

Ainsi que l'a récemment rappelé Marie-Claude Paskoff dans la rubrique "C'était il y a 100 ans dans l'Astronomie" de notre revue ¹, c'est le 3 février 1904 que Janssen présentait à la Société astronomique de France son *Atlas de photographies solaires* ² où l'on pouvait admirer ses étonnants clichés de la granulation, sur des images où le diamètre du Soleil ne fait pas moins de 1,20 m. Comment Janssen était-il parvenu à une telle perfection ?

LA LUNETTE DE PHOTOGRAPHIE SOLAIRE JANSSEN

par Régis Le Cocquen
Observatoire de Paris, section de Meudon, LESIA

et Françoise Launay
Observatoire de Paris, section de Meudon, LERMA,
et Commission histoire de la SAF

Fils unique, Jules Janssen naît à Paris en 1824 dans une famille aisée. Cependant, ses parents ayant connu des revers de fortune, il ne peut prolonger ses études au-delà de 16 ans : il entre dans une banque en 1840, et ce n'est qu'en août 1848 qu'il quitte son dernier emploi. Complétant alors sa formation, il obtient ses baccalauréats en 1849 et 1850. Il suit ensuite les cours de la Sorbonne et obtient ses licences ès sciences mathématiques en 1852 et ès sciences physiques en 1855, avant de devenir docteur ès sciences en 1860. En 1862, il installe un petit observatoire sur le belvédère de sa maison de Montmartre pour étudier le spectre solaire. La longue carrière d'astronome de celui pour qui le gouvernement décidera en 1875 la création de "l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris" vient alors de commencer. C'est en octobre 1876 que Janssen met en station sur le site du château de Meudon ³ les instruments qu'il a rapportés de ses missions antérieures, en particulier ceux des observations d'éclipse de 1868 et 1871 et ceux du passage de Vénus de 1874. Le nouvel observatoire, qu'il équipera des instruments les plus performants de l'époque, devient vite un laboratoire d'astrophysique dans lequel il peut exploiter les nouvelles techniques et les appliquer à l'astronomie. En cette fin de dix-neuvième siècle, la photographie et la spectroscopie permettent à Janssen de progresser très rapidement dans la connaissance de l'astre du jour.

LA PHOTOGRAPHIE SOLAIRE EN 1874

Comme l'a précisé Janssen lors de sa Conférence sur la photographie céleste au congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences le 23 septembre 1887 ⁴, c'est à Fizeau (1819-1896) et Foucault (1819-1868) que nous devons la première photographie solaire *complète*. Ce daguerréotype du 2 avril 1845 montre les taches

ainsi que l'assombrissement du bord solaire. Il faudra attendre une dizaine d'années avant qu'une image plus grande et plus précise, due à Reade (1801-1870), montre l'aspect « *moutonné* » de la surface. Porro (1801-1875), « *sur l'initiation* » de Faye (1814-1902), réussit ensuite à photographier « *les marbrures les plus délicates qui sillonnent les bords du Soleil* », et c'est à partir de 1858 qu'à l'instigation de Sir John Herschel (1792-1871), Warren De La Rue (1815-1889), l'un des pionniers de la photographie astronomique, démarre à Kew, dans le grand Londres, une surveillance systématique des taches solaires par la photographie. Les structures fines de la photosphère (« *la constitution intime de la surface solaire* » comme dit Janssen), ne sont pas l'objectif de ces prises de vue. Malgré les prouesses de Rutherford (1816-1892) ou de Vogel (1841-1907), on est encore loin de "figer" sur des images trop petites la granulation qui intrigue tant les astronomes. Il faut dire qu'elle est déjà bien difficile à observer visuellement. Les astronomes du dix-neuvième siècle emploient volontiers l'hélioscope d'Herschel qui utilise la réflexion vitreuse sur une lame prismatique pour atténuer l'éclat du Soleil. On adaptera plus tard à cet hélioscope un filtre qui réduit encore la lumière pour permettre une observation confortable. Selon la couleur du filtre, on peut augmenter le contraste des taches ou celui de la granulation. Pour cette dernière, il faut utiliser des filtres verts ou bleus.

En 1861, date à laquelle il travaille avec le professeur Follin (1823-1867) à la construction d'un ophtalmoscope, Janssen sait que « *si l'on examinait [...] le spectre [solaire] au point de vue photographique, c'est-à-dire au point de vue de son action sur les substances chimiques impressionnables, on reconnaîtrait que c'est vers sa partie inférieure, c'est-à-dire dans les rayons bleus, violets, et plus bas encore dans la portion invisible (qui est la région des rayons qu'on appelle ultra-violets), que se trouve en général l'action photographique.* » ⁵ Il détient



Fig.1 – Taches solaires photographiées à Meudon le 22 juin 1885. (Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris sis parc de Meudon, Gauthier-Villars, Tome 1, 1896, édition reliée, Planche XII).

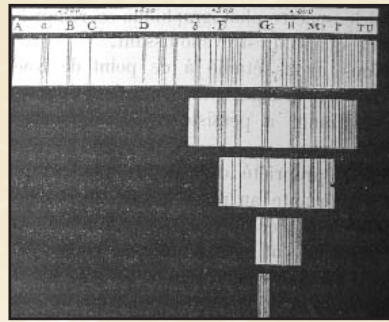


Fig.2 – Le spectre solaire photographié par Janssen avec des temps de pose de plus en plus courts (Annuaire du Bureau des longitudes pour 1879).

dès lors l'une des clefs de la construction d'une instrumentation ciblée qui lui permettra de réaliser des photographies de la granulation qui feront référence jusqu'aux observations de Bernard Lyot (1897-1952) au Pic du Midi en 1943, trente-six ans après la mort de Janssen !

LA LUNETTE DE PHOTOGRAPHIE SOLAIRE 6 ET SON OPTIQUE DE PRAZMOWSKI

« Pour moi, dit Janssen le 22 juin 1874, en présentant à l'Académie des sciences quelques spécimens de photographies solaires obtenues avec un appareil construit pour la mission du Japon, c'est l'observation du passage de Vénus qui a attiré plus spécialement mon attention sur cette branche [la photographie] si féconde et si délaissée chez nous. »⁷ En effet, peu satisfait de l'appareil national de la Commission du passage de Vénus qui donne des images du Soleil de 3,5 cm de diamètre seulement, Janssen fait construire un autre instrument pour que sa mission puisse obtenir de grandes images sur verre (11 à 12 cm de diamètre). Il bénéficie pour cela du concours de Prazmowski « dont, ajoute-t-il, l'habileté et la science en optique sont bien connues ». Mathématicien et astronome né à Varsovie, Adam Prazmowski (1821-1885) avait en particulier observé l'éclipse totale de Soleil de 1860 en Espagne. Réfugié en France en 1863, il devint constructeur d'instruments, d'abord en association avec Hartnack dont il reprit l'affaire seul en 1878, et ce jusqu'à fin 1883⁸. Le travail effectué pour Janssen par Prazmowski a fait l'objet d'une note « Sur l'achromatisme chimique »⁹ présentée à l'Académie des sciences le 13 juillet 1874. Prazmowski y souligne que la correction effectuée sur les objectifs de photographie ordinaires où l'on a « consacré la précision de l'image optique [c'est-à-dire visuelle] sans donner à l'image photographique la précision dont elle est susceptible »⁶ et qui donnent à l'image « une certaine mollesse des contours » ne convient pas au but recherché en photographie astronomique. Il faut donc effectuer une correction spécifique au domaine photographique. De plus, ce ne sont pas les couleurs extrêmes du spectre actinique qu'il faut « réunir », mais celles dont « l'action chimique s'exerce le plus puissamment ». Cette action étant fonction des matériaux utilisés, Prazmowski explique que « M. Janssen a fait exécuter sous sa direction les photographies du spectre formé par les prismes du flint et du crown qui devaient être employés à la construction de l'objectif et de l'oculaire, ou plutôt de l'appareil grossissant l'image donnée par l'objectif. Ces photographies démontrent que l'action la plus puissante se produit par la partie du spectre entre les raies G et H [de Fraunhofer] ». Il s'ensuit que « l'achromatisme photographique le plus parfait résultera de la réunion dans un foyer des raies G [430,6 nm] et H [393,4 nm], en empiétant un peu sur l'intervalle de F [486,1 nm] à G. » Pour la réalisation et la détermination des courbures, il utilise les résultats de Biot (1774-1862) qui conduisent

au contact des deux surfaces intérieures des lentilles du doublet et à des courbures présentant un minimum de déviation pour les rayons incidents parallèles à l'axe. Dernière touche personnelle de Prazmowski, et non des moindres : « Les auteurs conseillent de calculer l'achromatisme pour le centre, de le laisser approché pour les bords. Je crois utile de suivre une marche contraire. Dans l'objectif construit pour les photographies du Soleil, les rayons marginaux sont rigoureusement achromatisés ; l'achromatisme du centre est approché à un tel degré que, dans l'image, cette petite erreur reste inappréciable par suite de la petitesse des incidences. » Toutes ces considérations aboutissent à la réalisation d'un objectif de 5 pouces d'ouverture (soit 135 mm puisqu'il s'agit du pouce français de 27 mm), et de 2 m de focale. Sa qualité s'avère excellente.

À son retour du Siam où il s'était rendu directement du Japon pour observer une éclipse en 1875, Janssen utilise régulièrement sa lunette dans son observatoire institutionnel provisoirement installé boulevard d'Ornano à Montmartre. Dès avril 1876, il présente des photographies du Soleil de grandes dimensions (elles ont de 20 à 22 cm de diamètre), qui lui permettent d'étudier les détails des taches et des facules (figure 1). Janssen mentionne alors sans autre précision que « la partie mécanique de l'instrument est de M. Eichens et le corps de la lunette de M. Bigot. »¹⁰ Encouragé par les bons résultats de son optique, Janssen décide de mener une étude approfondie de la photographie solaire. Ce travail porte sur la sensibilité spectrale des émulsions, sur l'augmentation de la finesse de leur couche, et sur les temps de pose.

Afin d'éviter la surexposition ou, comme il dit, la « surpose », Janssen réduit considérablement ses temps de pose. Or il sait depuis ses études de 1874¹¹ qu'en raison de la transmission des verres d'une part, et de la sensibilité des émulsions d'autre part, plus la pose est courte, plus le spectre enregistré se réduit à une bande étroite située près de G, entre indigo et violet (figure 2), ce qui est encore plus limité que ce que Prazmowski avait rapporté, et facilite d'autant le calcul des objectifs.

La perfection optique ne suffisant pas, il faut ensuite améliorer la formule du collodion et celle du tissu qui lui sert de support, le coton-poudre, pour rendre l'émulsion la plus sensible et la plus fine possible. Le photographe de l'observatoire de Meudon qui avait accompagné Janssen au Japon, Pierre Marie Arents (1842-1916) compose alors un collodion iodo-bromuré donnant un maximum de sensibilité dans le violet. Dans l'Annuaire du Bureau des longitudes pour l'année 1879, Janssen nous donne la formule précise du collodion utilisé :

« Alcool à 40°, 400 grammes
Ether sulfurique, 62 degrés, 600 g
Coton-poudre, 15 g
Iodure d'ammonium, 4 g
Iodure de cadmium, 5 g

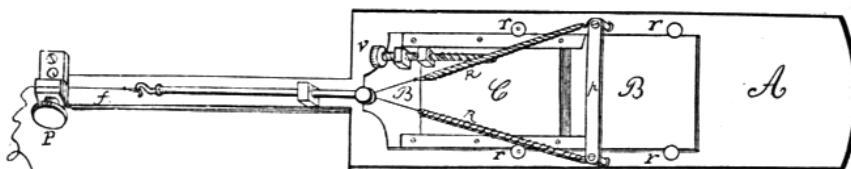


Fig.3 – Le spectre solaire photographié par Janssen avec des temps de pose de plus en plus courts (Annuaire du Bureau des longitudes pour 1879).

Iodure de potassium, 2 g
Bromure d'ammonium, 1 g
Bromure de cadmium, 1 g (M. Arents) »
 ainsi que celle du coton-poudre qui doit être préparé à haute température :

« *Acide sulfurique, 500 grammes*
Nitrate de potasse, 500 g
Coton, 15 g »

À ces formules s'ajoute une description très complète de la procédure permettant d'obtenir des plaques sensibles d'une grande homogénéité.

La dernière difficulté à surmonter pour obtenir des images parfaites est celle due à « l'irradiation photographique », diffusion dans les grains de la couche sensible qui peut atteindre 20 secondes d'arc. La solution consiste non seulement à agrandir les images mais aussi à diminuer les temps de pose, ce qui, comme on l'a vu, a l'avantage de donner une image quasi-monochromatique, donc beaucoup plus nette.

Janssen fait des essais avec des grandissements de plus en plus importants en donnant à l'image du Soleil un diamètre de 20, puis 30, et même exceptionnellement 50 et 70 cm. En agrandissant la taille du disque solaire il diminue d'autant le flux reçu sur la plaque, mais la résolution reste limitée par les mouvements de turbulence de l'atmosphère. Il lui faut donc réduire considérablement le temps d'exposition en développant un obturateur mieux adapté.

Il réalise alors un dispositif qu'il nomme « *trappe photographique* » 12 (figure 3). Il s'agit en réalité d'une fente montée dans un chemin de galets. La fente est tirée par un fil qui tend des ressorts. Il faut pincer le fil puis le sectionner. Les ressorts font alors défiler très rapidement la fente devant l'image du Soleil. Ce mécanisme très ingénieux permet à Janssen d'atteindre des vitesses d'obturation aussi courtes que 1/6000 de seconde ! 13. Les premières trappes sont construites par Prazmowski puis Janssen demande à Paul Gautier (1842-1909) d'en construire de plus élaborées qui n'introduisent aucune vibration.

La conception puis la réalisation de la lunette photographique solaire constituent un travail fondamental dans l'évolution future de l'astrophotographie. Janssen résume ainsi dans *les Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris sis Parc de Meudon* 14 (où, soulignons-le, la chronologie des faits n'est pas toujours parfaitement relatée), le

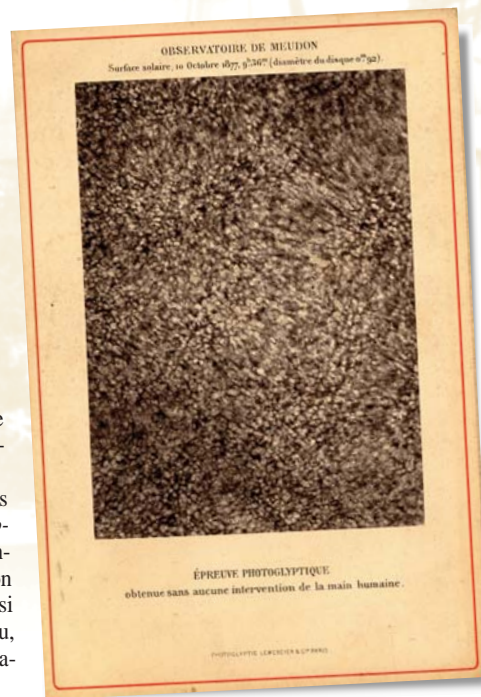


Fig.4 – Granulation photographiée à Meudon le 10 octobre 1877. 1877 (dimensions réelles du cliché : 80 mm x 102 mm). © Observatoire de Paris, collections de Meudon

développement de son instrumentation :
 « *En résumé, les principes qui ont présidé à l'obtention des nouvelles photographies solaires sont les suivants :*

- 1° Recherche de matières optiques, flint principalement, donnant un spectre présentant un maximum d'action lumineuse très limité et très accusé ;
- 2° Construction de l'objectif de manière à faire porter l'achromatisme sur ce point du spectre [région de la raie G] ;
- 3° Composition d'un collodion présentant une sensibilité maximum et limitée à cette même région spectrale ;
- 4° Finesse du tissu du collodion obtenue par la préparation du coton-poudre à haute température ;

5° Agrandissement considérable des images, ce qui permet aux détails délicats de la surface solaire de se manifester et diminue l'effet de l'irradiation ;

6° Dosage rigoureux de l'action lumineuse de manière à obtenir une image suffisamment posée et exempte d'irradiation ;

7° Dispositions prises pour assurer l'égalité rigoureuse de pose dans toutes les parties de l'image. »

De la lunette de Prazmowski il ne nous reste que l'objectif que nous pensons avoir retrouvé bien qu'il ne porte aucune signature, et quelques beaux tirages photographiques (figure 4), dont les trente clichés de l'Atlas de 1903 sélectionnés par Janssen et son second photographe Louis Pasteur (1850-1925) parmi les 6000 plaques régulièrement enregistrées à Meudon depuis 1877. L'objectif qui se trouve dans les collections de Meudon (figure 5) a en effet un diamètre de 135 mm, une distance focale de 2,2 m, deux lentilles dont les courbures internes sont égales, et c'est bien pour le violet qu'il est corrigé. En 1896, lors de la rédaction par Janssen du premier tome des *Annales*, le tube de la lunette était toujours supporté par un pied en bois (figure 6) qui donnait assurément une très grande stabilité et une excellente précision dans le pointage mais n'assurait pas avec assez d'exactitude l'orientation des images du disque solaire. Pour cela, il avait été prévu d'installer l'instrument sur une monture équatoriale avec mouvement d'horlogerie, "la monture Eichens" manifestement différente de celle mentionnée en 1876.

LA MONTURE EICHENS

Wilhelm Eichens (1818-1884) 15 (figure 7) est né à Berlin mais c'est à Paris qu'il fonde une société de construction mécanique en 1866, après avoir été chef d'atelier chez Marc Secrétan (1804-1867). L'un de ses collaborateurs est Gautier, qui fonde sa propre entreprise en 1876 et reprendra l'atelier d'Eichens en 1881. On trouve en maints endroits des instruments sortis de l'atelier d'Eichens : l'équatorial de la tour de l'ouest de l'Observatoire de Paris, des équatoriaux à Marseille, à Lyon, au Pic du Midi et à Madagascar, des lunettes méridiennes dans les observatoires d'Abbadia, Bordeaux, Marseille, Lyon, Paris, plusieurs instruments de l'observatoire de Lima, les montures des télescopes de Foucault de Paris et de Marseille, entre autres. Eichens construisit aussi la monture originale du si célèbre télescope inutilisable de 1,20 m de l'Observatoire de Paris, aujourd'hui installé à l'Observatoire de Haute Provence avec son miroir repoli par Couder et dans une monture nouvelle réalisée par Secrétan 16.

La monture Eichens conservée à l'observatoire de Meudon date de 1878. En 1896, dans le tome I des *Annales*, Janssen indique que l'une des petites coupoles de 7,5 m a été construite pour la lunette équatoriale de photographie solaire. Cette coupole, construite par la société des anciens établissements Cail, est jumelle de celle qui abrite le télescope de un



Fig.5 – L'objectif de la lunette photographique solaire de Janssen.
 © Observatoire de Paris, collections de Meudon



Fig.6 – La lunette et sa monture en bois (à gauche du cliché) en station sur le site de Meudon vers 1878. ©

Observatoire de Paris, collections de Meudon



Fig.7 – Portrait de Wilhelm Eichens

(Musée rétrospectif de la classe 15 de l'Exposition universelle de 1900, Paris, 1900).

mètre. En réalité nous ne savons pas si la monture a été installée sous la coupole du vivant de Janssen ¹⁷, ni même si la lunette y a été fixée un jour. En revanche, dans le tome IV des *Annales* publié par Deslandres (1853-1948) en 1910, un plan montre bien la présence de la monture dans la coupole.

Janssen est un homme de terrain, il bouge beaucoup et ses instruments aussi. La monture est certainement embarquée pour les deux missions d'éclipse en Espagne au début du vingtième siècle, le 28 mai 1900 à Argamasilla, puis le 30 août 1905 à Alcosèbre. Notons au passage que Janssen, alors âgé de 81 ans, participe à cette dernière mission.

Ensuite, nous retrouvons la monture sous sa coupole mais pour bien autre chose que l'observation du Soleil. En 1931, elle est équipée d'une lunette de 6 pouces (162 mm) et de spectrographes pour étudier les comètes (figure 8). En 1932, ce sont des spectrogrammes d'étoiles qui sont obtenus à l'équatorial Eichens. L'astronome Charles Bertaud (1904-1982) y mesure 150 raies du spectre de l'étoile Procyon. De 1933 à 1935, ce sont toujours des spectres stellaires qui sont obtenus dans cette coupole dont ceux de la Nova Herculis qui vient d'être découverte. En 1936, est montée une chambre photographique à réseau de fils destinée à l'étude des magnitudes photographiques par la méthode de la grille photométrique.

En 1948, la monture quitte sa coupole de 7,5 m pour laisser la place à un télescope de 60 cm destiné à la spectroscopie stellaire. Comme l'observatoire est aussi doté depuis 1930 d'une table équatoriale imposante, la petite monture Eichens n'est plus très utile et se trouve alors entreposée dans la réserve de l'atelier dans les grands Communs.

Le 20 mai 1966, la monture est au rendez-vous de l'éclipse annulaire à Karistos en Grèce. Elle porte alors un télescope de 25 cm ainsi qu'une longue lunette. En 1970 et 1971, elle est utilisée pour une recherche de site au Cap Sinès, au Portugal. La préparation de la mission s'effectue à l'ouest du grand sidérostas où l'on a installé un socle et une cabane de tôle. La monture, alors dotée d'un moteur électrique, sert de support à l'héliographe à longueur d'onde variable qui est utilisé pour l'évaluation, tant visuelle que photographique, de la qualité atmosphérique des images. Après un temps d'inactivité dans un bâtiment de l'observatoire, elle reprend du service au début des années 1990 à Orsay pour des travaux de mise au point du télescope Thémis. En 1995, la monture est réimplantée sur la pelouse de l'observatoire de Meudon par le "Groupe Patrimoine scientifique" pour supporter une petite lunette destinée à montrer les

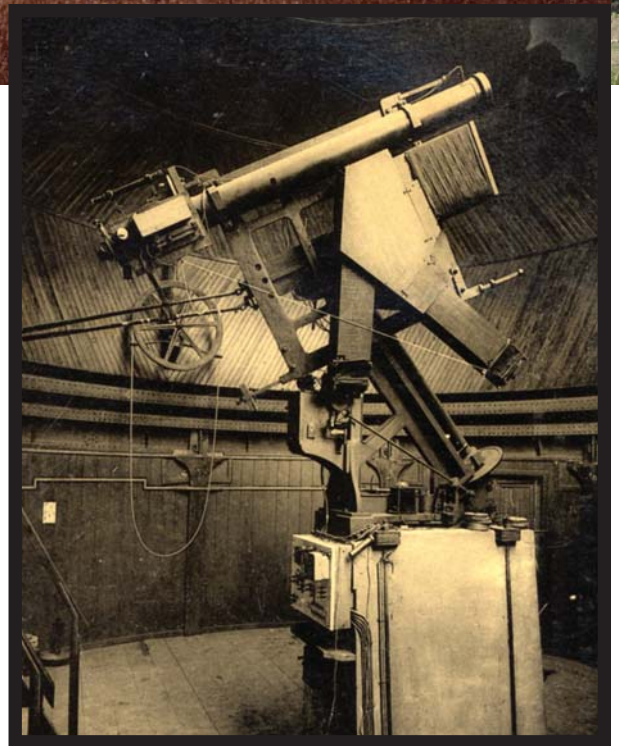


Fig.8 – La monture Eichens dans les années 1930.

© Observatoire de Paris, collections de Meudon, photographie Bertaud.

taches solaires aux visiteurs, les scolaires en particulier. En réalité, elle sera assez peu utilisée.

Depuis fin 2001, la monture Eichens est entrée dans le parc des instruments d'observation systématique du Soleil (figure 9). Munie de trois petites lunettes de 80, 100 et 120 mm, l'équatorial est actuellement l'un des instruments les plus utilisés de l'observatoire. Les lunettes de 100 et 120 mm nous permettent de photographier régulièrement les taches solaires et la petite 80, munie d'un filtre Ha, montre les protubérances aux stagiaires et aux visiteurs.

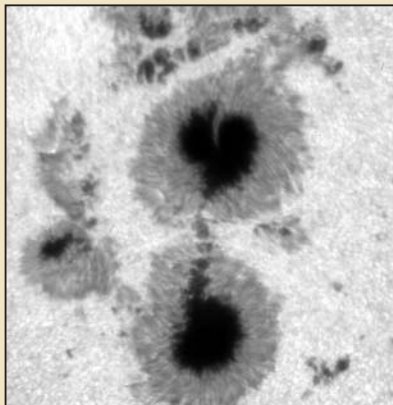
À l'occasion des quelques journées portes ouvertes à l'observatoire de Meudon, il n'est pas rare de voir une longue file d'attente pour mettre l'œil à l'oculaire de l'un des instruments de la monture Eichens qui poursuit donc avec succès sa longue carrière mouvementée. ■



Fig.9 – La monture Eichens aujourd'hui.
© Observatoire de Paris, collections du LESIA.

La Granulation solaire

La granulation solaire est composée de petites cellules de convection dont le diamètre avoisine les 700 à 1000 km. Vu depuis la Terre, chaque granule (on parlait de « grains de riz » au temps de Janssen) ne mesure guère plus d'une seconde de degré. L'observation de la granulation est donc très difficile et la photographie relève de l'exploit. Dans de bonnes conditions atmosphériques, on peut espérer résoudre visuellement les granules avec un instrument de 20 cm équipé d'un filtre vert (entre 500 et 530 nm). Même dans de bonnes conditions d'observation, les granules n'apparaissent que pendant de trop brefs instants. Pour la photographie, nous travaillons aujourd'hui encore dans la bande G mais avec des filtres de quelques nanomètres de bande passante. En faisant des prises de vues en rafale, on arrive à obtenir de belles images à la Tour solaire de Meudon ou au Pic du Midi avec des instruments de 60 et 50 cm. Les images de Janssen sont restées les meilleures pendant très longtemps. C'est Bernard Lyot qui entreprit de faire des clichés à haute résolution de la granulation avec la lunette de 23 cm du Pic du Midi. Ses résultats très encourageants incitèrent Audouin Dollfus en 1957 et un peu plus tard l'américain Martin Scharzschild (1912-1997) et le soviétique Vladimir Alekseevich Krat (1913-1983) à observer la granulation solaire en ballon (vol piloté en ce qui concerne Audouin Dollfus), avant que Jean Rösch (1915-1999) ne fasse construire la fameuse "lunette Tourelle" du Pic qui pointe son œil hors de sa coupole. Avec cet instrument innovant de 38 cm (qui reçut quelques années plus tard un objectif de Texereau de 50 cm) Richard Müller et Thierry Roudier ont obtenu des clichés très fins qui montrent la vie et l'évolution des granules. Il est certain que les techniques ont évolué : on est passé de la plaque au film, puis aux caméras CCD, mais c'est bien à Janssen que nous devons les bases de l'imagerie solaire de qualité. ■



Taches solaires photographiées
à la Tour solaire de Meudon le 22 juillet 2004.

© Observatoire de Paris, collections du LESIA.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier **Christian Coutard et Jean-Marie Malherbe pour la communication de la photographie des taches prises à la Tour solaire de Meudon, ainsi que François Biraud, Audouin Dollfus et Gualtiero Olivieri pour leur lecture attentive et constructive du manuscrit.**

Notes

- 1 – Paskoff M.-C. : "C'était il y a 100 ans dans *l'Astronomie*", *l'Astronomie*, **118** (2004), 638-9.
- 2 – Janssen J. : *Atlas de photographies solaires*, Gauthier-Villars, 1903.
- 3 – Le domaine de Meudon ne sera officiellement affecté au nouvel observatoire qu'en 1879.
- 4 – Revue Scientifique, numéro du 14 janvier 1888, p. 33.
- 5 – Janssen J. et Follin E. : "Considérations physiologiques sur l'éclairage et application à l'examen ophtalmoscopique", *Archives générales de Médecine*, **XVIII** (1861), 26-37.
- 6 – Cette dénomination est celle utilisée par Janssen lui-même.
- 7 – Janssen J. "Présentation de quelques spécimens de photographies solaires obtenues avec un appareil construit pour la mission du Japon", *CRAS*, **78** (1874), 1730-1.
- 8 – Véron P. : "Prazmowski Adam", in *Dictionnaire des astronomes français, 1850-1950*, à paraître.
- 9 – Prazmowski A. : "Sur l'achromatisme chimique", *CRAS*, **79** (1874), 107-10.
- 10 – Janssen J. "Présentation de photographies solaires", *Bulletin de la Société française de photographie*, **XXII** (1876), 107-8.
- 11 – Janssen J. : "Physique solaire", in *Annuaire du Bureau des longitudes pour 1879*, Gauthier-Villars, 1878, p.658.
- 12 – Réf. 10, p. 672.
- 13 – C'est cette vitesse d'obturation qui rend Janssen si confiant dans l'existence d'un « réseau photosphérique » qu'il croit avoir découvert avec ses clichés pour preuve, mais il n'a pas réalisé que cette rapidité ne pouvait en aucun cas supprimer les effets dus aux inhomogénéités de notre atmosphère : fluctuations de sa densité et de son indice de réfraction. Voir à ce sujet Launay F. : "Jules Janssen et la photographie" in *Dans le champ des étoiles ; les photographes et le ciel 1858-2000*, RMN, Paris, 2000, pp. 22-31 et Launay F. : "Le Soleil", *ibid.*, p. 127.
- 14 – Janssen J. : "La Photographie solaire à l'observatoire de Meudon", in *Annales de l'Observatoire de Paris sis Parc de Meudon*, Tome I, Gauthier-Villars, 1896, p.100.
- 15 – Véron P. : Eichens Wilhelm, in *Dictionnaire des astronomes français, 1850-1950*, à paraître.
- 16 – Véron P. : "Pré-histoire de l'observatoire de Haute-Provence", Colloque : *Observatoires et patrimoine astronomique français*, Nantes, 2001, <http://www.obs-hp.fr/www/preprints/pp156/pp156.pdf>
- 17 – Janssen est mort le 23 décembre 1907.