté en AB, A'B'. Sa partie supérieure tourne dans un collier BB' muni de galets de roulement et porté sur un pilier en maçonnerie (*pilier Nord*). Sur la face du cube opposée à celle qui reçoit le tube oculaire est invariablement fixée une pièce conique dont l'axe est dans le prolongement de celui du tube oculaire. Sa partie inférieure est constituée par un tourillon en acier F qui s'engage dans une crapaudine portée elle-même sur un pilier en maçonnerie (*pilier Sud*).

Il résulte de cette disposition que le tube oculaire peut recevoir un mouvement de rotation autour de son axe de figure, qui doit coïncider en direction avec l'axe du monde. Ce mouvement lui est communiqué soit par la main de l'observateur, soit par un mécanisme d'horlogerie, ainsi qu'il sera expliqué plus loin.

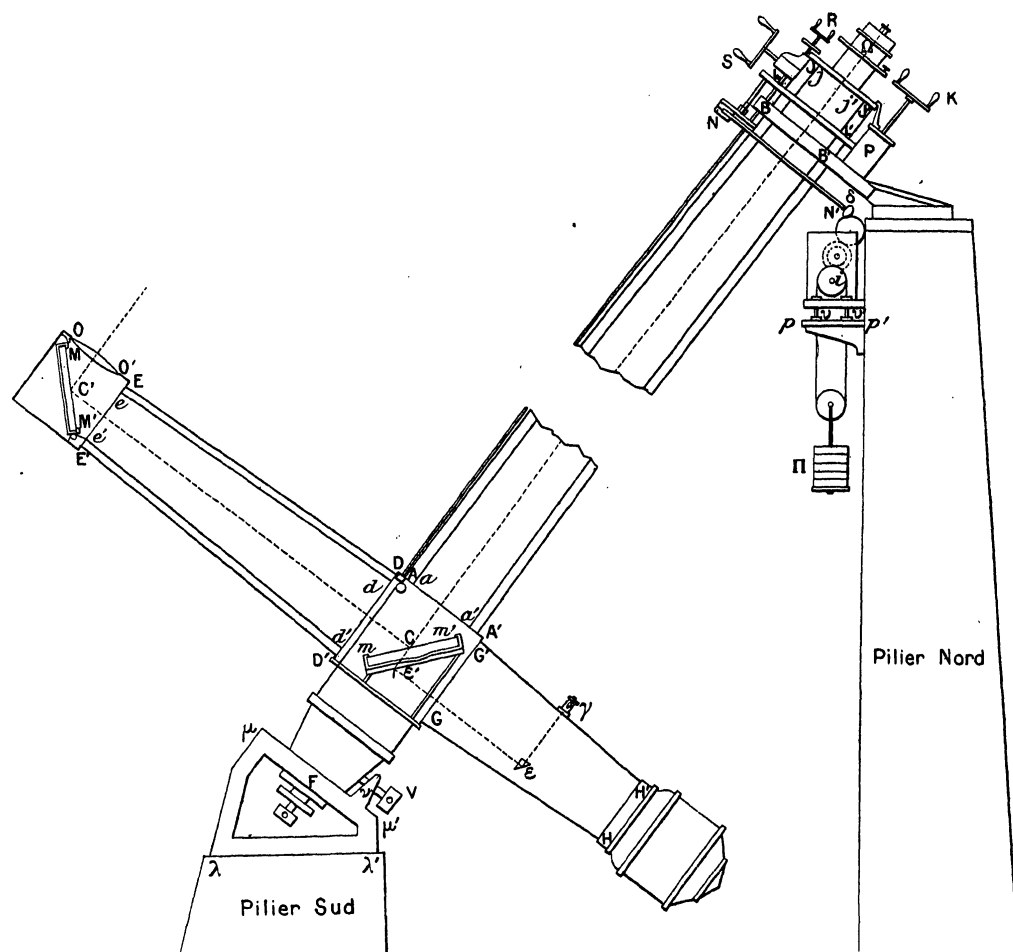
Le second tube métallique, que nous appellerons le *tube objectif*, se meut en conséquence parallèlement au plan de l'équateur. Il est figuré en DE, D'E'.

XXI.

D. 1

A son extrémité se trouve un cube en fonte auquel nous donnerons le nom de *cube extérieur*. Ce cube n'est pas monté sur le tube DE, D'E', mais sur un tube concentrique *de, d'e'*, situé à l'intérieur du premier et susceptible de prendre un mouvement de rotation indépendant autour de l'axe de figure commun. Cet axe doit, si la construction mécanique est parfaite, passer par les centres C et C' des deux cubes. Le mouvement de rotation est communiqué au

Fig. 1.



tube objectif intérieur par une tige parallèle à l'axe du monde, commandée à son extrémité supérieure par l'une ou l'autre des manettes R et S, et terminée à son extrémité inférieure par un engrenage conique. Le mouvement donné à cette tige se transmet également à un tube *aj, a'j'*, concentrique et intérieur au tube oculaire et pouvant tourner autour de son axe de figure, indépendamment du mouvement général du tube oculaire. Le tube objectif extérieur ne joue que le rôle d'un simple support, et le tube oculaire intérieur n'a d'autre

raison d'être que de fournir une mesure exacte du mouvement de déclinaison.

Un troisième tube en tôle d'acier est monté normalement sur la face du cube central opposée à celle qui reçoit le tube objectif. Il est destiné à servir de contrepoids et à ramener le centre de gravité de la partie mobile sur l'axe de rotation. Comme la présence du bâtiment s'oppose à ce qu'on lui donne une grande longueur, il est renforcé à son extrémité par une masse métallique considérable. Ce tube est représenté en GH, G'H'.

Voici les dimensions des principales parties dont nous venons de donner un aperçu sommaire :

Longueur du tube objectif, comptée entre les centres des deux cubes, 5<sup>m</sup>.

Longueur du tube oculaire, comptée du centre du cube central au plan JJ', où se trouvent les cercles destinés à faire connaître la position du point visé, 12<sup>m</sup>.

Longueur du tube opposé au tube objectif, comptée entre le centre du cube central et l'extrémité du contrepoids, 4<sup>m</sup>.

|                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| Arête du cube central.....   | 1 <sup>m</sup> , 146 |
| Arête du cube extérieur..... | 1 <sup>m</sup> , 076 |

Diamètre extérieur du tube oculaire à son insertion dans le cube central :

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Tube extérieur..... | 1 <sup>m</sup> , 000 |
| Tube intérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 606 |

Diamètre extérieur du tube oculaire à son insertion dans le collier BB' :

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Tube extérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 600 |
| Tube intérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 470 |

Diamètre extérieur du tube objectif à son insertion dans le cube central :

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Tube extérieur..... | 1 <sup>m</sup> , 000 |
| Tube intérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 588 |

Diamètre extérieur du tube objectif à son insertion dans le cube extérieur :

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Tube extérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 864 |
| Tube intérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 656 |

Epaisseur des parois des deux tubes :

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Tube extérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 005 |
| Tube intérieur..... | 0 <sup>m</sup> , 003 |

Poids approximatif de la construction métallique, 12,000<sup>kg</sup>.

|                                                      |                     |
|------------------------------------------------------|---------------------|
| Hauteur du pilier Nord au-dessus du niveau du sol... | 13 <sup>m</sup> ,03 |
| Hauteur du pilier Sud.....                           | 3 <sup>m</sup> ,65  |

## II. — DISPOSITION GÉNÉRALE. — PARTIE OPTIQUE.

L'une des faces du cube extérieur, adjacente à celle où vient s'insérer le tube objectif, porte une ouverture circulaire OO' dans laquelle est monté l'objectif. L'axe principal de celui-ci est dirigé normalement à la face du cube et va passer au centre C' du cube. En ce point il rencontre un miroir plan MM', que nous appellerons *miroir extérieur*. Ce miroir est formé par une couche mince d'argent, déposée chimiquement sur la base d'un cylindre de verre. Il est invariablement lié au cube, sauf les petits mouvements qui peuvent lui être communiqués par des vis de réglage. En théorie, la surface argentée du miroir doit passer au centre du cube, et la normale à cette surface doit être la bissectrice de l'angle formé en ce point par l'axe principal de l'objectif et l'axe de rotation du tube objectif intérieur.

On conçoit dès lors qu'un rayon entré dans la lunette suivant l'axe principal de l'objectif parcourt après réflexion la ligne C'C qui joint les centres des deux cubes. Parvenu en C, ce rayon rencontre la surface argentée d'un second miroir plan mm', dit *miroir intérieur*. Ce miroir est invariablement lié au cube central, abstraction faite des petits mouvements de réglage qu'il est possible de lui imprimer. Il doit être monté de telle manière que sa surface argentée passe au centre C du cube, et que la normale à cette surface soit bissectrice de l'angle formé au point C par l'axe de rotation du tube objectif intérieur et par l'axe de rotation du tube oculaire extérieur.

Le rayon lumineux dont nous avons parlé, entré dans la lunette suivant l'axe principal de l'objectif, parcourt, après la seconde réflexion, l'axe de rotation du tube oculaire extérieur. Il vient rencontrer le plan focal de l'objectif en un point  $\Omega$  que l'on doit considérer comme le centre du champ. Il est avantageux que ce point soit en même temps situé sur l'axe de la rotation du micromètre.

Les dispositions décrites permettent de diriger l'instrument sur un point quelconque du ciel. On peut, en effet, en agissant sur le tube oculaire extérieur (mouvement d'ascension droite), diriger l'axe du tube objectif CC' vers le point de l'équateur dont l'ascension droite est supérieure ou inférieure de six heures à celle du point que l'on veut viser. En agissant maintenant sur le tube objectif intérieur (mouvement de déclinaison), on laisse le point C' immobile,

et l'on fait décrire à l'axe principal le cercle horaire qui a pour pôle le point de l'équateur visé par le tube objectif. On amène ainsi l'axe principal de l'objectif à passer par le point choisi à l'avance sur la sphère céleste, et ce point fera son image au centre du champ, s'il n'y a pas eu d'erreur dans l'ajustement mécanique ou dans le calage.

L'instrument est dit dans la position directe ou inverse suivant que l'angle horaire du tube objectif est supérieur ou inférieur de six heures à celui du point visé de la sphère céleste. A ces deux hypothèses correspondent des positions de l'instrument symétriques par rapport au cercle horaire du point visé. La présence du bâtiment ne permet pas de faire prendre à l'axe du tube objectif les angles horaires compris entre  $8^h$  et  $16^h$ . On n'aura donc le choix entre les deux positions de la lunette que pour les points du ciel situés à moins de deux heures du méridien.

Il est bien clair que les conditions que nous avons énumérées comme devant être réalisées par la construction mécanique ne le seront jamais que d'une manière approchée. Mais il n'en résulte aucun inconvénient pour les usages auxquels on applique habituellement l'équatorial. On conçoit aussi que, si les miroirs, au lieu d'être exactement plans, offrent une légère courbure, la distance focale de l'objectif, estimée suivant la ligne brisée  $C'C\Omega$ , différera plus ou moins de la distance focale qui correspondrait au même objectif dans une lunette droite.

Au point de vue théorique, il y a quelque avantage à regarder la ligne de visée de l'instrument comme définie non par l'axe principal de l'objectif, mais par l'axe de rotation du tube objectif intérieur. Cette ligne, réfléchiée par le miroir  $MM'$ , réfractée par l'objectif et par l'atmosphère, détermine le point visé dans le ciel. La même ligne, réfléchiée par le miroir intérieur, et prolongée jusqu'à son intersection avec le plan focal de l'objectif, définit le centre du champ. On pourra consulter, pour la définition des erreurs instrumentales, considérées à ce point de vue, le Mémoire de MM. Lœwy et Puiseux intitulé : *Théories nouvelles de l'équatorial coudé et des équatoriaux en général*.

Nous donnerons ici quelques nombres relatifs aux principales pièces optiques de l'instrument :

|                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| Ouverture libre de l'objectif..... | <sup>m</sup><br>0,600 |
| Distance focale de l'objectif..... | 18,000                |
| Diamètre du miroir extérieur.....  | 0,8584                |
| Épaisseur du miroir extérieur..... | 0,135                 |
| Diamètre du miroir intérieur.....  | 0,7345                |
| Épaisseur du miroir intérieur..... | 0,113                 |

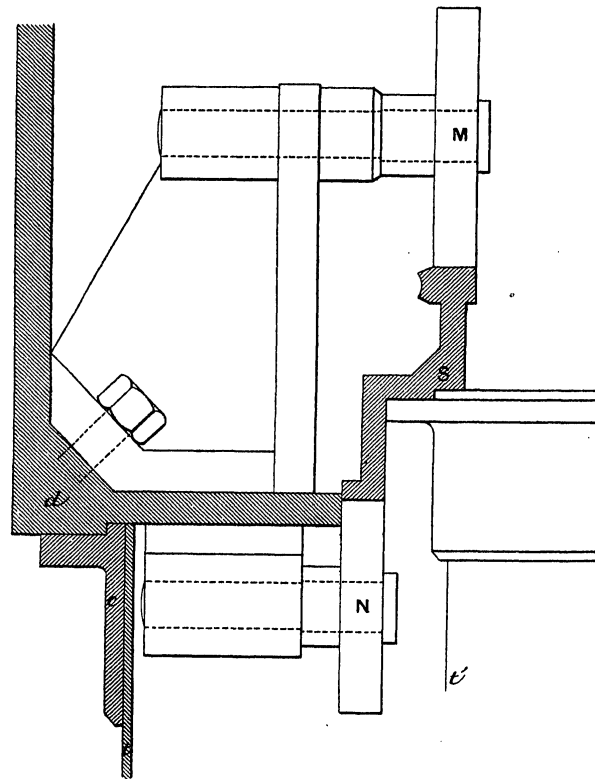
## III. — DESCRIPTION PLUS PARTICULIÈRE DES DIVERS ORGANES DE L'INSTRUMENT.

## PARTIE MÉCANIQUE.

Nous allons maintenant revenir avec plus de détails sur la description des diverses parties de l'équatorial coudé et sur les pièces accessoires qu'il a paru nécessaire de lui adapter.

1. *Ajustement du tube objectif et du tube oculaire sur le cube central.* — Les tubes extérieurs, tant du côté de l'objectif que du côté de l'oculaire, doivent être fixés invariablement sur le cube central. A cet effet, le tube *t* entre dans une pièce conique *c* (fig. 2) dont la base élargie s'applique sur la face *d* du

Fig. 2.



cube. L'invariabilité des positions relatives de ces trois pièces est assurée au moyen de boulons et de rivets.

2. *Mode de support des tubes intérieurs.* — Les tubes intérieurs doivent pouvoir tourner sur eux-mêmes en gardant, autant que possible, leur axe de figure en coïncidence avec celui des tubes extérieurs.

Les tubes oculaires se terminent à leur partie supérieure par deux portions cylindriques, qui entrent à frottement l'un dans l'autre. A son extrémité voisine du cube central, le tube oculaire intérieur porte une couronne concentrique par laquelle il roule sur un système de quatre galets. Les axes de ces galets, parallèles à l'axe du tube oculaire, traversent une pièce saillante montée sur la paroi du cube central.

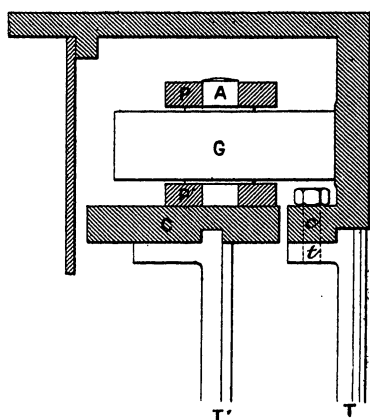
Le tube oculaire intérieur repose encore sur un galet dont l'axe, perpendiculaire à celui du tube oculaire, est monté sur une forte pièce de fonte reliée aux parois du cube central. Ce galet est destiné à empêcher le mouvement de pénétration du tube oculaire à l'intérieur du cube central, mouvement que la pesanteur tendrait à produire.

Le tube objectif intérieur présente habituellement la même tendance, mais l'effet opposé se manifeste quand l'angle horaire du tube objectif surpasse six heures. La pesanteur aurait alors pour résultat de le faire sortir du cube central. Il a donc été nécessaire de lui adapter un triple système de galets.

La *fig. 2* donne une idée de leur disposition, à l'aide d'une coupe qui est supposée faite dans le plan des axes des deux tubes. Le galet M, dont l'axe est perpendiculaire à l'axe du tube objectif, s'oppose au mouvement de pénétration dans le cube. Le galet N, dont l'axe a même direction, s'oppose au mouvement de sortie. Il est clair que la pièce S, prise entre les galets M et N, ne doit avoir qu'un jeu très faible, si l'on veut éviter qu'il ne se produise des variations notables dans la position du plan focal.

Le tube objectif intérieur repose aussi, à l'extrémité voisine du cube extérieur, sur une couronne de galets, dont les axes, parallèles au sien, sont montés

Fig. 3.

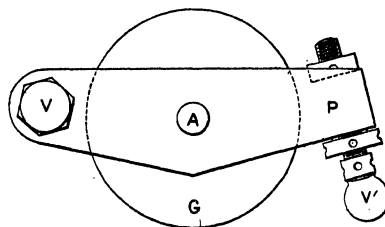


sur le tube objectif extérieur. La disposition de ces galets est représentée dans la *fig. 3*. T est la section du tube objectif intérieur, T' celle du tube objectif

extérieur, G celle du galet. Les pièces saillantes  $t$  et  $c$ , réunies ensemble par des boulons, établissent la liaison entre le tube objectif intérieur et le cube extérieur.

Les axes de ces galets doivent pouvoir subir un léger déplacement par rapport au tube objectif extérieur. Il est nécessaire, en effet, que l'on puisse rendre l'axe du tube objectif intérieur perpendiculaire à l'axe du tube oculaire extérieur. Pour ce motif, l'axe A du galet G ne s'insère pas directement dans la couronne C qui surmonte le tube T' et lui est invariablement liée, mais dans une pièce PP', dont la *fig. 4* donne la projection sur un plan perpendiculaire à

Fig. 4.

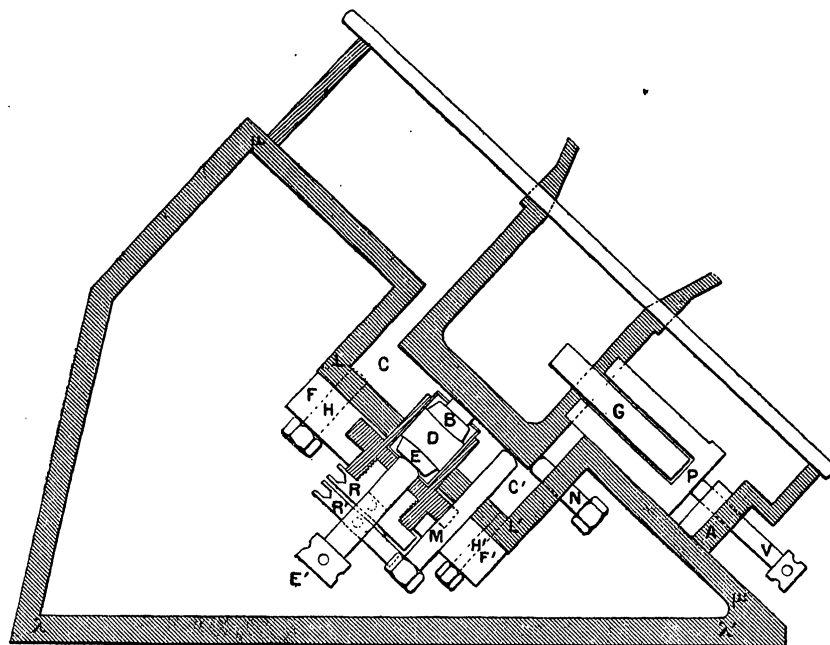


l'axe du galet. Cette pièce PP' est traversée par deux vis V et V'. L'axe de la première est parallèle à l'axe du galet; l'axe de la seconde lui est perpendiculaire. Quand la vis V est desserrée, la pièce P devient libre, et le mouvement que l'on donne à la vis V', qui passe par un écrou fixe, fait varier la position de l'axe du galet G. En agissant sur deux galets, on pourra toujours amener l'axe du tube objectif intérieur T à rencontrer normalement, comme le veut la théorie, l'axe de rotation du tube oculaire extérieur. Des écrous mobiles sur les vis V' permettent d'assurer l'immobilité relative du tube objectif quand il a été amené dans la position voulue.

3. *Mode de support du tourillon inférieur. Moyens de rectification destinés à rendre l'axe du tube oculaire parallèle à l'axe du monde.* — Sur la face supérieure du pilier sud (*fig. 1*) est boulonnée une pièce de fonte à parois très résistantes. La section de cette pièce, par le plan du méridien, a la forme d'un pentagone irrégulier, dont les deux grands côtés  $\lambda\lambda'$ ,  $\mu\mu'$  font entre eux un angle égal à la colatitude du lieu. Le plafond  $\mu\mu'$  de cette pièce présente une cuvette CC' de forme cylindrique (*fig. 5*), où pénètre le pivot inférieur de l'instrument. Les parois de la cuvette, très résistantes, sont reliées par des contre-forts à celles de la pièce  $\lambda\lambda'$ ,  $\mu\mu'$ . Sur le plafond  $\mu\mu'$  s'élève une partie saillante A traversée par une vis V parallèle à l'intersection de l'équateur et du méridien. En agissant sur cette vis, on fait glisser parallèlement à son axe la pièce P, et

avec elle le système des galets G dont les axes sont parallèles à l'axe du monde. C'est sur ces galets que roule l'instrument quand on lui donne le mouvement général en ascension droite. Il est clair que, en agissant sur la vis V, on pourra

Fig. 5.



donner à l'axe polaire de l'instrument un petit déplacement parallèle au méridien, et par suite mettre son inclinaison d'accord avec la latitude du lieu.

Pour rectifier l'axe polaire de l'instrument dans le sens perpendiculaire au méridien, on agit sur deux vis semblables à V, mais dont les axes, directement opposés, sont perpendiculaires au méridien. Quand on a desserré l'une de ces vis, on peut, en agissant sur l'autre, repousser dans un sens déterminé la monture P, et par suite le système des galets G. On amène ainsi l'axe du tube oculaire à se trouver dans le plan méridien du lieu. La rectification faite, on rapproche les deux vis, de manière à empêcher tout mouvement ultérieur.

Il est manifeste que la pesanteur tend à produire un glissement général de tout l'instrument dans le sens parallèle à la ligne des pôles : pour s'opposer à ce mouvement, une plaque de fonte très épaisse FF' (*fig. 5*) est appliquée au moyen de boulons H, H', contre le fond LL' de la cuvette CC'. Cette plaque est traversée par un fort boulon EE', dont la tête supérieure E présente une forme convexe. Une pièce de même forme B constitue la terminaison inférieure de l'instrument dans le sens de l'axe polaire. Entre les têtes B et E, s'intercale un bloc d'acier trempé D, dont les faces opposées sont concaves et destinées à recevoir

XXI.

D.2

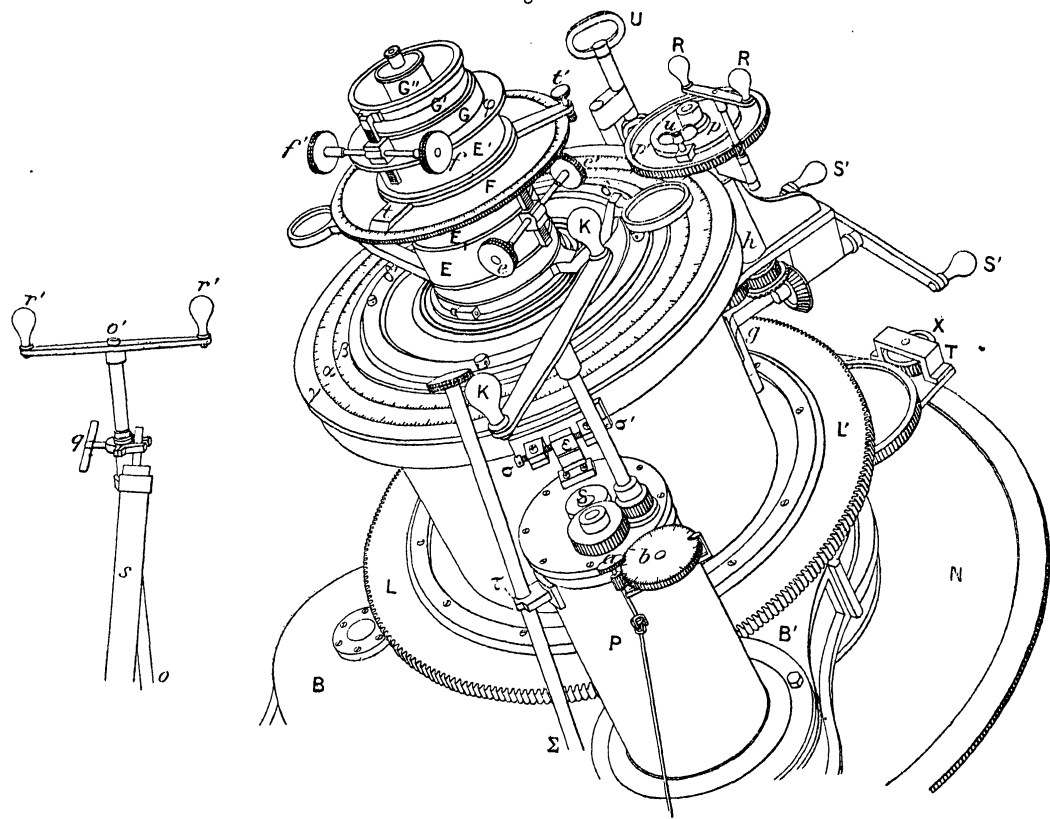
les faces convexes de B et de E. L'ensemble des pièces B, D, E est contenu à l'intérieur d'un cylindre que l'on a soin d'entretenir plein d'huile, pour éviter le grippement et rendre plus facile le mouvement général en ascension droite.

Deux boulons auxiliaires M et N traversent les parois de la cuvette, et peuvent au besoin supporter l'instrument tout entier. Les supports habituels E, G se trouvant ainsi déchargés, on a toute facilité pour les visiter, et pour les remplacer en cas d'usure des surfaces.

Des trous pratiqués sur la circonférence des disques R et R' permettent aussi de faire tourner la vis EE', et par suite de faire remonter tout l'instrument dans le sens de la ligne des pôles. On maintiendra ainsi l'ajustement du tube oculaire dans son collier supérieur et sa liaison avec le mouvement d'horlogerie, malgré l'effet possible d'un tassement inégal de deux piliers.

4. *Collier supérieur du tube polaire.* — Une boîte en fonte à fortes parois

Fig. 6.

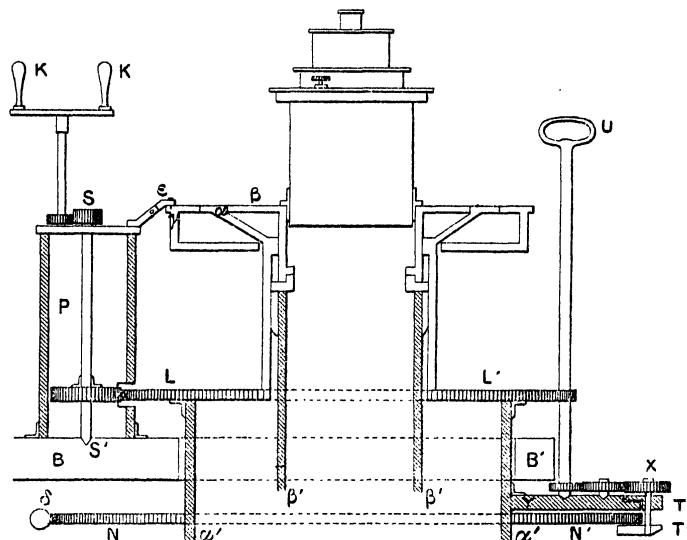


est boulonnée sur la face supérieure du pilier nord, et embrasse circulairement la partie supérieure du tube oculaire. La *fig. 1* montre en BB' la section de ce collier par le plan du méridien. La *fig. 6* en montre partiellement la face supé-

rière. Dans l'intérieur du collier existent deux galets dont les axes, parallèles à l'axe du monde, sont placés du côté de l'observateur, et symétriquement par rapport au méridien. C'est sur ces galets que roule l'instrument dans le mouvement en ascension droite.

5. *Mouvement rapide en ascension droite.* — Les organes destinés à l'exécution de ce mouvement sont visibles sur les *fig. 6 et 7*. Une manette K, placée à demeure fixe sous la main de l'observateur, agit par l'intermédiaire d'un engre-

Fig. 7.



nage cylindrique sur l'axe  $SS'$  (*fig. 7*), monté normalement sur le collier supérieur du tube oculaire.

L'invariabilité de cet axe est assurée par un cylindre P, à fortes parois, établi sur la face supérieure du collier fixe  $BB'$ . La paroi de ce cylindre est échancrée sur un tiers environ de sa circonférence, pour laisser passer une roue dentée  $LL'$ , formant collier autour du tube oculaire extérieur, et invariablement liée avec lui. Un pignon monté sur l'axe  $SS'$  communique le mouvement à la roue  $LL'$ , dont la denture est très résistante, et par suite entraîne tout l'instrument en ascension droite. L'observateur peut donner ce mouvement d'une seule main, sans fatigue, et sans jamais avoir à se déplacer.

6. *Mouvement d'horlogerie.* — Il est indispensable, aussi bien pour l'étude physique des objets célestes que pour les mesures micrométriques, de pouvoir établir une concordance exacte entre le déplacement général de la lunette en ascension droite et le mouvement diurne. Dans ce but, on a disposé un mouve-

ment d'horlogerie sur une plate-forme  $pp'$ , solidement scellée contre la face méridionale du pilier nord (*fig. 1*). Des vis calantes  $v, v'$  permettent de rétablir l'horizontalité des axes si elle se trouve altérée par le jeu des pièces ou le tassement du pilier. Le mouvement est transmis à un premier cylindre  $i$  par une corde métallique supportant, par l'intermédiaire d'une poulie mobile, un poids moteur  $\Pi$  formé de rondelles de plomb superposées. Une série d'engrenages transmet le mouvement à la vis tangente  $\delta$  et au cercle denté  $NN'$  (représenté sur les *fig. 6* et *7*). Un régulateur à ailettes (système Foucault) établit, au bout d'un temps très court, l'uniformité du mouvement. Il est utile de pouvoir faire varier, dans une certaine mesure, la vitesse d'entraînement, soit pour remédier à un accroissement accidentel dans l'ensemble des résistances, soit pour conserver dans le champ les astres doués d'un mouvement propre sensible. Ce but est atteint à l'aide d'une disposition introduite, pour la première fois, dans le grand équatorial coudé par M. Gautier. Un bouton  $a$ , placé à demeure fixe près du cylindre  $P$  (*fig. 6*) et, par conséquent, sous la main de l'observateur, provoque le déplacement le long d'une coulisse d'un poids additionnel, dont l'action augmente ou diminue celle des masses du régulateur. La tige commandée par le bouton  $a$  engrène avec un cercle denté  $b$ , dont l'axe est monté sur le cylindre fixe  $P$ , ainsi qu'un index servant à mesurer la rotation du cercle  $b$ . On peut ainsi se rendre compte de l'effet produit, et arriver au réglage le plus convenable pour la vitesse du mouvement d'horlogerie.

La tige  $oo'$  (*fig. 6*), commandée par la manette  $r'$ , sert à remonter le poids moteur. Une pince  $q$  établit, quand elle est serrée, une liaison invariable entre la tige  $oo'$  et l'axe fixe  $s$ , qui lui sert d'appui. Il suffit de desserrer la pince  $q$  pour que le poids moteur se mette en marche.

7. *Liaison de la lunette au mouvement d'horlogerie* (*fig. 6* et *7*). — Une grande roue dentée  $NN'$  est montée librement sur l'axe du tube polaire, et sert à lui transmettre l'action du mouvement d'horlogerie. Pour établir la liaison entre cette roue dentée et la lunette, il faut rapprocher au moyen d'une vis les deux pièces de la mâchoire  $TT'$ , qui embrasse à la fois la roue dentée  $NN'$  et une pièce  $Y$  invariablement liée au tube polaire extérieur. La tête de la vis est formée par une roue dentée  $X$ . On détermine la rotation de cette roue au moyen de la manette  $U$ , par l'intermédiaire d'un engrenage cylindrique dont les axes sont montés sur la pièce  $Y$ . Les pièces  $Y$  et  $U$ , qui accompagnent le tube polaire dans son mouvement, sont, par rapport à lui, du même côté que le tube objectif. Le cylindre  $P$ , qui ferait obstacle au mouvement de la manette  $U$ , est placé du côté de l'observateur. Il n'y a pas possibilité de rencontre entre les deux pièces,

puisque le tube objectif ne prend pas les angles horaires, compris entre huit heures et seize heures. La même remarque s'applique aux organes du mouvement de déclinaison.

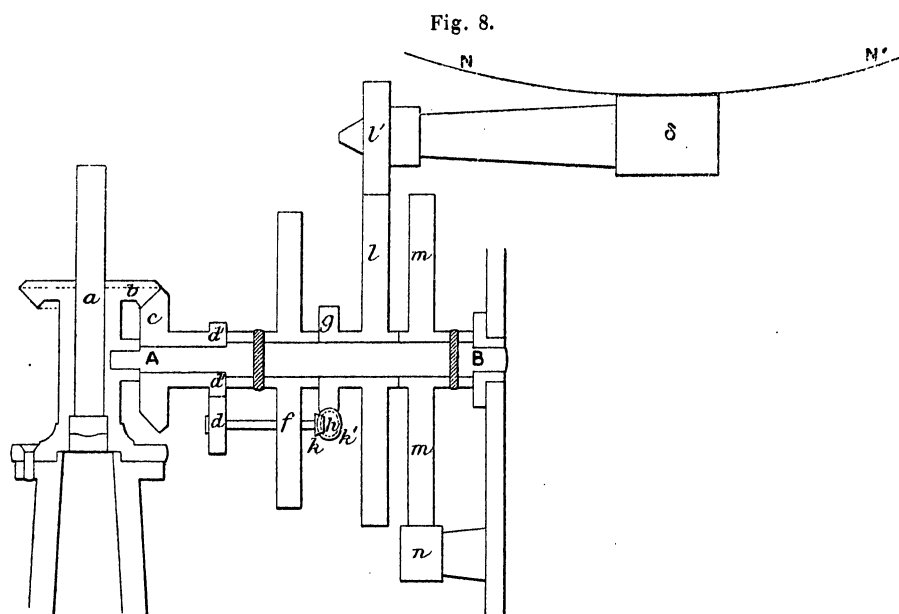
8. *Fixage de l'instrument en ascension droite.* — Quand le mouvement d'horlogerie n'est pas en marche, la manœuvre de la pince U a pour effet de relier le tube oculaire extérieur à la vis tangente  $\delta$  du mouvement d'horlogerie, qui demeure immobile. Comme cette vis est solidement montée sur des coussinets fixés au pilier nord, et que des appuis fixes l'empêchent de prendre aucun mouvement dans le sens longitudinal, l'immobilité de l'instrument se trouve assurée. Le petit jeu que l'on pourrait craindre de voir se produire dans l'engrenage entre N et  $\delta$  n'a dans la pratique aucun effet sensible.

9. *Lecture de la position de l'instrument en ascension droite (fig. 6 et 7).* — Le tube oculaire extérieur se termine à l'extrémité voisine de l'oculaire par une couronne annulaire  $\alpha$ , qui lui est reliée au moyen de vis. Elle est divisée en vingt-quatre heures, qui sont elles-mêmes divisées en minutes de temps. On peut lire directement la seconde de temps, en s'aidant d'un vernier tracé sur une couronne annulaire  $\gamma$  concentrique à la première. Cette couronne est reliée au cylindre P par une pièce métallique qui assure sa fixité. Cette pièce de liaison se compose de trois parties : la partie centrale seule  $\varepsilon$  est fixée à demeure sur le cylindre P ; les deux autres, reliées à la couronne  $\gamma$ , servent d'écrou à des vis dirigées tangentiellement à cette couronne, et venant buter contre la pièce centrale  $\varepsilon$ . En desserrant l'une ou l'autre de ces vis, on rend possible le mouvement de la couronne  $\gamma$  dans un sens, et l'on peut, s'il y a lieu, corriger l'erreur d'index en ascension droite.

Avant de relier la couronne  $\alpha$  au tube oculaire, on amène, par le mouvement d'ascension droite, le tube objectif à se trouver horizontal, ce dont on s'assure avec un niveau. On place alors le zéro de la division en face de l'index de la couronne  $\gamma$ , et l'on serre les vis qui doivent établir la liaison de la couronne  $\alpha$  avec le tube oculaire. L'erreur constante, qui peut subsister sur les indications de l'instrument en ascension droite, est peu importante, et se corrige à l'aide de la pièce  $\varepsilon$ , dont il vient d'être question.

10. *Mouvement de rappel en ascension droite.* — La denture de la roue LL' (fig. 6) doit être très résistante pour supporter les efforts considérables qui se développent dans les déplacements rapides. Elle n'offrirait pas assez de précision pour les petits mouvements. D'ailleurs, quand la liaison avec le mouvement

d'horlogerie est établie, il n'est plus possible de déplacer l'instrument en ascension droite autrement que par l'intermédiaire de la vis tangente. Dans ce but, on se sert d'une tige spéciale  $\Sigma$  (*fig. 6*), pouvant recevoir un mouvement de rotation sur elle-même de la main de l'observateur. La direction de cette tige est fixée par un collier  $\tau$  monté sur le cylindre P. La même tige agit sur la vis tangente du mouvement d'horlogerie par l'intermédiaire d'engrenages représentés sur la *fig. 8* :  $bc$  est un engrenage conique,  $d'd$  un engrenage cylindrique.



Les roues  $c$  et  $d'$  sont liées ensemble, mais indépendantes de l'axe AB, sur lequel elles sont montées. La roue  $d$  entraîne la roue d'angle  $k$ , montée invariablement avec elle sur un même axe. Celle-ci transmet le mouvement à une autre roue d'angle  $k'$ , dont l'axe  $h$  porte une vis tangente. La rotation donnée à cette vis tangente se communique aux roues dentées  $g$  et  $l$ , invariablement liées entre elles et montées librement sur l'axe  $ab$ . La roue  $l$  engrène avec le pignon  $l'$ , montée sur l'axe d'une dernière vis tangente  $\delta$ , et celle-ci avec le grand cercle denté  $NN'$ , que l'on peut relier à volonté au tube oculaire. On voit que toutes ces transmissions sont indépendantes du mouvement donné à l'axe AB par le mécanisme d'horlogerie.

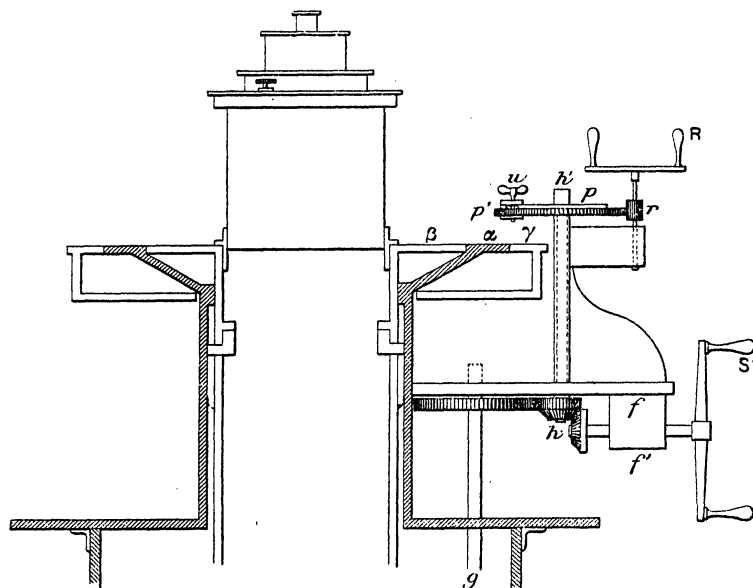
Supposons maintenant que le mouvement d'horlogerie soit seul en marche. Le pignon  $n$ , actionné par le poids moteur, entraîne la roue  $m$  et, par suite, l'axe AB, sur lequel cette roue  $m$  est calée invariablement. Le disque plein  $f$ , calé sur l'axe  $ab$ , participe au même mouvement. Il est percé d'un trou où passe à frottement l'axe commun des roues  $d$  et  $k$ , et porte les deux coussinets qui

maintiennent à ses extrémités la vis tangente  $h$ . Celle-ci, emportée dans un mouvement d'ensemble autour de l'axe AB, mais ne recevant pas de rotation autour de son axe de figure, provoque forcément une rotation uniforme de la roue  $g$ , et par suite du grand cercle NN'.

Admettons enfin que le mouvement d'horlogerie et la manette de rappel fonctionnent à la fois. La vis tangente  $h$  prendra simultanément un mouvement d'ensemble autour de l'axe AB et un mouvement de rotation autour de son axe de figure. L'observateur disposera de ce dernier mouvement, de manière à régler la rotation de la roue  $g$ , et, par suite, fera varier à son gré la position de l'instrument en ascension droite.

11. *Mouvement rapide en déclinaison* (fig. 6 et 9). — Ce mouvement est

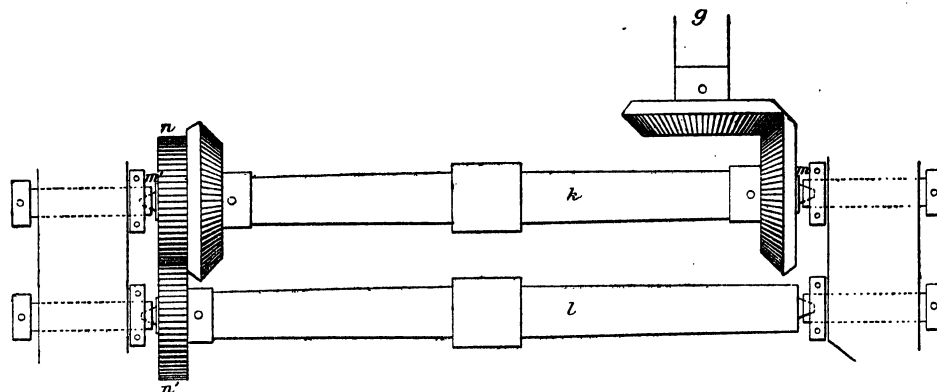
Fig. 9.



donné par une manette  $S'$  dont l'axe est monté perpendiculairement au tube oculaire extérieur, c'est-à-dire parallèlement au plan de l'équateur. Le coussinet  $ff'$ , qui fixe la direction de cet axe, est relié invariablement au tube polaire extérieur et, par suite, emporté dans le mouvement général de la lunette en ascension droite. Pour un motif déjà indiqué au n° 7, les organes du mouvement en déclinaison sont placés du même côté que le bras. Ils sont cependant accessibles à l'observateur dans toutes les positions. Le mouvement de rotation donné à la manette  $S'$  se transmet, au moyen d'un engrenage cylindrique, à la tige  $g$ , qui est parallèle à l'axe du tube oculaire et située dans un même plan avec l'axe du tube objectif. Le mouvement de la tige  $g$  pourrait être commu-

niqué par un engrenage cylindrique au cercle de déclinaison, par un engrenage conique au tube objectif intérieur. L'expérience a conduit à préférer une disposition un peu plus compliquée. La *fig. 10* représente la partie essentielle

Fig. 10.



de ce mécanisme, en projection sur la face du cube qui est du côté de l'objectif. La tige *g* fait tourner, par l'intermédiaire d'un engrenage conique, une vis sans fin *k*, dont la direction est perpendiculaire à la fois à l'axe du tube objectif et à celui du tube oculaire. Cette vis se termine par des tourillons coniques *m* et *m'*, engagés dans des coussinets de même forme, qui sont montés sur la paroi du cube central. On peut régler ces coussinets de manière à empêcher tout mouvement longitudinal de la vis, tout en laissant libre le mouvement de rotation. Cette vis met en mouvement, d'une part, le tube oculaire au moyen d'une couronne dentée qui existe à la base de ce tube, d'autre part, au moyen d'un engrenage cylindrique *nn'*, une deuxième vis sans fin *l*. Cette vis est en tout semblable à la première : son axe, monté de la même manière, a même direction, et elle engrène avec une couronne dentée qui existe à la base du tube objectif. Les deux couronnes sont égales entre elles; il en est de même des deux roues *n* et *n'*, ainsi que des vis *l* et *k*. On voit donc que les rotations du tube oculaire intérieur et du tube objectif intérieur seront de même sens et toujours égales, sans qu'il y ait à se préoccuper d'une torsion ou d'un temps perdu possible dans la tige.

L'emploi de vis sans fin comme intermédiaires présente encore cet avantage qu'il devient inutile de recourir à aucun moyen spécial pour fixer l'instrument en déclinaison. Tant que l'on n'imprimera aucun mouvement de rotation à la tige *g*, les vis tangentes ne tourneront pas sur elles-mêmes, et, comme leur monture s'oppose à tout mouvement longitudinal, les tubes de l'instrument qui engrènent avec elles conserveront leur position relative. Les petits mouvements

qui pourraient résulter du jeu des engrenages demeurent négligeables dans la pratique. On réduira ce jeu, s'il est nécessaire, en profitant de la disposition décrite au n° 4 pour agir sur les galets de support des tubes intérieurs.

Il est avantageux, dans certains cas, de pouvoir donner le mouvement de déclinaison depuis la plate-forme extérieure, sans avoir à se transporter à l'étage supérieur du bâtiment. Pour ce motif, le tube objectif intérieur porte, près de son insertion dans le cube extérieur, une seconde couronne dentée sur laquelle on peut agir à l'aide d'engrenages commandés par une manivelle qui est montée sur le tube objectif extérieur.

12. *Mouvement de rappel en déclinaison.* — L'axe  $hh'$  de la roue dentée cylindroconique sur laquelle agit la manette  $S'$  (*fig. 6 et 9*) porte, à sa partie supérieure, un plateau circulaire  $p$ , entouré d'une couronne annulaire  $p'$  qui glisse librement sur lui. On peut à volonté rendre  $p$  et  $p'$  solidaires en serrant par le moyen d'une clef  $u$  une pièce dont les mâchoires embrassent à la fois ces deux plateaux. La couronne annulaire est dentée et peut être mise en mouvement par une manette  $R$ , munie d'un pignon  $r$ . L'axe commun de  $R$  et de  $r$  est parallèle à l'axe du monde et passe dans une gaine invariablement liée au tube polaire extérieur de l'instrument. Quand la clef  $u$  n'est pas serrée, le mouvement donné à la manette  $R$  entraîne seulement la couronne annulaire  $p'$ . Si la clef  $u$  est serrée, la manette  $R$  entraîne à la fois les deux plateaux  $p$  et  $p'$ , leur axe commun  $hh'$ , et agit, par suite, sur la tige de transmission  $g$ . Seulement ici, en raison des petites dimensions du pignon  $r$ , le mouvement est beaucoup plus lent que celui qui est communiqué par la manette  $S'$ . Il n'exige aucun effort et produit les plus petits déplacements avec une délicatesse et une précision extrêmement remarquables, si l'on considère l'importance des masses mises en jeu.

Lorsque la vis  $u$  est serrée, l'observateur garde la faculté de donner le mouvement rapide en déclinaison à l'aide de la manette  $S'$ . Seulement, dans ce cas, le mouvement est aussi communiqué à la couronne  $p'$  et à la manette  $R$ , et celle-ci prend une vitesse de rotation considérable, en raison des petites dimensions du pignon  $r$ . Si l'on s'abstient de toucher aux deux manettes  $R$  et  $S'$ , les déplacements que l'on peut faire subir à la lunette en ascension droite n'entraînent pas de changement sensible dans la déclinaison du point visé.

13. *Lecture de la position de l'instrument en déclinaison.* — La communication du mouvement entre les tubes intérieurs se fait de telle manière qu'à toute rotation du tube oculaire intérieur correspond une rotation précisément égale du miroir extérieur autour de l'axe du tube objectif intérieur. A cette

rotation correspond un changement égal dans la déclinaison du point visé, mais ce changement est de sens différent, suivant que la lunette est dans la position directe ou inverse. Il suffit donc, pour évaluer les différences de déclinaison, de mesurer la rotation du tube oculaire intérieur. A cet effet, ce tube se termine par une section droite  $\beta$  (*fig.* 6 et 9) située dans un même plan avec la section  $\alpha$  du tube extérieur. Le cercle  $\beta$  est divisé de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  dans deux sens opposés, qui correspondent chacun aux déclinaisons croissantes pour une position de l'instrument. Deux verniers tracés en deux points diamétralement opposés de la couronne  $\alpha$  permettent d'évaluer le déplacement angulaire relatif des deux tubes oculaires avec une approximation de  $20''$  d'arc, exactitude suffisante pour la recherche des astres.

14. *Correction de l'erreur d'index en déclinaison.* — Bien que l'instrument ne soit pas destiné aux mesures absolues, il est avantageux dans la pratique que les lectures  $0^\circ$  et  $180^\circ$  du cercle  $\beta$  correspondent au cas où la normale au miroir extérieur est dans un même plan avec l'axe du tube objectif et l'axe du tube oculaire extérieur. L'instrument est alors dirigé sur l'un des pôles de la sphère céleste, comme l'indique la *fig.* 1. Pour arriver à ce résultat, on donne au tube objectif, au moyen du mouvement en ascension droite, une direction horizontale. Puis, en agissant sur le mouvement de déclinaison, on amène la face du cube qui porte l'objectif à faire avec l'horizon un angle égal au complément de la latitude du lieu. La couronne  $\beta$  se compose de deux parties concentriques dont l'une, celle qui porte la division, peut à volonté être rendue indépendante de l'autre ou lui être reliée au moyen de vis de pression. Avant d'établir la liaison, on exécute les opérations qui viennent d'être décrites et l'on amène le zéro de la couronne mobile  $\beta$  en face du zéro de l'un des verniers tracés sur la couronne  $\alpha$ . On relie alors ensemble les deux parties de la couronne  $\beta$ , quitte à les rendre de nouveau indépendantes si les observations astronomiques ultérieures indiquent la nécessité d'un petit changement d'origine.

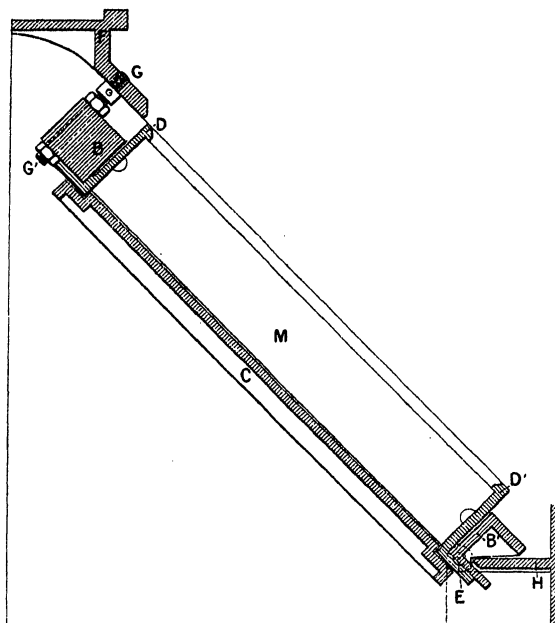
15. *Monture du miroir extérieur. Moyens de rectification.* — Il faut, ainsi que nous l'avons indiqué, que la normale au miroir extérieur soit inclinée de  $45^\circ$  sur l'axe du tube objectif. Il convient aussi que la surface réfléchissante passe par le centre du cube. En s'écartant de cette position, on s'exposerait à perdre une partie du faisceau lumineux qui a traversé l'objectif, et l'on modifierait la position prévue du plan focal.

On doit, pour effectuer le réglage, pouvoir imprimer au miroir un mouvement de rotation autour d'une direction qui peut être quelconque, pourvu

qu'elle ne soit pas parallèle à l'axe du tube objectif. Si l'on ne veut pas que le réglage modifie l'erreur d'index en déclinaison, il est nécessaire que la rotation se fasse autour d'une droite perpendiculaire à la fois à la normale au miroir et à l'axe du tube objectif. Enfin on doit éviter tout ballotement du miroir dans sa monture, tout en lui laissant le jeu exigé par la dilatation inégale du verre et du métal.

La *fig. 11* indique les principales dispositions adoptées pour satisfaire à ce programme. Elle représente une section menée par le centre du cube extérieur

Fig. 11.



parallèlement à l'axe du tube objectif intérieur et à l'axe principal de l'objectif. Le miroir M est un cylindre de verre dont la surface latérale porte une gorge circulaire destinée à rendre plus facile le maniement de cette pièce. La base non argentée du cylindre repose, par l'intermédiaire d'une couche de flanelle, sur le fond plat d'une cuvette métallique C, dont la concavité regarde vers le bas. Cette forme donnée au support du miroir permet de l'alléger, tout en lui conservant la résistance nécessaire (le verre seul du miroir pèse 202<sup>kg</sup>). Sur la surface latérale du cylindre s'applique une couronne circulaire DD', vissée sur la cuvette C et qui porte aussi un rebord saillant destiné à maintenir la face argentée du miroir. La couronne DD' est embrassée elle-même par un barillet BB', traversé à sa base par une charnière E dont l'axe est perpendiculaire au plan de la figure. Cette charnière traverse aussi une pièce saillante H établie

sur la paroi du tube où vient s'insérer le tube objectif. Une autre pièce saillante F, fixée sur la paroi du cube qui porte l'objectif, sert d'écrou à une vis GG' qui traverse le barillet. Elle porte, de plus, deux écrous mobiles que l'on peut à volonté écarter du barillet ou appliquer sur lui. En agissant sur ces écrous, on provoque la rotation du miroir autour de la charnière E, et l'on amène ainsi la surface réfléchissante à faire un angle de  $45^\circ$  avec l'axe du tube objectif. Les dimensions des pièces fixes F et H ont dû être déterminées de telle manière que le centre de la surface réfléchissante coïncide à peu près avec le centre du cube.

La couche de flanelle interposée entre le miroir et la cuvette C laisse, par sa compressibilité, le jeu nécessaire aux dilatations. Au bout d'un certain temps, la flanelle peut se comprimer d'une manière permanente et perdre de son épaisseur. On évite le ballottement qui pourrait en résulter en serrant un peu les vis qui joignent la couronne DD' à la cuvette C.

16. *Monture du miroir intérieur. Moyens de rectification.* — Ce miroir, de dimensions un peu moindres que le précédent, doit être disposé de telle manière que la surface réfléchissante passe au centre du cube et soit en ce point bissectrice de l'angle formé par les axes du tube objectif intérieur et du tube oculaire extérieur.

Il suffit que la première condition soit réalisée approximativement. Un petit déplacement du miroir parallèlement à lui-même n'entraînera qu'une faible perte de lumière sur les bords et un changement du même ordre dans la position du plan focal.

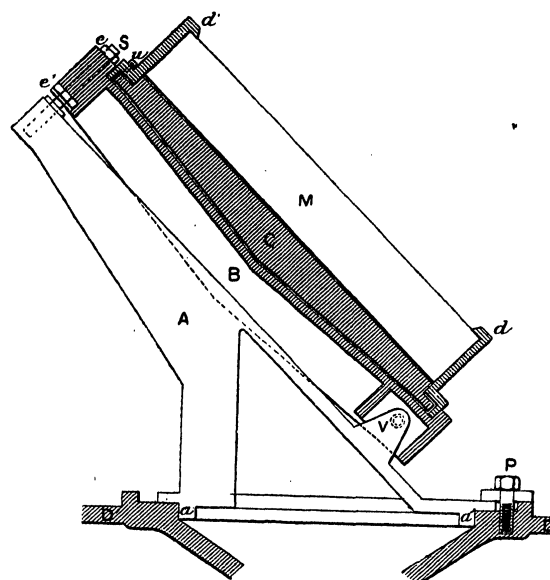
La seconde condition est plus essentielle. Elle exige que l'on puisse donner au miroir deux mouvements de rotation indépendants autour de deux axes rectangulaires.

La disposition adoptée dans ce but est indiquée dans la *fig. 12*, qui représente la section du miroir intérieur par le plan des axes des deux tubes de l'instrument. DD' est la paroi du cube qui porte le contrepoids. Dans cette paroi est pratiquée une ouverture circulaire, où vient s'insérer une couronne saillante aa', fixée à une pièce massive A, dont la plate-forme supérieure, inclinée à  $45^\circ$  environ sur la base, porte le miroir. Quand les vis de pression, dont l'une est figurée en P, ne sont pas serrées, la pièce A peut tourner à frottement autour de l'axe commun de l'ouverture circulaire et de la couronne aa', axe qui coïncide à peu près avec celui du tube oculaire.

On provoque ce mouvement à l'aide de deux vis dont les écrous sont boulonnés sur la paroi du cube, et dont les axes, dirigés en sens opposé, viennent buter contre une même pièce saillante dépendant de la monture A. En desserrant

l'une de ces vis et agissant sur l'autre, on pourra toujours amener la normale au miroir M à se trouver parallèle à un plan dont la direction serait déterminée

Fig. 12.



par celle des axes du tube objectif et du tube oculaire. Ce résultat obtenu, on resserrera les deux vis butantes, ainsi que les vis de pression P.

Il reste à donner au miroir une seconde rotation, qui devra, pour ne pas détruire l'effet de la première, s'accomplir autour d'une perpendiculaire au plan des axes des deux tubes. L'axe de cette rotation est constitué par une charnière V qui pénètre à la fois dans deux pièces saillantes fixées au plateau A et dans une autre pièce saillante engagée entre les deux premières et dépendant du plateau B. On provoque la rotation du miroir autour de cette charnière à l'aide d'une vis S qui traverse le plateau B, s'engage dans la pièce A, et porte deux écrous mobiles  $e$ ,  $e'$  venant s'appliquer chacun sur l'une des faces du plateau B. En réglant la position de ces écrous, on amènera la surface du miroir à former des angles égaux avec les axes du tube objectif et du tube oculaire.

Le plateau B ne porte pas directement le miroir. On interpose un autre plateau C sur lequel est vissé le barillet du miroir. Le tout s'adapte exactement dans une cavité ménagée sur la face supérieure de B. Quand on voudra, par exemple, procéder à la réargenteure du miroir, on enlèvera en même temps les pièces C et  $dd'$ , et l'on pourra les remettre en place sans avoir à recommencer le réglage qui a été effectué sur la pièce B.

17. *Établissement provisoire des miroirs.* — Pour régler provisoirement le miroir central, on dispose sur le barillet de l'objectif un collimateur comprenant une source lumineuse et une croisée de fils placée au foyer d'une lentille. L'axe du collimateur, déterminé par la croisée des fils et le centre optique de la lentille, étant mis à peu près en coïncidence avec l'axe optique de la lunette, on voit, en mettant l'œil à l'oculaire, apparaître l'image grossie de la croisée des fils se détachant en noir sur un fond éclairé.

Quand on fait agir les organes du mouvement de déclinaison, on voit cette image décrire un cercle dont le rayon dépend de l'écart que prend le faisceau incident, après réflexion sur le premier miroir, avec l'axe de rotation du tube objectif intérieur. On peut, en agissant sur la monture du collimateur, réduire le rayon de ce cercle à zéro, c'est-à-dire faire en sorte que l'image demeure immobile quand on déplace l'instrument en déclinaison. On a ainsi réalisé un faisceau lumineux parcourant le tube objectif intérieur suivant son axe. A ce moment, on agira sur les deux vis rectificatives du miroir intérieur, jusqu'à ce que l'image de la croisée des fils vienne se faire au centre du champ.

Ce résultat obtenu, on procède au réglage du miroir extérieur. Le collimateur et sa monture, au lieu d'être fixés au cube, sont simplement posés sur la face extérieure de l'objectif, les appuis occupant des positions symétriques par rapport au centre. On note, à l'aide des fils du micromètre, la situation de l'image dans le champ. On fait ensuite tourner de  $180^\circ$  le collimateur avec sa monture. On peut admettre que cette rotation s'est produite autour de l'axe principal de l'objectif. S'il y a eu déplacement de l'image, c'est que le faisceau lumineux donné par le collimateur forme un angle appréciable avec l'axe principal de l'objectif. On corrige la moitié de l'écart en agissant sur la monture du collimateur. Quand la position de l'image est devenue indépendante de la rotation donnée au collimateur, on a réalisé un faisceau lumineux entrant dans la lunette suivant l'axe principal de l'objectif.

En agissant sur la vis de rectification du miroir extérieur, on fera décrire à l'image un chemin rectiligne. On l'amènera ainsi aussi près que possible du centre du champ. Si le trajet de l'image ne passe pas au voisinage du centre du champ, c'est que la charnière du miroir extérieur s'écarte sensiblement de la perpendiculaire au plan déterminé en direction par l'axe principal de l'objectif et l'axe de rotation du tube objectif intérieur. En fait, cette divergence n'apparaît pas si l'on a apporté quelque soin dans le montage des tubes et de l'objectif.

La série des opérations que nous venons de décrire étant faite, on peut

affirmer qu'un rayon lumineux entré dans la lunette suivant l'axe principal de l'objectif vient faire son image près du centre du champ, aussi bien qu'un rayon qui aurait suivi l'axe de rotation du tube objectif intérieur. Cet accord ne permet pas d'affirmer que les deux rayons coïncident dans tout leur parcours, ni que le miroir extérieur forme bien un angle de  $45^\circ$  avec l'axe du mouvement de déclinaison. Aussi le réglage qui vient d'être décrit n'a-t-il qu'un caractère provisoire. On le perfectionne par la suite au moyen des observations astronomiques. L'emploi du collimateur permet aussi de constater que la rectification des miroirs, effectuée pour un angle horaire déterminé, ne subsiste pas rigoureusement pour les autres. Le déplacement qu'éprouve l'image de la croisée des fils, quand on fait mouvoir la lunette en ascension droite, est l'indice d'une flexion variable des tubes et peut servir à la mesurer. (*Voir le Mémoire sur la théorie de l'équatorial coudé.*)

18. *Mise au foyer.* — Le tube oculaire intérieur porte un prolongement E (*fig. 6*), de diamètre moindre et dont l'axe coïncide avec le sien. Dans ce tube s'engage à frottement un autre tube concentrique E<sub>1</sub> portant le cercle de position F. Il est nécessaire, pour amener les fils du micromètre dans le plan focal de l'objectif sans changer leur orientation, de pouvoir donner au tube intérieur E, un mouvement de translation parallèle à l'axe polaire, en évitant de le faire tourner sur lui-même. Dans ce but, on a fixé en haut du tube intérieur E, une pièce saillante qui porte une crémaillère dirigée parallèlement à l'axe du tube et pouvant courir entre deux glissières. On agit sur cette crémaillère au moyen d'une roue dentée dont l'axe traverse deux coussinets fixés sur le tube extérieur E, et se termine par deux têtes *ee'* assez larges pour être manœuvrées sans effort avec les deux mains. Des ressorts sont disposés pour combattre l'effet de la pesanteur sur le système formé par le micromètre et le cercle de position et les empêcher de redescendre par leur propre poids. On remarquera que, dans l'équatorial coudé, la tendance qu'il s'agit de combattre présente une intensité à peu près constante, ce qui n'a pas lieu dans les équatoriaux droits.

19. *Cercle de position.* — Le prolongement intérieur E, du tube oculaire se termine par une couronne circulaire F (*fig. 6*) divisée de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  dans le sens des aiguilles d'une montre et destinée à l'orientation du micromètre. Dans le tube E, entre à frottement un tube E', de diamètre un peu moindre et pouvant tourner autour de leur axe commun. Le tube E' se termine aussi par une couronne circulaire  $\phi$  destinée à fixer le micromètre. Trois pièces en forme d'alidade accompagnent le mouvement de rotation du tube E' et glissent à frot-

tement sur la face supérieure du cercle de position F. La première  $t$  porte un vernier destiné à faire connaître avec une approximation d'une minute d'arc l'orientation du micromètre; la seconde  $t'$  se termine par une mâchoire traversée par une vis. En serrant cette vis, on établit une liaison permanente entre le cercle de position et le micromètre qui ne peut plus, dès lors, prendre, par rapport au tube oculaire, qu'un mouvement de glissement suivant l'axe. La troisième pièce  $t''$ , invisible sur la figure, porte aussi une vis dont la tige possède une denture cylindrique engrenant avec une autre denture pratiquée sur la tranche du cercle de position F. Lorsque la vis  $t'$  est desserrée, le mouvement de rotation du micromètre par rapport au cercle de position peut être donné à la main ou au moyen de la pièce  $t''$ , suivant que l'on cherche la rapidité ou la précision.

Il résulte évidemment de ce qui précède que le cercle de position et le micromètre participent au mouvement du tube oculaire intérieur, c'est-à-dire au mouvement de déclinaison donné par l'une ou l'autre des manettes R et S'. Cette circonstance doit être considérée comme avantageuse; on voit, en effet, en se reportant à la théorie de l'équatorial coudé, que, si l'on imagine dans le plan focal une droite parallèle à l'axe du tube objectif intérieur, la direction du mouvement diurne fait avec cette droite un angle égal à la distance polaire du point visé. Le sens dans lequel cet angle est compté change, de même que le sens des lectures en déclinaison, suivant que l'instrument est dans la position directe ou inverse. Il en résulte que l'orientation du micromètre, une fois obtenue pour une déclinaison particulière, subsistera pour toutes les autres. S'il se manifestait, dans les déclinaisons élevées, une divergence appréciable, on devrait en conclure que l'orientation du tube oculaire laisse à désirer.

20. *Oculaires.* — Quand on n'a en vue que l'examen physique des astres, on introduit dans le tube E' un nouveau système de trois tubes concentriques rentrant l'un dans l'autre. Le premier, G, porte une pièce saillante servant d'appui à une tige  $ff'$  dont la partie centrale est munie d'une denture cylindrique. Le second, G', porte fixée à sa partie supérieure une crémaillère dirigée parallèlement à l'axe du tube oculaire et venant engrener avec la denture de la tige  $ff'$ . Le troisième tube, G'', est l'oculaire proprement dit et doit être choisi en tenant compte des conditions atmosphériques, de la nature de l'objet étudié et du champ que l'on désire embrasser. La vision la plus nette correspond pour chaque observateur à une distance déterminée entre l'oculaire et le plan focal de l'objectif. On réalise cette condition soit en faisant glisser le tube G'' à l'intérieur du tube G', soit en agissant sur l'une ou l'autre des tiges dentées  $ee'$ ,  $ff'$ .

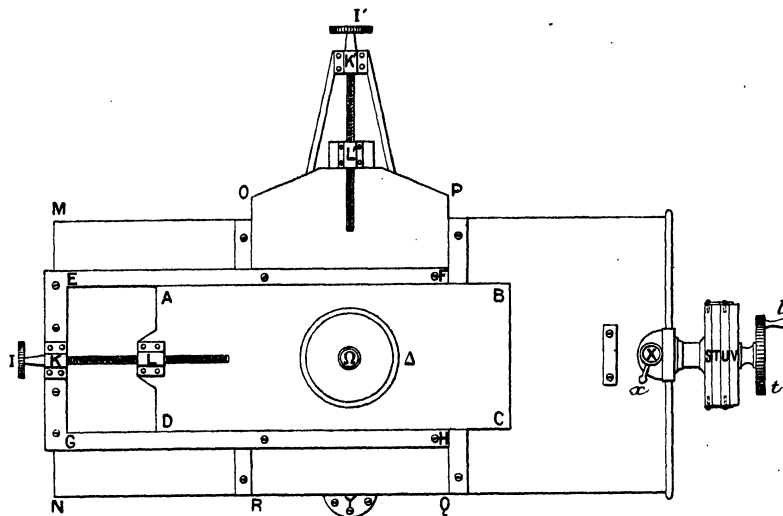
On peut adapter sur l'instrument 15 oculaires différents donnant des grossissements variables de 80 à 2000 fois en diamètre. Le champ visuel qui correspond au plus faible oculaire est de 20' d'arc, ce qui est suffisant pour la recherche des astres. L'étendue que l'on peut embrasser dans une seule opération photographique s'élève à 1°30'.

21. *Micromètre.* — Si l'observateur veut se livrer à des travaux de mesure, il faut enlever le système des tubes G, G' et mettre à leur place entre l'oculaire et le tube E' un micromètre filaire. Cet appareil est constitué essentiellement par une boîte métallique ayant la forme d'un parallélépipède à l'intérieur duquel sont disposés, sur deux cadres, des fils rectangulaires pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres dans deux plans aussi rapprochés que possible. Sous la boîte du micromètre est monté un tube qui vient s'insérer à la place du tube G, préalablement enlevé. Une pièce saillante, également fixée à la boîte du micromètre, passe par un vide ménagé dans la couronne supérieure  $\varphi$  du tube E' (*fig.* 6). Elle vient ensuite, par un léger mouvement de rotation, rencontrer un arrêt fixé au tube E'. Le contact est assuré par deux vis butantes, qui permettent de faire varier, dans une certaine mesure, l'orientation du micromètre par rapport à l'index  $t$  du cercle de position. Il va de soi que l'on doit s'abstenir, dans le cours d'une même série d'observations, de donner du jeu à ces vis, ainsi qu'à la vis de pression qui sert à relier le micromètre à la couronne  $\varphi$ .

Les oculaires destinés à s'adapter sur le micromètre glissent à frottement doux dans un cylindre  $\Delta$  (*fig.* 13) monté normalement sur la face supérieure du micromètre. Ce cylindre est muni intérieurement d'arrêts qui empêchent les oculaires de venir endommager les fils. Il peut recevoir un double mouvement de translation, parallèlement aux deux grands côtés de la boîte du micromètre, de manière à permettre, dans une position donnée de la lunette, l'exploration du champ tout entier. La disposition qui assure ce double mouvement est visible sur la *fig.* 13, qui représente la face supérieure du micromètre. L'oculaire  $\Omega$  et le cylindre  $\Delta$  sont entraînés avec une plaque rectangulaire ABCD. Cette plaque elle-même est mobile entre deux glissières EF, GH. Elle porte un écrou L traversé par une tige filetée dont la tête est en I. Cette tige traverse en K une pièce fixée au cadre EFGH, et qui la laisse tourner sur elle-même sans lui permettre aucun mouvement dans le sens de sa longueur. Le mouvement donné à la tête de vis I entraîne donc la translation de la plaque ABCD entre les glissières EF et GH. Tout le système qui vient d'être décrit est porté sur une plaque métallique OPQR et glisse dans une rainure pratiquée sur le côté MN

de la boîte du micromètre. La plaque OPQR se meut elle-même entre deux guides parallèles à OR, PQ, sous l'action d'une vis I' dont la tige traverse d'une part un écrou L' fixé à la plaque, de l'autre une gaine K' reliée par des montants

Fig. 13.



à la boîte du micromètre. La vis ne peut prendre par rapport à la gaine K' qu'un mouvement de rotation, sans déplacement longitudinal.

La *fig. 13* indique encore quelques autres détails du micromètre. Y est la base de la monture d'une lampe électrique qui projette sa lumière vers le bas et sert à la lecture du cercle de position. X est la base d'une autre lampe électrique logée dans un étui de métal qui empêche sa lumière d'atteindre directement les yeux de l'observateur. On peut l'éteindre à volonté avec l'interrupteur *x*. La lumière de cette lampe n'a d'issue que du côté où se trouvent les tambours destinés à indiquer la rotation de la vis micrométrique. Les cylindres S et U sont fixes et le second porte un index devant lequel tournent simultanément le tambour T qui accompagne la vis dans son mouvement et le tambour V qui avance d'une partie pour chaque révolution de la vis. La valeur angulaire d'un tour de vis est à très peu près  $15''$ . On estime à vue les millièmes de tour, soit  $0'',015$ . La manœuvre de la vis est facilitée par une tête *t*, striée sur la tranche, et pour les mouvements rapides par un levier *l*. D'un bout à l'autre du champ la vis exécute 90 tours environ.

**22. Éclairage.** — L'installation de l'éclairage comprend :

- 1° Un moteur à gaz, établi dans les caves du jardin;
- 2° Une machine dynamo-électrique actionnée par le moteur;

3° Une batterie d'accumulateurs, que l'on recharge de temps à autre avec la machine dynamo-électrique;

4° Des fils conducteurs amenant le courant fourni par les accumulateurs à tous les étages du bâtiment et aux lampes adaptées sur divers points de la lunette. Le courant arrive à celles-ci par le pivot inférieur de l'instrument. Des rhéostats placés sur le passage du courant et à portée de l'observateur permettent d'interposer une résistance variable, et par suite de graduer l'intensité de l'éclairage suivant les nécessités du travail.

Quand il s'agit de faire passer le courant d'une pièce P sur une autre pièce P', qui prend relativement à la première un mouvement de rotation, on dispose sur la pièce P', par exemple, une couronne isolante en celluloïde, portant deux cercles de cuivre dont le centre commun doit tomber sur l'axe de rotation. Deux frottoirs rattachés à la pièce P, mais isolés l'un de l'autre, viennent constamment s'appuyer sur chacun des deux cercles métalliques. On assure ainsi la transmission et le retour du courant, tout en évitant la communication entre les deux fils conducteurs.

Si la pièce P' est susceptible de prendre un mouvement longitudinal suivant l'axe, on ajuste les frottoirs à l'extrémité de ressorts qui présentent le jeu nécessaire pour assurer le contact en toute circonstance.

La lampe principale est représentée en  $\gamma$  sur la *fig. 1*. La lumière qui en provient est réfléchié à angle droit sur les deux miroirs  $\epsilon$ ,  $\epsilon'$  et revient vers l'oculaire en traversant le miroir central, dont on a enlevé la couche argentée sur une petite étendue.

Deux lampes de moindre puissance sont logées dans l'épaisseur des tiges  $\delta$ ,  $\delta'$  (*fig. 6*) qui sont montées sur un anneau concentrique au tube E, et portent des loupes destinées à la lecture des divisions des cercles  $\alpha$  et  $\beta$ . Ces lampes permettent de lire la position de l'instrument en ascension droite et déclinaison. Deux autres lampes établies sur la boîte du micromètre servent, ainsi que nous l'avons indiqué, à lire le cercle de position et les tambours de la vis micrométrique.

#### IV. — DISPOSITIONS ADOPTÉES POUR APPLIQUER L'ÉQUATORIAL COUDÉ A LA PHOTOGRAPHIE CÉLESTE.

Le but des dispositions que nous allons décrire est d'obtenir la reproduction exacte, sans agrandissement, de l'image réelle des objectifs célestes, telle qu'elle se forme au foyer chimique de l'objectif. Il importe que les clichés offrent dans toute leur étendue la plus grande netteté possible, et ne soient sujets qu'à une

déformation symétrique par rapport aux diverses directions que l'on peut considérer autour du centre.

Les conditions qui viennent d'être indiquées entraînent comme conséquence les suivantes :

1° Le châssis qui porte la plaque doit demeurer orienté perpendiculairement à l'axe polaire;

2° Il doit recevoir à volonté un mouvement de rotation autour de l'axe polaire, de telle sorte que la direction du mouvement diurne pour le centre du cliché corresponde à une direction quelconque donnée à l'avance sur la plaque;

3° Il doit être susceptible d'un mouvement de translation parallèle à l'axe polaire, de manière que la plaque puisse être à tout instant ramenée au foyer chimique de l'objectif;

4° L'exposition de la plaque doit se faire sans dérangement dans la position du châssis et sans qu'il lui soit communiqué de trépidation;

5° Il faut que l'on puisse surveiller à tout instant la position dans le champ d'une ou plusieurs étoiles, de manière à faire correspondre pendant toute la durée de l'exposition un même point de la plaque au même point du ciel, malgré les variations inévitables de la réfraction et du mouvement d'horlogerie.

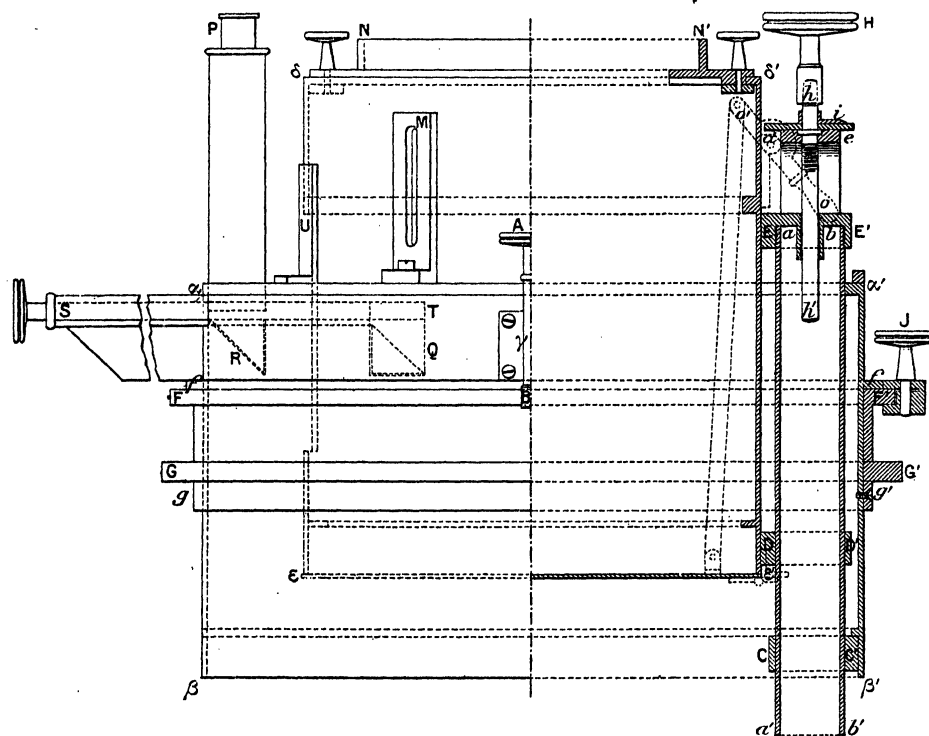
Pour satisfaire à ce programme, on enlève toute la partie supérieure de l'instrument, c'est-à-dire les pièces représentées en perspective sur la *fig. 6*, en coupe sur les *fig. 7* et *9*, au-dessus du plan des cercles divisés servant aux lectures d'ascension droite et de déclinaison. On leur substitue un système de trois cylindres rentrant les uns dans les autres, et que nous allons décrire en commençant par l'extérieur. Ces cylindres, qui tous ont pour axe commun l'axe polaire de la lunette, sont représentés en coupe sur la moitié droite de la *fig. 14*. La moitié gauche de la même figure donne une vue d'ensemble de l'appareil.

Le premier cylindre est monté sur le tube polaire intérieur, dont il forme le prolongement. Il participe, en conséquence, aux mouvements d'ascension droite et de déclinaison, mais ne peut prendre ni mouvement de rotation indépendant, ni mouvement longitudinal suivant l'axe. Ce cylindre porte deux couronnes saillantes : l'une  $GG'$  s'applique sur la face supérieure du tube de déclinaison et lui est réunie au moyen de vis, l'autre  $FF'$  porte sur toute sa circonférence une denture servant à communiquer au second cylindre un mouvement de rotation.

Le second cylindre  $\alpha\alpha'\beta\beta'$  entre exactement à l'intérieur du premier. Il ne doit prendre relativement à lui aucun mouvement longitudinal. A cet effet, il porte deux couronnes saillantes  $ff'$ ,  $gg'$ , qui viennent s'appliquer respectivement sur les deux bases du premier cylindre.

Si la liaison des deux cylindres entre eux et avec la plaque demeurerait invariable, l'orientation une fois adoptée resterait toujours la même par rapport au mouvement diurne, puisque le système participerait au mouvement de déclinaison; mais la nécessité de contrôler cette orientation et celle d'explorer le champ pour y choisir des points de repère exigent que le second cylindre puisse

**Fig. 14.**



tourner à l'intérieur du premier. Dans ce but, on a fixé extérieurement à la paroi du second cylindre deux gaines  $\gamma$ , renfermant chacune un axe sur lequel on agit à volonté par la tête A. A l'autre extrémité de cet axe est monté un pignon B qui engrène avec la couronne dentée FF'. Quand l'orientation cherchée est obtenue et que l'on veut empêcher tout mouvement relatif entre les deux cylindres, on agit sur les deux pinces de serrage J, dont une mâchoire est reliée au cylindre  $\alpha\alpha'\beta\beta'$  et dont l'autre vient appuyer sur la couronne dentée FF'.

Un troisième cylindre  $\delta\delta'\epsilon\epsilon'$ , de diamètre notablement moindre, s'engage à frottement dans une ouverture circulaire pratiquée dans la face supérieure du second cylindre. Une colonne métallique creuse  $ab\ a'b'$  est disposée dans l'intervalle laissé libre entre les parois des deux cylindres. Sa direction est parallèle à celle de l'axe polaire de l'instrument. Elle est embrassée extérieurement

par trois colliers, le premier CC' fixé au second cylindre, les deux autres DD', EE' fixés au troisième cylindre. Le collier EE' est relié d'une manière invariable à la colonne  $aba'b'$ . Il porte de plus dans sa partie centrale un pas de vis où s'engage une tige filetée  $hh'$  commandée par une tête H. Cette tige  $hh'$  ne peut recevoir qu'un mouvement de rotation autour de son axe, le mouvement longitudinal étant empêché par la pièce *de* qu'elle traverse et qui est reliée par des contreforts au second cylindre. Il est clair que, si l'on fait tourner à la main la tête H, l'écrou EE' et par suite le troisième cylindre, ne pouvant participer à cette rotation, se transportent parallèlement à l'axe polaire. La vis tracée sur la tige  $hh'$  a 1<sup>mm</sup> de pas; une division tracée sur l'un des contreforts permet de compter les tours, et un index *i*, tournant avec la tige  $hh'$ , sert à évaluer au besoin les fractions de tour. On pourra toujours, par l'emploi de la vis H, amener la plaque à se trouver au foyer chimique de l'objectif. Quand on juge que ce résultat est obtenu, on agit sur des vis de serrage pour établir une liaison entre le second et le troisième cylindre. Chacune de ces vis traverse une coulisse M fixée au second cylindre et longue de 8<sup>cm</sup>, ce qui laisse une marge suffisante pour les variations possibles du foyer chimique.

Sur la face supérieure du troisième cylindre on fixe un cadre NN' destiné à recevoir le châssis photographique. La plaque est protégée de la lumière extérieure, non seulement par le volet du châssis, mais par un autre volet à charnière  $\varepsilon\varepsilon'$  qui ferme l'ouverture inférieure du troisième cylindre. Pour exposer la plaque, on tire d'abord à la manière habituelle le volet du châssis, et l'on agit sur le levier coudé  $oo'$  qui, en se relevant, détermine la chute du volet inférieur. Ces deux opérations se font en ordre inverse lorsque le temps prévu pour l'exposition de la plaque est à son terme. La dimension du cadre permet d'exposer des plaques de 18<sup>cm</sup> sur 24<sup>cm</sup>.

Pour contrôler le mouvement d'horlogerie, on emploie un oculaire P dont le tube, dirigé parallèlement à l'axe polaire de l'instrument, s'engage entre le second et le troisième cylindre. Deux prismes à réflexion totale Q et R reçoivent la lumière venue d'une étoile en traversant l'objectif et la renvoient après deux réflexions dans la direction de l'oculaire. On observe ainsi une image réelle que l'on peut maintenir en coïncidence avec une croisée de fils pendant toute la durée de la pose. L'ensemble formé par le tube de l'oculaire et les deux prismes est monté sur une pièce métallique ST, qui se meut dans une coulisse fixée au second cylindre. La pièce ST peut ainsi recevoir, indépendamment du mouvement de rotation communiqué par la vis A, un mouvement rectiligne perpendiculaire à l'axe polaire de l'instrument. On a ainsi la faculté d'explorer une grande partie du champ et de choisir une étoile de repère

de grandeur convenable. La coulisse se prolonge à l'intérieur du troisième cylindre, qui est échancré latéralement pour la recevoir; elle permet de recueillir des rayons passant à  $9^{\text{cm}}$  de l'axe polaire et fournissant, par conséquent, des images nettes. On a évité de prolonger la coulisse plus loin pour ne pas intercepter les rayons qui doivent concourir à la formation de l'image photographique.

L'échancrure pratiquée pour le passage de la coulisse est assez étendue dans le sens de l'axe polaire pour laisser libre le mouvement longitudinal du troisième cylindre. Dans ce mouvement, le cylindre glisse sur une pièce U coudée à angle droit et montée sur la coulisse. La fonction de cette pièce est de maintenir aussi exactement que possible le parallélisme des axes du cylindre et de l'oculaire.

## V. — DESCRIPTION PLUS PARTICULIÈRE DES DIVERS ORGANES DE L'INSTRUMENT.

### PARTIE OPTIQUE.

1° *Miroirs plans*. — Les deux grands miroirs plans dont nous avons indiqué les dimensions (p. 5) ont été exécutés par MM. Paul et Prosper Henry sur des blocs de verre fournis par la Manufacture de Saint-Gobain. La vérification de leurs surfaces a été faite par un procédé dont la description détaillée n'entre pas dans le cadre de cette Notice. Il consiste essentiellement à faire réfléchir deux fois sur le miroir plan un même faisceau lumineux que l'on rend dans l'intervalle convergent à l'aide d'un miroir concave. Cette méthode est assez sensible pour manifester une dénivellation de l'ordre de celle qui se produit quand on établit une différence de température d'un centième de degré entre les deux faces du miroir. Elle permet aussi d'affirmer que la courbure des surfaces argentées, dans des conditions normales, ne surpasse pas celle d'un méridien terrestre.

2° *Objectifs*. — MM. Paul et Prosper Henry ont construit pour le grand équatorial coudé deux objectifs qui peuvent, suivant les cas, se substituer l'un à l'autre. Le chiffre élevé du rapport qui existe entre la distance focale et l'ouverture a permis d'arriver pour ces deux objectifs à un achromatisme des plus satisfaisants, et de réduire les aberrations au-dessous des limites ordinaires. Le premier objectif, destiné aux observations visuelles, est achromatisé pour la raie D. Les indices de réfraction qui correspondent à cette raie sont 1,5228 pour le crown et 1,6290 pour le flint. Le second objectif, destiné aux opérations photographiques, a été travaillé de manière à donner des images nettes dans un champ plus étendu ( $1^{\circ} 30'$  environ). L'achromatisme est obtenu pour la raie G.

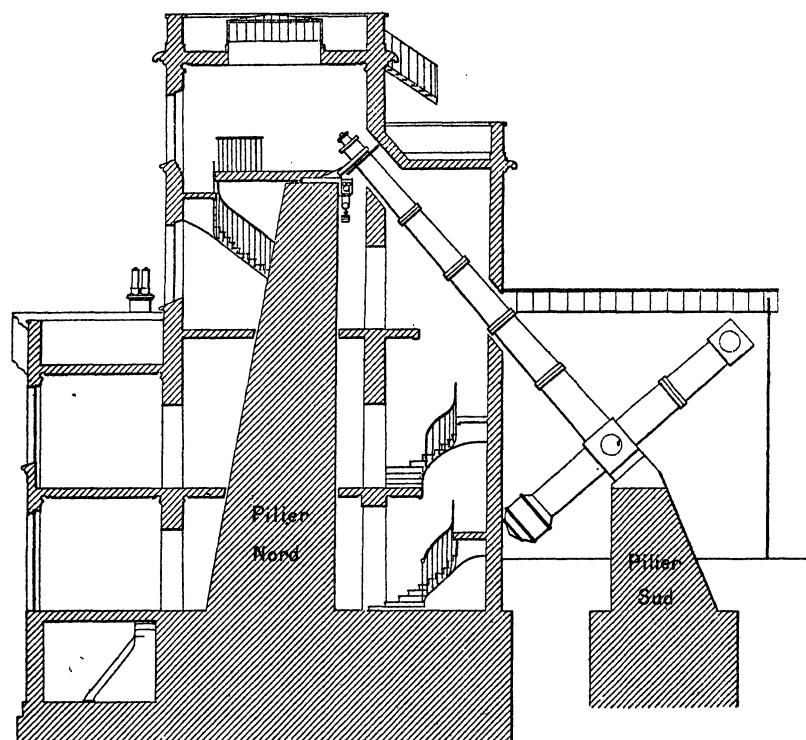
Les indices correspondants du crown et du flint sont 1,5371 et 1,6372. Les dernières retouches des surfaces ont été faites en suivant les indications données par le procédé d'autocollimation de Léon Foucault. On s'est assuré que les objectifs n'éprouvent pas, sous l'action de leur poids, de déformations susceptibles d'altérer les images.

## VI. — ABRI DE L'INSTRUMENT. PARTIE FIXE.

Le pilier Nord et la partie supérieure du tube oculaire sont abrités par un bâtiment en pierres de taille à quatre étages, étendu principalement dans le sens du méridien. Il importe, en effet, que la section dans le sens perpendiculaire au méridien ait une largeur sensiblement moindre que le double de la longueur du tube objectif, afin de n'intercepter aucune partie du ciel. Il convient même d'éviter que le rayon visuel ne passe à proximité des murailles, qui sont rarement en équilibre de température avec l'air ambiant.

Le bâtiment comprend, en allant du sud au nord, trois sections (*fig. 15*).

Fig. 15.



La plus méridionale a trois étages, dont les deux premiers donnent passage à l'escalier, le troisième abritant une portion du tube oculaire de l'instrument. Les

parois nord et sud sont percées d'ouvertures circulaires ménagées pour livrer passage à ce tube.

La section centrale abrite le pilier Nord, et ses dimensions transversales sont limitées au chiffre nécessaire pour permettre une circulation commode autour du pilier. Le premier et le second étage ne servent que de couloirs de dégagement. Le troisième est occupé par l'escalier, qui passe à l'est du pilier; l'espace laissé libre est converti en un laboratoire destiné aux opérations photographiques. Un quatrième étage sert de salle d'observation; c'est là que vient aboutir l'extrémité supérieure du tube oculaire. Le plancher de cette salle, aussi bien que ceux des étages inférieurs, sont construits de telle manière que leur tassement et leurs vibrations ne puissent se transmettre au pilier.

De la salle d'observation on accède de plain-pied sur une terrasse entourée d'une balustrade, qui couronne la portion sud du bâtiment. L'observateur peut, en allant sur cette terrasse, se rendre compte à l'œil nu de l'état du ciel. Un escalier extérieur en fer donne accès de cette plate-forme sur une autre formant le couronnement de la tour centrale. Cet emplacement, situé à 17<sup>m</sup> au-dessus du sol, commande un horizon dégagé dans presque toutes les directions. Il peut être utilisé pour les observations qui se font à l'œil nu ou aux instruments portatifs.

La section Nord du bâtiment comprend une petite cave et deux étages. Chacun de ceux-ci ne renferme qu'une seule pièce, aménagée en salle de travail. La salle du rez-de-chaussée possède une entrée particulière sur la façade nord. On arrive à la salle du premier étage en traversant la section centrale du bâtiment.

L'eau est amenée par des conduites au rez-de-chaussée et au laboratoire photographique. Des becs de gaz existent à tous les étages et permettent éventuellement de suppléer à l'interruption de l'éclairage électrique.

Les fenêtres de la section Sud ont reçu en 1892 des volets très épais formés de deux parois en bois, l'interstice étant rempli de varech. Cette disposition a pour but d'empêcher, dans les jours d'été, l'échauffement de l'air intérieur et, par suite, celui du tube oculaire.

## VII. — ABRI DE L'INSTRUMENT. PARTIE MOBILE.

On a établi du côté sud et dans l'axe du bâtiment qui vient d'être décrit un soubassement en maçonnerie long de 24<sup>m</sup> et élevé de 2<sup>m</sup> à 3<sup>m</sup> au-dessus du sol. Cette construction supporte une voie ferrée, sur laquelle roule une cabane

XXI.

D.5

mobile, de forme rectangulaire, mesurant 8<sup>m</sup> de hauteur, 8<sup>m</sup> de longueur dans le sens du méridien, 3<sup>m</sup>,40 dans le sens perpendiculaire. Lorsque l'instrument n'est pas employé aux observations, la cabane est maintenue appliquée contre le bâtiment, ainsi que l'indique la *fig.* 15. Elle abrite alors le pilier sud, le tube objectif entier et la partie inférieure du tube oculaire. Pour découvrir l'instrument, on repousse la cabane vers l'extrémité sud de la voie ferrée sans plus avoir à la faire manœuvrer jusqu'à la fin des observations. La largeur de la cabane étant très inférieure au double de la longueur du tube objectif, elle ne constitue pas un obstacle à la vision, en ce sens qu'un point quelconque du ciel peut toujours être aperçu dans une position au moins de l'instrument. Quand l'observation est finie, on agit sur le mouvement d'ascension droite, de manière que le tube objectif vienne près du méridien, et l'on ramène la cabane contre la façade sud du bâtiment. Le déplacement de la cabane est commandé par un treuil sur lequel s'enroule une chaîne sans fin passant sur un système de poulies. Primitivement, on avait donné à l'abri mobile des parois minces, percées de nombreuses ouvertures pour faciliter l'aérage. Des expériences subséquentes ont montré l'opportunité d'isoler autant que possible l'instrument de l'air extérieur pendant le jour. On a, pour ce motif, appliqué à la cabane un revêtement intérieur en bois et rempli l'interstice, large de 0<sup>m</sup>,35 environ, avec du varech. Une protection supplémentaire a été fournie par des toiles tendues extérieurement. Ces diverses additions ont augmenté le poids de la cabane et rendu difficile la manœuvre à bras. On y a remédié par l'installation d'un petit moteur électrique.

Il est utile dans certains cas, en particulier pour l'étude de la flexion ou la rectification des miroirs, de pouvoir accéder dans toutes les positions à l'extrémité de la lunette. On y arrive au moyen d'un escalier fixe, en fer, monté sur des colonnes. La forme générale de cet escalier s'écarte peu de la courbe décrite par le cube extérieur, c'est-à-dire d'un demi-cercle parallèle au plan de l'équateur. On a découpé dans cet escalier deux bandes parallèles au méridien pour permettre le passage de la cabane. Elles ont été remplacées par des pièces de même forme mobiles autour d'un axe vertical. Quand on écarte la cabane, un système de leviers détermine automatiquement la rotation des pièces mobiles qui viennent remplir la place laissée vide et permettent de circuler en toute sécurité sur l'escalier. Quand on veut recouvrir l'instrument, l'approche de la cabane provoque le mouvement inverse et rend le passage libre.

Toute la partie mécanique de l'instrument est l'œuvre de M. P. Gautier, qui avait déjà réalisé en 1882, sur les indications de M. Loewy, le premier type

d'équatorial coudé. Les objectifs et les miroirs sont dus à MM. Henry. L'éclairage électrique du bâtiment a été installé par la maison Bréguet, celui de l'instrument par M. P. Gautier.

Le bâtiment a été exécuté d'après les plans et sous la direction de M. Andrieu. La cabane mobile et l'escalier sortent des anciens établissements Cail.

La construction, commencée en mars 1889, a été terminée en avril 1890. Le montage sur place a été terminé en mars 1891 et les premières observations ont été faites dans l'été de 1891.

