
**DESCRIPTION D'UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉQUATORIAUX ET DE SON
INSTALLATION A L'OBSERVATOIRE DE PARIS;**

PAR M. M. LOEWY.

L'équatorial est un des instruments essentiels de l'Astronomie. Il est destiné aux investigations les plus variées et les plus délicates et à la recherche des comètes et des planètes; avec lui on peut observer un astre à un moment quelconque et dans une région quelconque du ciel, et le suivre pendant toute la durée de sa marche apparente. Mais, grâce aux progrès réalisés de nos jours, tant en Optique qu'en Mécanique, et pour répondre aux nouveaux besoins de la Science, ces lunettes prennent de jour en jour des dimensions plus considérables, et tout Observatoire qui veut soutenir la lutte avec honneur doit posséder un équatorial d'au moins 0^m,34 d'ouverture, dont la distance focale est d'environ 6^m. D'ici peu de temps, l'Observatoire de Paris sera doté d'un équatorial de 0^m,74 d'ouverture et de 15^m de distance focale, et l'Observatoire de Nice d'une lunette semblable, d'une longueur de 18^m et dont

L'objectif aura 0^m, 76. On comprend facilement que ces gigantesques appareils doivent être d'un maniement fort pénible, quelles que soient d'ailleurs la simplicité et la perfection du mécanisme employé pour les manœuvres.

Le mouvement de rotation de la Terre change à tout instant la position apparente de l'astre que l'on observe : il en résulte pour l'observateur un déplacement correspondant; non un simple déplacement de son siège à droite ou à gauche, mais un autre déplacement en hauteur : il doit en effet élever ou abaisser son siège suivant le cas. En outre, comme la lunette est enfermée sous une coupole qui l'abrite et dans laquelle se trouve pratiquée une large fente du sommet à la base, afin de pouvoir faire les observations, il faut amener cette ouverture ou cette fente devant la lunette. La coupole peut en effet tourner sur elle-même. L'observation exige donc le déplacement de la lunette, celui de l'observateur, celui de la coupole, pour ne parler que des mouvements principaux. Si l'on ajoute que l'observateur est obligé de s'asseoir ou de s'étendre horizontalement, dans une position quelquefois fort incommode, on comprend que l'observation soit réellement pénible.

L'astronome, dont l'attention a été partagée et absorbée par une série d'opérations étrangères en réalité à ses études, sent bien vite venir la lassitude; son œil, fatigué, ne distingue plus avec la même netteté les astres d'un faible éclat, et de là résultent des erreurs accidentelles sensibles et une perte de temps notable.

Ces inconvénients sont tellement sérieux que, pour certaines études, comme la recherche des comètes, où il faut parcourir une grande étendue de l'espace, on est forcé de renoncer à l'usage des équatoriaux de grandes dimensions; on en est réduit alors à des appareils plus petits et moins avantageux pour l'exploration du ciel.

En dehors de ces difficultés d'une nature matérielle, les dimensions de la lunette, son poids, son mode d'installation donnent lieu à des inconvénients scientifiques d'un autre ordre.

1^o L'un des deux axes de l'équatorial ordinaire se trouve installé parallèlement à la ligne des pôles : l'autre, l'axe de déclinaison qui est perpendiculaire au premier, porte à faux tout le corps de la lunette. Il s'ensuit un manque de stabilité préjudiciable au travail d'observation, et il est impossible d'effectuer des mesures de dis-

tances angulaires un peu considérables, c'est-à-dire dépassant une vingtaine de minutes d'arc en déclinaison et quelques minutes de temps en ascension droite.

2° Les deux verres qui composent l'objectif (le flint et le crown) ne peuvent pas être serrés à fin, l'un contre l'autre ou contre le barillet : le moindre serrage provoquerait en effet dans les images une déformation.

Il se produit alors, quand la lunette passe d'une position à une autre, des effets de flexion et de plus un décentrage de l'objectif, par le glissement des deux verres l'un sur l'autre, qui altèrent la netteté des images. Les qualités optiques de l'instrument sont donc différentes suivant ses positions.

Ces déformations ne se montrent pas seulement dans les équatoriaux, elles sont même quelquefois sensibles dans des lunettes moins grandes et se mouvant seulement dans un plan : c'est ainsi que MM. Gould et Prazmowski ont constaté dans leurs lunettes méridiennes des altérations d'images tenant à cette cause.

Le but que je me suis proposé dans la nouvelle construction a été d'échapper à de semblables difficultés.

J'ai cherché : 1° à réaliser un instrument plus stable que les équatoriaux en usage et rendant possible la mesure de grandes distances angulaires ;

2° A établir une disposition qui permît à l'astronome d'explorer le ciel tout entier et de régler lui-même sans dérangement aucun tous les mouvements de son appareil ;

3° A éviter l'emploi de ces coupoles monumentales dont l'établissement et l'emploi sont toujours si coûteux et si difficiles.

Voici maintenant, en quelques mots, les principes de construction du nouvel équatorial : l'axe polaire est supporté à ses deux extrémités par deux piliers et, comme dans l'instrument méridien, la lunette tourne entre les deux coussinets de l'axe. Cette lunette est brisée à angle droit, et à l'aide d'un petit miroir elle renvoie la lumière dans un des tourillons percés de l'axe polaire, où le micro-mètre d'observation est installé. Les choses étant dans cet état, pendant que l'instrument tourne autour de son axe, l'astronome voit passer devant ses yeux les astres de l'équateur.

Ajoutons maintenant, en avant de l'objectif, un miroir plan incliné à 45° et formant corps avec le cercle de déclinaison ; ce

miroir, en tournant autour de l'axe de figure de la lunette, amène dans le plan focal les images des étoiles situées¹ sur le cercle horaire perpendiculaire à cet axe.

Tous les organes destinés aux diverses manœuvres de l'instrument, les pinces de calage, le cercle de déclinaison, le cercle horaire, toutes les manettes pour opérer les mouvements rapides ou les mouvements doux, se trouvent à portée de la main de l'observateur.

On voit aisément que, par suite de cette disposition, l'observateur est à même d'explorer toutes les régions de l'espace sans quitter son siège. On reconnaît également que l'installation de cet instrument présente presque autant de fixité qu'une lunette méridienne, et de plus que, l'objectif tournant uniquement dans le sens de l'équateur, on a moins à craindre, après son réglage, le déplacement relatif des deux verres; par suite de la stabilité de l'instrument et de la fixité de l'objectif, il est facile de comprendre que l'on peut effectuer la mesure de distances angulaires plus considérables.

La partie mécanique a été exécutée dans des conditions très satisfaisantes par MM. Eichens et Gauthier.

Le pavillon d'observation se compose de deux parties distinctes : 1° d'une cabane mobile abritant la partie extérieure SP'N de l'instrument (*fig. 1*), celle qui porte le miroir de l'objectif; 2° d'un bâtiment fixe, renfermant un cabinet de travail et la salle d'observation *aab*.

Pour procéder aux études, on recule la cabane roulante, qui découvre ainsi la lunette, tandis que l'observateur, installé sur son fauteuil à l'abri de toutes les intempéries du temps, peut se livrer à toutes les recherches astronomiques dans les mêmes conditions qu'un naturaliste qui, dans son cabinet de travail, étudie à l'aide du microscope la structure ou l'organisation d'un corps quelconque.

Le principe du nouvel équatorial repose sur la double réflexion; il y avait donc là une difficulté sérieuse à surmonter, le plus grand nombre des expériences faites jusqu'à nos jours montrant que, pour une cause restée presque inexpliquée, les images produites par des miroirs ne possèdent pas la netteté suffisante : on pouvait donc craindre que tous les avantages offerts par la nouvelle lunette ne vissent sombrer devant un tel obstacle.

Mes études sur la flexion m'ont amené à entreprendre une série d'expériences qui m'ont permis de reconnaître la cause véritable qui avait jusqu'à présent rendu souvent impraticable l'usage des miroirs. J'ai vu que la déformation des images avait pour cause principale la construction défectueuse des miroirs.

Dans un ordre d'idées préconçues, pour établir rapidement l'équilibre de température entre les deux faces du miroir, on croyait devoir ne donner à ces appareils qu'une faible épaisseur, épaisseur qui ne dépassait guère $\frac{1}{9}$ ou $\frac{1}{10}$ du diamètre; or il arrive, dans ces conditions, que le miroir se déforme par la flexion, sous l'influence de son propre poids, quand la lunette passe d'une position à une autre. En outre, la faible épaisseur adoptée pour le verre fait que la moindre pression exercée par le barillet, par suite d'une cause accidentelle, telle que les dilatations, déforme sensiblement le miroir.

Des recherches effectuées avec des miroirs de 0^m, 08 de diamètre m'ont démontré que, pour prévenir dans un miroir toute déformation causée par la flexion ou un léger *serrage*, il faut que l'épaisseur du verre soit de 0, 18 du diamètre. Peut-être, avec des miroirs plus grands, sera-t-il possible de réduire notablement cette épaisseur. En tous cas la fraction 0, 18 doit être considérée comme un maximum.

En adoptant pour l'épaisseur le $\frac{1}{3}$ du diamètre, on peut même coller à l'arcanson le miroir contre le barillet; mais, dans ce dernier cas, $\frac{1}{3}$ du diamètre donnerait encore lieu à des déformations très notables.

Les frères Henry, qui ont exécuté d'une façon remarquable la partie optique du nouvel équatorial, sont arrivés, sans avoir déterminé ces rapports numériques par d'autres expériences, aux mêmes conclusions, à savoir qu'il fallait donner aux miroirs, pour les rendre invariables, une épaisseur plus considérable que celle qui avait été adoptée jusqu'à présent.

C'est dans ces conditions que les miroirs du nouvel instrument ont été construits, et la beauté des images a dépassé toutes les espérances. Des études comparatives ont démontré que les qualités optiques du nouvel instrument ne se trouvent surpassées par aucune des lunettes actuelles de l'Observatoire. La cause de la grande netteté des images tient uniquement à la construction rationnelle

du miroir, à la parfaite stabilité de la lunette, au centrage invariable de l'objectif, à la perfection avec laquelle a été exécutée la partie optique et aux dispositions prises pour maintenir l'équilibre de la température.

Voici, en effet, quelles sont ces dispositions :

Les deux miroirs, dont l'un a 0^m,28 et l'autre 0^m,40, sont pris chacun entre trois griffes et dans une armature de fer découpé à jour. Entre cette armature et le miroir, on place des morceaux très épais de feutre ou de flanelle qui permettent un serrage complet, tout en laissant un libre jeu aux dilatations. Le barillet lui-même est porté par un cube métallique muni de quatre ouvertures circulaires pourvues de couvercles, qu'on enlève avant l'observation.

Chaque miroir extérieur se trouve donc dans une position rigoureusement fixe et environné d'une gaine d'air libre qui empêche l'échauffement inégal des deux surfaces de verre en y maintenant l'équilibre de température. D'ailleurs, toute la partie la plus délicate de l'appareil, celle qui porte les miroirs et l'objectif, se trouvant à l'extérieur du bâtiment, c'est-à-dire dans l'air ambiant, on voit que, au point de vue général de l'équilibre de température, on se trouve dans des conditions excellentes.

Bien que l'épaisseur ainsi déterminée du verre eût permis un léger serrage contre le barillet pour assurer la fixité de la ligne de visée, il était néanmoins préférable de trouver un procédé pratique pour éviter, autant que possible, toute pression du miroir contre son armature. Voici le moyen auquel j'ai eu recours. Les trois griffes qui maintiennent le miroir dans sa monture se voient par réflexion; la monture étant placée horizontalement, le miroir, par son propre poids, tend à s'écarter des trois griffes; alors, en rapprochant peu à peu le miroir de ces griffes au moyen des vis de rappel, jusqu'au moment où les griffes viennent coïncider avec leurs images, on est sûr d'avoir établi le contact rigoureux sans avoir provoqué la moindre pression. Dans ces conditions-là, lorsque la moindre trace de lumière entre les griffes et leurs images a disparu, le déplacement de l'axe optique ne saurait atteindre que quelques centièmes de seconde d'arc. Il est bien clair alors que cette fixité du miroir, établie pour la position horizontale, qui est la plus défavorable, se maintiendra nécessairement dans toutes les autres.

Ce mode de construction présente un avantage tout particulier pour l'établissement des grandes lunettes. On sait, en effet, qu'à partir de certaines limites on ne peut pas donner aux lunettes une longueur démesurée, à cause des difficultés presque insurmontables qu'on rencontrerait dans les mécanismes et les coupoles. On en arrive alors à se contenter d'un achromatisme moins parfait que celui qu'on obtient avec des lunettes de dimension moindre. Si l'on voulait, à ce point de vue, réaliser la perfection des petits instruments, il faudrait donner aux lunettes une longueur qui rendrait les dispositions des mécanismes extrêmement compliquées.

Avec la nouvelle construction on peut, sans inconvénient aucun, allonger la lunette autant qu'il est nécessaire et établir l'achromatisme désiré. C'est encore une des raisons qui s'ajoutent à celles qui ont été indiquées plus haut pour expliquer la netteté des images.

Tous les astronomes savent combien la présence des fils du micromètre est souvent gênante pour les études physiques et pour la recherche des comètes ou des astres d'un faible éclat. Cet inconvénient disparaît, grâce à une disposition spéciale du micromètre qui permet d'écarter entièrement les fils du champ de vision. Ajoutons que ce micromètre est muni d'un système d'oculaires construit par M. Prazmowski et qui permet d'embrasser une étendue angulaire considérable. Le plus faible de ces oculaires donne un grossissement égal à 40 et fournit un champ de 1°30' d'amplitude. Son usage est particulièrement approprié à la recherche des comètes, des astéroïdes, etc.

Les images ont été examinées déjà et à des époques différentes par une vingtaine d'astronomes français et étrangers : MM. Hirsch, Fœrster, Perrotin, Stephan, André, Trépied, Thollon, Trouvelot, etc., qui tous ont été frappés de la régularité des images.

M. Newcomb, en dernier lieu, a pu dédoubler l'étoile ω Lion, dont les deux composantes sont à une distance de 0",5 : c'est la limite indiquée par Foucault pour le pouvoir séparateur d'un objectif de 0,27, la même grandeur que celui du nouvel équatorial.

Toutes les études comparatives effectuées depuis l'installation, comme les résultats déjà obtenus, m'autorisent à affirmer que cet instrument est destiné à rendre de grands services à l'Astronomie.

Frappés de ces avantages, les Directeurs des Observatoires d'Alger et de Besançon viennent d'adopter, pour leurs grands équatoriaux, le même mode de construction.

La figure ci-jointe (*fig. 1*) représente, à l'échelle de $\frac{1}{30}$, l'instrument installé à l'Observatoire de Paris.

Le corps de la lunette est formé de deux tubes de fonte de fer montés à angle droit sur un parallélépipède rectangle à base carrée prolongé par un tourillon A du côté opposé à celui où est fixé l'un des tubes avec lequel il forme l'axe horaire de l'instrument. A la partie supérieure de ce tube est fixée une pièce de bronze, qui sert à la fois de tourillon supérieur de l'axe et de coulant destiné à recevoir le micromètre. Cette pièce de bronze formant l'extrémité de l'axe polaire repose elle-même dans un coussinet E à tourillons ajustés dans des montants, lesquels sont fixés sur un socle de fonte scellé sur le pilier P et isolé du plancher *b*; l'instrument peut se régler en azimut par des buttoirs qui agissent sur le coussinet E. Les vis de ces buttoirs, en agissant sur les extrémités du coussinet E, déplacent l'axe polaire de l'est à l'ouest.

Le tourillon A repose dans une douille conique, ajustée à vis dans une coulisse C qui peut se déplacer au moyen de vis pour le réglage de l'axe en inclinaison. La pointe du tourillon A est garnie d'une pièce d'acier trempé et frotte sur l'extrémité trempée d'une vis B entrant dans la douille. Cette vis a pour effet de limiter le frottement du tourillon A dans sa douille; le système de gallets D maintenu par un levier D' sert également à soulager le frottement du tourillon dans sa douille.

Le cercle horaire J, porté par le tourillon supérieur de l'axe, donne la seconde de temps par les verniers au nombre de trois : la lecture en est faite par une loupe mobile K, le cercle de déclinaison placé un peu en arrière du cercle horaire donne les 10" d'arc par des verniers, également au nombre de trois, et lus par une loupe K'; l'alidade est fixée à l'axe horaire, le cercle tourne sur l'axe et est conduit par un pignon Y qui transmet le mouvement circulaire du manchon R; une forte roue dentée H, engrenant avec un pignon, permet à l'observateur de déplacer rapidement l'instrument dans toutes les positions en faisant tourner une manivelle placée à sa droite. L'arc denté L tourne sur l'axe horaire et glisse sur le limbe de bronze d'un cercle également fixé à l'axe; une pince M immobilise à vo-

Une tige sert à remonter les poids du rouage au moyen d'une manivelle que l'on enlève à volonté; le mouvement de rappel en ascension droite est donné par un bouton, le débrayage de la vis tangente par une clef; en agissant sur un autre petit bouton, on peut arrêter ou mettre en marche le mouvement d'horlogerie.

Le manchon en acier R, ajusté à frottement doux sur le tube de fonte de la lunette, est garni de deux cercles dentés; sur le premier engrène le pignon Y chargé de transmettre les mouvements au cercle divisé, placé près de l'oculaire; sur le second engrène un pignon chargé de faire tourner le manchon avec une manivelle, placée à portée de l'observateur; une pince et une vis de rappel peuvent également, de l'oculaire, immobiliser ou rappeler le manchon R; le manchon est porté et maintenu à sa base par trois doubles galets, fixés au tube de la lunette; le contre-poids O est fixé à des leviers articulés qui pivotent sur des douilles et agissent sur quatre galets sur lesquels repose le manchon; à sa partie supérieure est fixée la monture du miroir S de 0^m,40.

Ce miroir est ajusté dans un barillet en fonte de fer, où il repose sur un lit de flanelle; le fond du barillet, percé de trous carrés de 0^m,040, est mobile et donne aussi la possibilité de régler la pression; le barillet est tenu dans sa monture par deux tourillons et réglé par une vis de rappel; le miroir est enfermé dans un cube métallique ayant sur chaque face une ouverture fermée par des couvercles à charnières; sur les côtés du cube sont placés deux chercheurs T; l'objectif U est fixé au tube de la lunette.

Le petit miroir V, placé dans le cube, repose aussi sur un lit de flanelle dans un barillet en fonte de fer porté par une monture rectifiable.

Une lampe à gaz Q sert à éclairer l'intérieur de la lunette et donne les fils noirs sur un champ brillant, et les fils brillants sur fond obscur. La mise au point des fils au foyer de l'objectif se fait avec précision en tournant à droite ou à gauche le petit manchon G.

Depuis l'emploi de cet équatorial et en vue de constructions ultérieures, il a été décidé, de concert avec le constructeur, M. Gauthier, d'introduire dans les nouveaux instruments les améliorations suivantes :

1° Le miroir sera supporté par une monture spéciale permettant

de l'enlever quand on jugera à propos de renouveler son argenture, et de le replacer aisément dans les mêmes conditions où il se trouvait d'abord ; cette opération n'entraînera aucun dérèglement.

2° Dans l'équatorial actuel, le cube qui supporte le miroir est solidaire d'un manchon descendant qui se termine vers le milieu de la partie mobile de l'instrument. Les manettes qui servent à produire le mouvement du miroir ou son calage doivent donc présenter une brisure. Dans les nouveaux instruments, le manchon descendant atteindra le cube inférieur : la brisure des transmissions sera ainsi supprimée, et le système gagnera en stabilité et en élégance. Les galets guidant le mouvement se trouveront à l'abri de l'air, à l'intérieur du manchon tournant.

3° On voit dans la figure deux cercles de lecture J et J' distincts, l'un pour les ascensions droites, l'autre pour les déclinaisons : ils sont assez rapprochés l'un de l'autre pour se trouver commodément à la portée des yeux de l'observateur. Désormais les deux divisions se trouveront dans un même plan sur deux circonférences concentriques.

4° Quand on passe d'une déclinaison à une autre, on doit actuellement changer l'orientation du micromètre d'observation, ce que l'on fait au moyen du cercle de position ; on le fait tourner d'une quantité égale à la variation de la déclinaison. Dans l'équatorial perfectionné, le micromètre sera automatiquement entraîné par le miroir, et les fils se trouveront orientés, sans l'intervention de l'observateur, pour toutes les positions de l'instrument.

5° L'éclairage du micromètre sera obtenu à l'aide de miroirs plans qui se trouvent installés excentriquement dans le plan de symétrie du cube inférieur, de manière à réfléchir vers l'objectif la lumière d'une lampe extérieure. Chacun de ces miroirs est disposé de manière à couvrir l'objectif entier d'un cône de rayons divergents qui, réfléchis par les quatre surfaces du flint et du crown, viennent éclairer les fils du micromètre. On obtient ainsi un très bel éclairage, et l'on évite les franges de diffraction que fait nécessairement apparaître le prisme à réflexion totale occupant, dans le système ordinaire, la partie centrale du champ.

La question de savoir s'il ne conviendrait pas de placer le miroir de 0^m,40 à l'extérieur a été de nouveau agitée ; mais, pour mieux assurer la stabilité optique de l'instrument et pour d'autres raisons

encore, on s'est décidé à conserver la disposition primitivement adoptée et figurée ci-dessus.

Il convient de remarquer, en terminant, que la disposition du nouvel équatorial est particulièrement favorable aux observations physiques. Toute la partie oculaire de l'instrument ne tournant qu'autour de son axe de figure, on peut compléter le système optique par des dispositions accessoires quelconques, appropriées aux exigences de la spectroscopie, de la photographie astronomique, etc. Les appareils employés seront installés sur le prolongement de l'axe polaire et, reposant directement sur le coussinet, ils ne modifieront en rien l'équilibre de l'appareil principal et le constructeur aura toute latitude pour leur donner la forme et les dimensions les plus convenables à leur objet spécial sans se préoccuper autrement de leur poids ou de leur volume.
