

SUR LE GRAND SIDÉROSTAT DE 1900 ;

Par M. P. GAUTIER (1).

I

Grâce à l'initiative de M. François Deloncle, ministre plénipotentiaire, un groupe d'amateurs d'astronomie a décidé de faire figurer à l'Exposition prochaine un instrument d'une puissance exceptionnelle, se prêtant aussi bien aux mesures de haute précision qu'aux observations physiques les plus délicates.

La science serait ainsi dotée d'un moyen d'investigation permettant aux astronomes de pénétrer plus avant dans les profondeurs des espaces célestes, et de fournir quelques renseignements nouveaux sur la constitution physique de notre système planétaire.

Pour atteindre ce but, il a été convenu de munir cet instrument d'objectifs de 1^m,25 de diamètre ; mais, afin de tirer tout le parti possible de lentilles aussi considérables, on a résolu de ne pas subordonner le travail optique aux difficultés de l'exécution mécanique, ainsi qu'on a été presque toujours obligé de le faire jusqu'à présent dans la construction des grandes lunettes.

On s'est imposé, cette fois, la condition essentielle de ne pas amoindrir la distance focale, et il a été arrêté qu'on donnerait à la nouvelle lunette la distance focale considérable de 60 mètres, afin d'obtenir dans les images un achromatisme aussi satisfaisant que possible.

Mais, si l'on veut réaliser, suivant les plans usuels, une lunette d'aussi grande dimension, on constate immédiatement qu'on se trouve en présence de difficultés de tout genre et pour ainsi dire insurmontables.

La partie mécanique serait en effet d'un poids tel que son obésissance aux mouvements lents et sa stabilité auraient été compromises.

La coupole, à laquelle il faudrait donner alors un diamètre de 64 mètres aurait dû être constamment en mouvement pour maintenir son ouverture en regard de l'objectif marchant avec une vitesse

(1) Nous devons à l'obligeance de M. Gauthier-Villars les fig. 6, 7, 8, 9 et 11, qui accompagnent cet article.

J. de Phys., 3^e série, t. VIII. (Août 1899.)

de près de 16 mètres à l'heure. Et, dans ce cas, à quelle gymnastique ne faudrait-il pas soumettre l'observateur pour arriver à l'oculaire ?

En vue d'éviter tous ces obstacles et des dépenses considérables d'installation, pour acquérir une plus grande stabilité, et en outre affranchir l'astronome de fatigues inutiles et de sérieuses pertes de temps, le sidérostât de Foucault a été adopté comme étant une monture très avantageuse pour l'emploi d'une distance focale aussi notable.

Cette monture rend toute installation spectroscopique ou photographique facile à l'oculaire ; l'observateur n'a plus à se déplacer, la lunette étant toujours dans la même position ; les conditions atmosphériques y sont plus uniformes ; l'objectif, conservant toujours la position verticale, est moins susceptible de flexion ; la partie mobile est moins volumineuse.

La disposition choisie permet en effet de se livrer à un certain nombre de recherches ; mais elle présente cependant encore l'inconvénient de rendre impossible l'exécution de divers travaux relatifs à l'astronomie de haute précision. La difficulté provient du fait qu'en vertu du mouvement diurne la direction apparente des astres dans le champ de la lunette varie d'un instant à l'autre. Comme on le verra plus loin, cet obstacle a été évité dans la nouvelle construction. Le micromètre portant l'oculaire est muni d'un mouvement rotatoire qui permet de conserver aux images une position invariable par rapport au réticule. Dans ces conditions, l'astronome peut entreprendre dans la région du ciel que le sidérostât lui montre les mêmes mesures qu'à l'aide de la lunette ordinaire montée équatorialement.

Théorie du déplacement du miroir de sidérostât.

En principe, le sidérostât comprend une lunette horizontale (*fig. 1*)

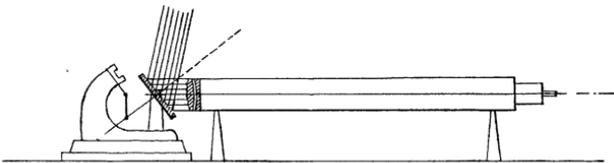


FIG. 1.

et fixe, un bâti supportant le miroir et les organes mécaniques devant lui imprimer son déplacement autour de l'axe polaire.

Le miroir, après réflexion, dirige les rayons lumineux des astres dans la lunette pour aller former leur image en son foyer, en regard de l'oculaire.

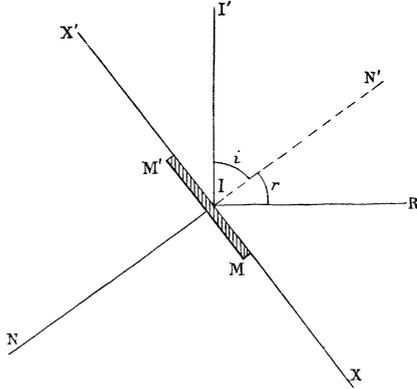


FIG. 2.

Considérons un miroir MM' (fig. 2), un rayon incident II' dans le plan du tableau se réfléchissant suivant IR .

Si on fait tourner le miroir MM' autour de l'axe XX' situé dans le plan de sa surface et dans le plan normal d'incidence, c'est-à-dire dans le plan du tableau, pour un déplacement angulaire α du miroir autour de cet axe XX' , il faudra que le rayon II' ait tourné autour de ce même axe de l'angle 2α pour qu'il se réfléchisse suivant la même direction IR . En effet, dans le plan normal au tableau passant par NN' (fig. 3), le plan d'incidence se projette en NN' , et l'axe de rotation en X confondu avec le point I . Lorsque le miroir a tourné de l'angle α autour de XX' , la normale au miroir se projette sur ce plan en IN_1' , tel que l'angle $N_1'I'N' = \alpha$. Mais dans le nouveau plan d'incidence, le rayon incident est symétrique du rayon réfléchi par rapport à la normale IN_1' ; donc ces deux rayons doivent également se projeter suivant des lignes symétriques par rapport à IN_1' ; or nous avons fait l'hypothèse que IR ne changeait pas de direction, donc le rayon incident se projette en II' , faisant l'angle α avec IN_1' et, par suite, 2α avec NN' .

Si maintenant l'axe XX' est dirigé suivant l'axe polaire, et II' le rayon lumineux d'une étoile dont le déplacement autour de l'axe polaire se fait d'un mouvement uniforme et à raison d'un tour en vingt-quatre heures, le miroir MM' devra tourner, d'après ce qui pré-

cède, d'un mouvement uniforme autour du même axe et avec une vitesse moitié moins grande, c'est-à-dire à raison d'un tour en quarante-huit heures.

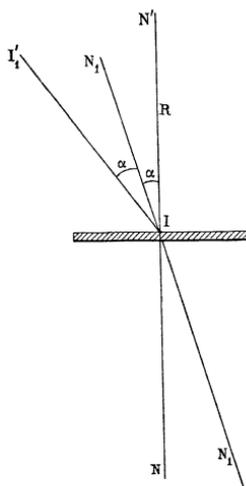


FIG. 3.

Dans ces conditions, le rayon réfléchi IR restera toujours dans une direction fixe.

Telle est la loi du déplacement du miroir dans le sidérostatis pour un parallèle qui sera déterminé ultérieurement.

Voyons maintenant comment ce mouvement se trouve pratiquement réalisé de façon que la direction IR (*fig. 4*) soit celle de la lunette, c'est-à-dire horizontale.

Pour plan vertical, prenons le plan du méridien, et dans ce plan l'axe polaire AA' dirigé suivant l'axe du monde.

Cet axe porte à son extrémité A et à angle droit un second axe portant un troisième axe AD dans le prolongement du premier, à l'extrémité duquel peut osciller un manchon glissant le long de la tige NN' normale au miroir M (Voir *fig. 6*).

Ce dernier peut osciller autour du centre I et tourner autour de l'axe vertical YY', et son centre I est situé sur la même ligne horizontale que A.

L'axe perpendiculaire à AA' en A est l'axe de déclinaison.

L'angle que fait AD avec l'axe polaire est le complément de l'angle de déclinaison.

Inclinons le miroir de façon que XX' soit parallèle à l'axe polaire. Soit II' la direction des rayons lumineux d'une étoile à son passage au méridien ; le complément de son angle de déclinaison est mesuré par l'angle de II' avec l'axe polaire, et par l'angle de AD avec ce même axe, donc AD et II' sont parallèles.

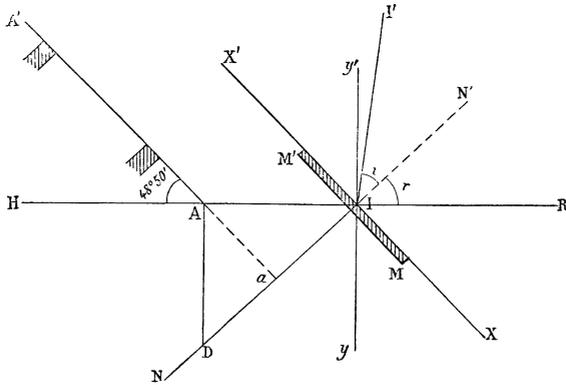


FIG. 4.

Or le triangle ADI est isocèle, car l'angle en I est égal à l'angle de réflexion, et l'angle en D est égal à l'angle d'incidence ; donc ces deux angles sont égaux, et $AD = AI$.

La longueur du bras de la déclinaison doit être égale à la distance horizontale entre l'axe de déclinaison et le centre du miroir.

Dans ces conditions, si on anime l'axe AA' d'un mouvement de rotation uniforme et de même vitesse que le mouvement diurne, c'est-à-dire faisant un tour en vingt-quatre heures, le miroir tournera bien autour de l'axe XX' parallèle à AA' d'un mouvement uniforme et avec une vitesse moitié moindre, c'est-à-dire faisant un tour en quarante-huit heures.

En effet, si nous projetons sur le plan perpendiculaire au tableau passant par NN' (fig. 5), c'est-à-dire le plan de l'équateur, l'axe AA' se projette en a , et AD en aD .

Sur ce plan, lorsque AD tourne autour de AA' , aD décrit une circonférence ayant a pour centre ; d'ailleurs ADI étant isocèle et DI étant perpendiculaire à AA' , $aD = aI$, et I se projettera en i sur la circonférence aD à l'extrémité de ce diamètre.

Lorsque AD tourne d'un angle α en se projetant en aD_1 , la

normale NI a tourné de l'angle $\frac{\alpha}{2}$, puisqu'en effet elle se projette suivant iD , et que l'angle $DiD_1 = \frac{\alpha}{2}$.

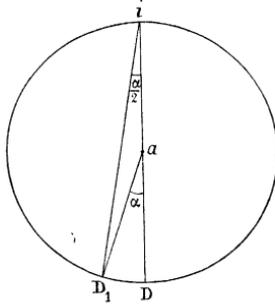


FIG. 5.

Donc, pour le parallèle correspondant au rayon II' , le miroir réfléchit bien l'étoile et sa ligne méridienne suivant la verticale passant par l'axe de la lunette.

Si nous déterminons géométriquement ce parallèle, nous voyons que le complément de son angle de déclinaison III' est justement égal à la latitude du lieu $A'AH$, angle de l'axe polaire avec l'horizon.

Pour toute autre parallèle, la normale au miroir ne se meut plus dans un plan perpendiculaire à l'axe polaire, mais décrit un cône de sommet I et dont la base est la circonférence décrite par l'extrémité D de la barre de déclinaison.

La démonstration précédente n'est donc plus applicable.

Pendant le mouvement de AD autour de AA' , cette droite ne cesse pas d'être parallèle à la direction II' (*fig. 4*), puisque ces deux directions tournent autour de AA' avec la même vitesse en faisant un tour en vingt-quatre heures; pendant ce mouvement le plan normal d'incidence $ADII'$ tournera autour de la direction fixe AI , et dans ce plan, le triangle ADI étant toujours isocèle, la normale IN est toujours la bissectrice de l'angle IIR , et par suite IR est la direction invariable suivant laquelle se réfléchit II' pendant sa rotation autour de l'axe polaire.

Donc, pour tous les parallèles, l'image d'une étoile que l'on aura amenée dans l'oculaire derrière la croisée de fils du réticule restera

dans cette position pendant toute la durée du mouvement diurne de l'étoile autour de l'axe polaire.

Si on observe, dans le champ de l'oculaire, la région étoilée voisine de l'étoile pointée comme précédemment, on remarque que, pendant le mouvement de l'instrument, le champ observé subit un déplacement angulaire autour de l'étoile pointée, par rapport au réticule fixe de l'oculaire.

Dans le cas particulier où l'étoile observée décrit le parallèle déterminé précédemment, ce déplacement est nul, puisque l'image de la ligne méridienne de l'étoile coïncide toujours avec la croisée de fils du réticule.

Pour les parallèles plus voisins du pôle, la rotation a lieu en sens inverse du mouvement diurne.

Pour ceux plus voisins de l'équateur, au contraire, la rotation a lieu dans le sens du mouvement diurne.

Les déplacements angulaires du champ dans l'oculaire seraient nuisibles pour les observations visuelles et davantage pour la photographie.

Pour y obvier, il a fallu prévoir un dispositif mécanique spécial pour imprimer à l'oculaire un mouvement de rotation égal et de même sens que celui du champ.

Les vitesses de rotation étant variables pour chaque parallèle, la transmission doit pouvoir se différencier graduellement en passant par tous les intermédiaires compris entre les limites extrêmes observées.

Un tableau numérique de ces déplacements angulaires observés pour tous les parallèles, heure par heure, jusqu'à cinq heures du méridien, a permis de fixer des proportions des organes mécaniques devant servir à cette transmission et devant assurer parfaite l'immobilité complète sur la plaque photographique de la région du ciel observée.

II

Description du mécanisme du sidérostas. — Le sidérostas de 1900 comprend :

Un grand bâti en fonte supportant le miroir et les axes devant lui imprimer son déplacement et une lunette en tôle d'acier placée horizontalement sur des supports en maçonnerie, de manière à avoir le centre de la lunette correspondant au centre du miroir.

Le plan médian de l'appareil est disposé suivant le plan méridien du lieu d'emplacement.

Le grand bâti en fonte supporte deux parties mobiles principales :

Du côté nord et à la partie supérieure de l'instrument est l'axe polaire A (*fig. 6*) à l'extrémité duquel se meut l'axe de déclinaison D ayant un mouvement à angle droit du premier.

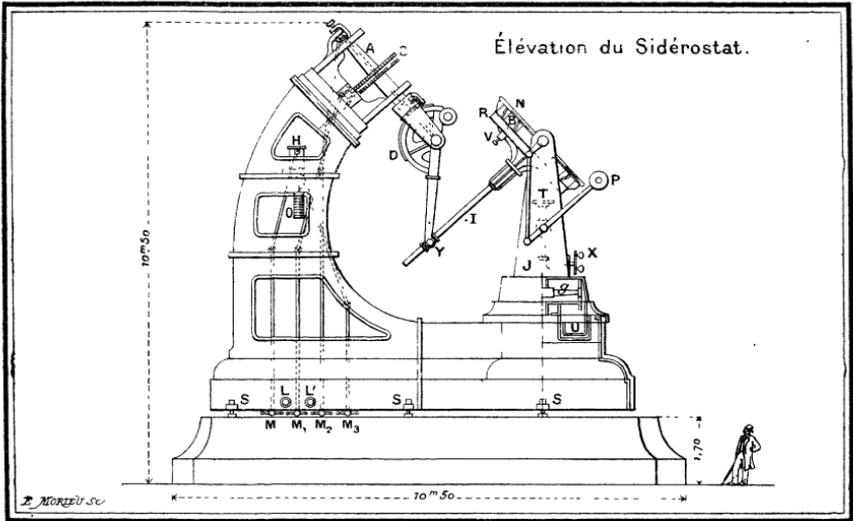


FIG. 6.

A, Axe horaire. — C, Cercles dentés de l'axe horaire. — D, Cercle denté de déclinaison. — H, Mouvement d'horlogerie actionnant le cercle C. — O, Poids moteur du mouvement d'horlogerie. — N, Miroir. — B, Barillet du miroir — V, Vis permettant de sortir le miroir de son barillet. — R, Culasse du miroir. — I, Axe de direction du miroir. — Y, Manchon glissant sur la tige I. — P, Contrepoids équilibrant le miroir. — J, Support du miroir. — U, Cuve de mercure faisant flotter le support J. — T, Treuil servant à élever la cuve pour l'argenteure du miroir. — X, Manivelle du treuil T. — g, Galets de roulement du support J. — S, Vis de réglage du sidérost. — M, Manivelle de la vis tangente du cercle horaire. — M₁, Manivelle des grands déplacements du cercle horaire. — M₂, Manivelle de la déclinaison. — M₃, Manivelle-remontoir du mouvement d'horlogerie H. — L, Lunette servant à la lecture du cercle horaire. — L', Lunette servant à la lecture du cercle de déclinaison.

Du côté sud, le support J du miroir tournant autour d'un axe vertical.

Le bâti se compose de sept pièces de fonte assemblées par des boulons vissés sur les brides d'attache qui ont été ménagés après chaque pièce à l'intérieur du bâti. Il pèse 22.500 kilogrammes.

L'axe polaire est constitué par un arbre en fonte creux ; cet arbre repose sur quatre galets dont les axes sont fixés à l'extrémité des montants de la pièce de fonte, située à l'extrémité du bâti.

Ces galets sont disposés par couple de deux, leurs axes étant disposés parallèlement à l'axe polaire.

Sur le milieu de cet arbre est calé un cercle portant un engrenage cylindrique destiné à donner les mouvements rapides à l'axe polaire.

Ce cercle engrène avec un pignon recevant par une transmission le mouvement d'une manivelle située à la base du socle et qui permet de donner la position horaire utile.

A une faible distance de ce cercle se trouve un second cercle C à denture hélicoïdale engrenant avec une vis actionnée par le mouvement d'horlogerie ; ce second cercle est fou sur l'arbre et peut en devenir solidaire au moyen d'une pince l'embrayant avec le premier cercle fixé sur l'arbre.

Cette pince est commandée de la base de l'instrument.

En outre, ce second cercle denté porte sur une de ses faces un limbe en argent divisé sur une partie de sa circonférence.

C'est la division en ascension droite.

Cette division est faite en heures et en minutes ; la chiffrasion en est faite de quinze en quinze minutes ; les heures sont indiquées par de plus gros chiffres.

Le mouvement d'horlogerie disposé en haut et à l'intérieur du bâti est mù par un poids moteur ; il transmet le mouvement à la vis tangente engrenant avec le cercle à denture hélicoïdale, de façon à faire tourner l'axe polaire d'une vitesse uniforme, à raison d'un tour par vingt-quatre heures.

Cet arbre, étant incliné suivant la latitude du lieu qui, à Paris, est $48^{\circ} 50'$, est soutenu par une crapaudine s'appuyant contre un grain d'acier fixé à la face supérieure de son support.

A l'extrémité de l'axe polaire est fixé le support en fonte en forme d'U, sur les branches duquel sont fixés les coussinets contenant les tourillons de l'axe de déclinaison.

Cet axe est composé d'une douille en fonte dans laquelle peut tourner un troisième axe portant à son extrémité inférieure une pièce d'acier en forme d'U.

Un arc D venu de fonte avec la douille porte sur sa tranche une denture en bronze et un limbe en argent.

Ce demi-cercle à denture hélicoïdale engrène avec une vis tangente

mue, au moyen d'une transmission d'engrenages, par une manivelle placée à la base du sidérost. Cet arc sert à caler l'axe de déclinaison suivant le parallèle déterminé.

Le limbe en argent fixé sur cet arc est divisé de cinq en cinq minutes d'arc, c'est-à-dire en douzièmes de degré; un vernier au dixième permettra de lire la division avec une approximation de trente secondes.

La lecture de ce limbe indique la déclinaison du parallèle suivi par l'instrument.

Lorsque l'axe de déclinaison est incliné suivant un parallèle donné, il ne doit pas se déplacer angulairement pendant la rotation de l'axe polaire par le mouvement d'horlogerie. Un embrayage à griffe placé dans le haut du bâti permet de rendre le cercle de déclinaison indépendant de toute sa transmission jusqu'à la base du sidérost, pendant la marche de l'instrument, et d'assurer ainsi complètement la fixité absolue de sa position angulaire. Cet embrayage se commande également de la base de l'instrument.

La pièce à deux branches qui termine la barre de déclinaison porte par deux coussinets les tourillons d'un manchon en bronze Y glissant sur la tige cylindrique I en cuivre fixée au centre de la culasse du miroir.

Ce manchon en comporte un deuxième concentrique pouvant tourner autour de son axe par l'intermédiaire de galets.

Ce deuxième manchon est lui-même porteur de galets disposés parallèlement à l'axe. Cette disposition a pour but de substituer au glissement du manchon sur la tige deux roulements, l'un angulaire, l'autre suivant l'axe normal du miroir.

Ce premier ensemble mobile se déplaçant autour de l'axe polaire sur les quatre galets fixés au haut du bâti pèse 2800 kilogrammes. La deuxième partie mobile comprend *le miroir et son support vertical* à la partie sud du bâti.

Le support J du miroir est en fonte et présente deux branches verticales entre lesquelles se meut le miroir.

Ce support se déplace autour d'un axe vertical en roulant par sa base sur un système de trois galets *g* indépendants, se déplaçant entre deux chemins circulaires; l'un des chemins est ménagé dans le bâti, l'autre dans le support.

En outre, la partie inférieure du support flotte dans une cuve annulaire U fixée au bâti, contenant 100 litres de mercure; le volume de

la partie immergée étant calculé de manière que la charge portée par le mercure soit les $\frac{9}{10}$ du poids total du support avec le miroir.

Le barillet B du miroir repose par ses tourillons sur deux couples de deux galets, chaque couple étant fixé à l'extrémité des branches du support vertical J.

Le miroir N a 2 mètres de diamètre, 28 centimètres d'épaisseur et pèse 3.000 kilogrammes ; il est ajusté dans le barillet et repose par sa face non réfléchissante sur la culasse R en fonte boulonnée sur son pourtour après la face inférieure du barillet B.

Au centre de la culasse est boulonnée la tige cylindrique I normale à la surface réfléchissante sur laquelle glisse le manchon de l'axe de déclinaison.

Entre les deux branches de ce support vertical est disposé un treuil T mû par une manivelle X, disposée latéralement et destinée à supporter la cuve devant servir à l'argenture du miroir.

Un système de leviers et de contrepoids P assure l'équilibre du barillet par rapport à son axe horizontal d'oscillation, qui doit passer par la surface argentée.

Le poids de ce deuxième ensemble mobile atteint 13.000 kilogrammes.

A une distance du centre égale à $0^m,80$ l'effort tangentiel à exercer pour produire le mouvement initial de rotation de cet ensemble est de 5 kilogrammes.

La cylindricité des différents axes à l'endroit de leur roulement sur les galets, ainsi que celle de ces derniers, a été vérifiée avec une approximation de $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Le poids total de la partie mobile est de 13.000 kilogrammes ; le poids moteur du mouvement d'horlogerie nécessaire pour l'entraînement est 70 kilogrammes.

Réglages de l'instrument. — Pour vérifier la situation relative des différents axes et leur direction, on a procédé aux réglages suivants :

1° Verticalité de l'axe de rotation du support du miroir en agissant sur les six vis calantes par lesquelles repose le bâti sur les dés en fonte disposés sous les vis ;

2° Parallélisme de l'axe polaire avec l'axe du monde en agissant sur les vis de rappel disposées dans son voisinage ;

3° L'axe polaire et l'axe vertical de rotation du support du miroir dans le même plan vertical ;

4° Le milieu de l'axe de déclinaison et l'axe horizontal d'oscillation du miroir dans le même plan horizontal ;

5° L'axe vertical de rotation du support du miroir passant par le milieu de l'axe horizontal d'oscillation du miroir ;

6° Égalité de la distance horizontale entre le milieu de l'axe de déclinaison et l'axe vertical du support du miroir et de la distance entre le milieu de l'axe de déclinaison et le milieu de l'axe du manchon ;

7° L'axe de la tige normale de direction du miroir passant par le milieu de l'axe horizontal de rotation du miroir et par le milieu de l'axe de rotation du manchon.

Manœuvre de l'instrument. — La manœuvre se fait de la base où sont disposées : les deux manivelles d'ascension droite et de déclinaison M_1, M_2 ; la manivelle des mouvements lents en ascension droite M par l'intermédiaire du mouvement différentiel adapté au mouvement d'horlogerie ; la manivelle-remontoir M_3 du mouvement d'horlogerie ; la commande de la pince d'embrayage du cercle horaire avec l'axe polaire, ainsi que la commande de l'embrayage de l'arc de déclinaison avec la transmission ; enfin les deux lunettes L et L' servant l'une pour la lecture du cercle horaire, l'autre pour la lecture de l'arc de déclinaison.

L'ensemble de l'instrument pèse 38.000 kilogrammes.

Lunette. — La lunette horizontale a 60 mètres de long et $1^m,50$ de diamètre. Elle est composée de vingt-quatre tubes en tôle d'acier de 2 millimètres d'épaisseur. Elle est fixée et repose sur cinq points d'appui de même hauteur, de façon que son axe se trouve au niveau du centre du miroir. Elle pèse 21.000 kilogrammes.

Devant son ouverture la plus rapprochée du miroir sont les deux objectifs de $1^m,25$ de diamètre, un astronomique, l'autre photographique, disposés sur un socle en fonte roulant sur des rails disposés perpendiculairement à l'axe de la lunette pour amener facilement l'un ou l'autre objectif en regard de la lunette.

Chaque objectif (*fig. 7*) comprend deux lentilles, un crown et un flint ayant chacune leur barillet ; l'ensemble de chaque objectif pèse 900 kilogrammes.

Le barillet du flint de chaque objectif est fixé au chariot ; le barillet du crown est monté sur roues et guidé sur des rails ; il peut s'écarter de celui du crown pour pouvoir nettoyer facilement les faces internes des deux lentilles.

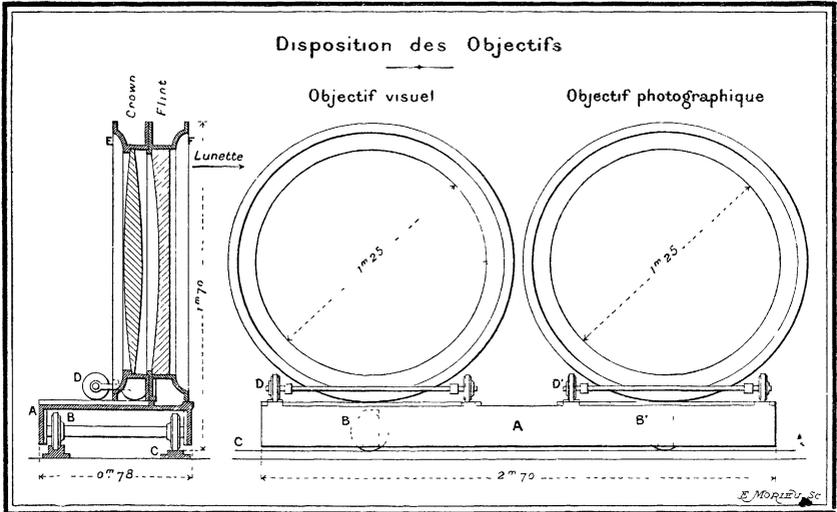


FIG. 7.

A. Socle. — B, B', Roues du socle. — C, Rails. — D, Roues du barillet portant le crown. — E, Barillet du crown. — F, Barillet fixe portant le flint.

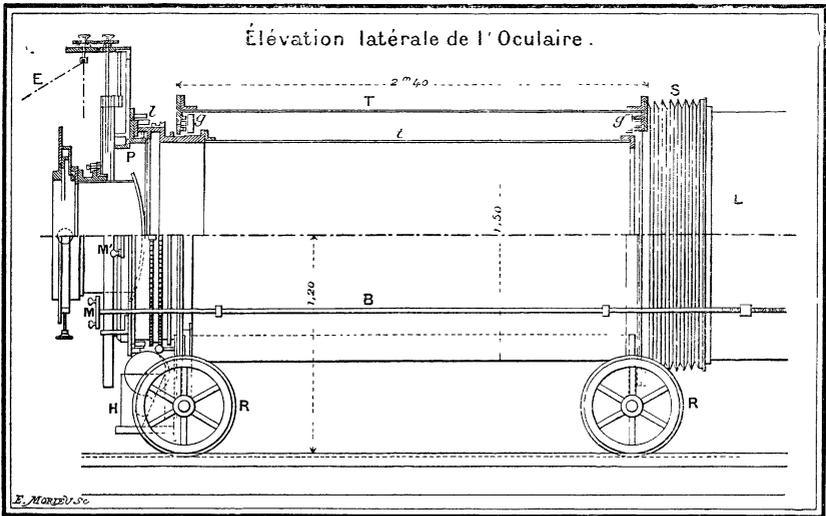


FIG. 8.

T. Tube extérieur. — t , Tube intérieur roulant dans le tube T par l'intermédiaire des galets g, g . — R, Roue du tube oculaire. — S, Soufflet de réunion de l'oculaire au corps de lunette L. — H, Mouvement d'horlogerie, entraînant le tube t . — E, Tige de transmission allant au mouvement d'horlogerie. — P, Anneau roulant sur les galets l . — B, Vis de mise au foyer du tube oculaire. — M, Manivelle de la vis B. — M', Manivelle d'entraînement du tube t .

Le centrage des deux lentilles de chaque objectif est assuré par l'emboîtement des deux barillets l'un dans l'autre.

A l'autre extrémité de la lunette, c'est-à-dire au foyer des objectifs,

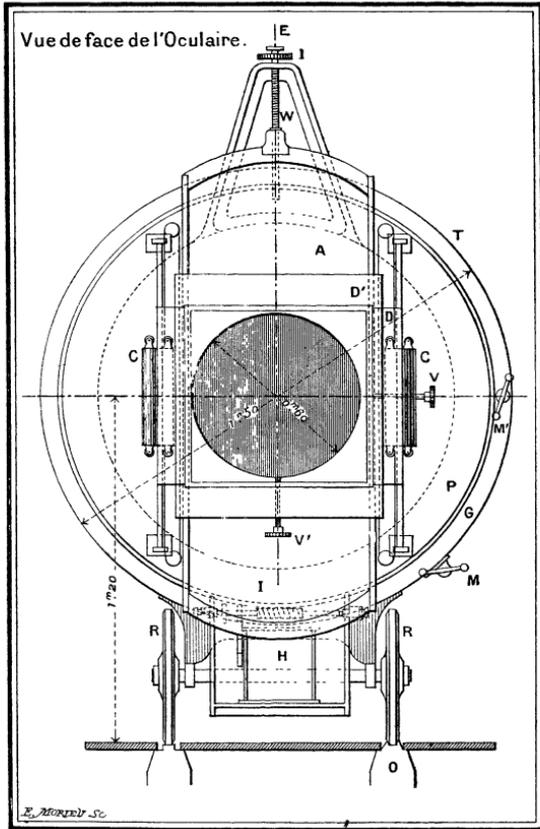


FIG. 9.

A, Chariot animé d'un mouvement rectiligne à l'aide de la vis W, de l'engrenage I et du mouvement d'horlogerie situé dans la direction E. — C, Contrepoids équilibrant le chariot A. — P, Plate-forme mobile. — D, D', Cadres mobiles. — V, V', Vis actionnant les cadres D, D'. — M, Manivelle de mise au foyer. — M', Manivelle d'entraînement du cercle denté G. — G, Cercle denté. — I, Vis tangente du mouvement d'horlogerie H. — R, Roues du tube oculaire. — O, Rails.

est disposé le tube oculaire destiné à grossir ou photographier l'image des étoiles observées.

Oculaire. — Le groupe oculaire se compose d'un tube T (fig. 8 et 9)

semblable à ceux qui forment la lunette, mais monté sur quatre roues, de façon à faciliter la mise au foyer de la plaque photographique ou de l'oculaire employé, en faisant mouvoir une vis de rappel B.

A l'intérieur de ce premier tube, peut rouler sur quatre galets g un deuxième tube t de 1^m,20 de diamètre, supportant le micromètre ou la plaque photographique.

Ce deuxième tube reçoit un mouvement de rotation, pour obtenir l'immobilité du champ par rapport au réticule. Cette rotation de vitesse, variable suivant les divers parallèles, est commandée par un mouvement d'horlogerie et transmise au tube intérieur par un système de changement de vitesse passant par tous les intermédiaires compris entre les limites extrêmes constatées expérimentalement.

Ce deuxième tube intérieur porte quatre galets entre lesquels peut tourner autour de l'axe un cercle permettant l'orientation rapide du réticule, suivant l'inclinaison voulue pour la mesure des distances entre les étoiles; une fois le réticule orienté, on rend au moyen d'une pince ce cercle solidaire du tube intérieur. Sur la face externe de ce cercle sont disposées deux coulisses dans lesquelles peut glisser un chariot. Ce chariot a un déplacement rectiligne et uniforme donné par une vis que fait mouvoir un mouvement d'horlogerie.

En immobilisant le miroir, on peut, à l'aide de ce chariot, suivre une étoile pendant son passage dans le champ de la lunette, qui dure deux minutes, avec une grande exactitude, puisqu'on est à l'abri des défauts pouvant venir des organes faisant mouvoir le miroir.

Enfin ce chariot porte deux systèmes de cadre à mouvement rectiligne, à angle droit l'un de l'autre et dirigés chacun par une vis micrométrique, pour pouvoir faire directement à l'oculaire les mouvements lents en ascension droite et en déclinaison.

Le cadre supérieur est disposé de manière à pouvoir recevoir soit un châssis pour la photographie, soit un micromètre, soit un spectroscopie, soit un appareil pour la projection.

Avec ces nouvelles dispositions, la fixité du champ à l'oculaire est parfaitement assurée, et l'instrument devient d'une stabilité, d'une précision et d'une facilité de manœuvre, qu'on ne pourrait trouver dans des instruments équatoriaux de petite dimension.
